Politechnika Wrocławska
Wydział Architektury

mgr inż. arch. Magdalena Muszyńska-Łanowy

Fotowoltaika w kształtowaniu elewacji budynków przemysłowych na przełomie XX/XXI wieku

Praca doktorska wykonana pod kierunkiem
dr hab. inż. arch. Jacka Suchodolskiego, prof. nadzw. PWr

Wrocław, 2009

152214

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
Biblioteka Główna
(1)

342542 I/1

2009/1139 ID

„Gdybym wiedział, co robię,
to przecież nie byłaby to praca badawcza"
(Albert Einstein)

SPIS TREŚCI

WSTĘP **11**

1. Wprowadzenie 13

2. Przedmiot pracy 27

3. Budowa i zakres pracy 28

4. Tezy i cele pracy 31

5. Stan badań 32

I. ARCHITEKTURA, PRZEMYSŁ I ŚRODOWISKO **39**

1. Postęp cywilizacji a środowisko 41

1.1. Geneza problemu 42

1.2. Rozwój świadomości ekologicznej 48

1.3. Ewolucja tendencji środowiskowych w architekturze 50

1.4. Środowisko – stan aktualny i prognozy 53

1.4.1. Klimat i zanieczyszczenie 53

1.4.2. Problem energii i zasobów 55

2. Fabryki przyjazne dla środowiska 57

2.1. Ekologia przemysłowa 58

2.2. Eko-architektura 60

2.2.1. Oddziaływanie budynków 61

2.2.2. Cykl życia budynku 62

2.2.3. Główne aspekty architektury proekologicznej 63

2.2.4. Stan rzeczywisty 67

II. NOWE TENDENCJE W KSZTAŁTOWANIU ELEWACJI BUDYNKÓW PRZEMYSŁOWYCH **69**

1. Zmiana roli i charakteru elewacji 71

1.1. Forma i struktura 71

1.2. Interakcja i wielofunkcyjność 73

1.3. Nowe elementy w procesie projektowania 74

2. Aspekty proekologiczne 76

2.1. Efektywność, energooszczędność, komfort 76

2.2. Wizerunek firmy 81

3. Nowoczesne technologie 87

3.1. Zasadność użycia 87

3.2. Przykłady zastosowań 88

3.3. Materiały inteligentne 94

III. FOTOWOLTAIKA – ELEKTRYCZNOŚĆ ZE SŁOŃCA **97**

1. Problem energii – w poszukiwaniu alternatywy 99

1.1. Eksploatacja energii Słońca 99

1.2. Fotowoltaika – zielona elektryczność 101

1.2.1. Zastosowanie 103
1.2.2. Zalety i wady 103
2. Ewolucja technologii 105
2.1. Zjawisko fotoelektryczne 107
2.2. Rewolucja w technologii solarnej 108
2.2.1. Pierwsze panele fotowoltaiczne 109
2.2.2. Z kosmosu na Ziemię 110
2.3. Fotowoltaika w architekturze 112
2.3.1. Integracja z budynkiem 114
2.3.2. Aktualne trendy 117
3. System fotowoltaiczny. Budowa i zasada działania 120
3.1. Zjawisko fotowoltaiczne 120
3.2. Elementy składowe systemu 120
3.3. Podstawowe czynniki wpływające na produkcję energii 122
3.3.1. Siła napromieniowania 122
3.3.2. Zacienienie powierzchni aktywnej 122
3.3.3. Wpływ temperatury 123
4. Technologie PV dla budynku 124
4.1. Ogniwa fotowoltaiczne 124
4.1.1. Materiały i struktura 124
4.1.2. Kształty i wymiary 130
4.1.3. Kolorystyka 130
4.1.4. Kontakty elektryczne 131
4.2. Moduły fotowoltaiczne 132
4.2.1. Budowa – warianty konstrukcyjne 133
4.2.2. Układ ogniw w module 136
4.2.3. Kształty i wymiary 137
4.2.4. Moc modułu PV 138

IV. FOTOWOLTAICZNE POWŁOKI W BUDYNKACH PRZEMYSŁOWYCH 139

1. Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem (BIPV) 141
1.1. Definicja pojęcia 141
1.2. Metody budowlanej integracji 142
1.2.1. Klasyfikacja 142
1.2.2. Miejsce integracji 146
1.2.3. Potencjał powierzchni odpowiedniej dla BIPV 153
1.3. Aspekty architektonicznej integracji generatora PV 155
1.3.1. Aspekty solarne – optymalizacja zysków energii 155
1.3.2. Aspekty budowlano-konstrukcyjne 161
1.3.3. Aspekty ekologiczne 162
1.3.4. Aspekty estetyczne 162
1.3.5. Bezpieczeństwo 162
1.3.6. Konserwacja 163

1.3.7. Holistyczne podejście do projektowania 163
2. Innowacyjny materiał budowlany 164
2.1. Moduły PV zastępujące konwencjonalne materiały – okładziny fotowoltaiczne 166
2.1.1. Technologia i budowa elementu 167
2.1.2. Wentylacja okładziny 168
2.1.3. Układ elementów 170
2.1.4. Techniki mocowania 171
2.2. Nowa generacja BIPV – moduły PV trwale zintegrowane z konwencjonalnymi materiałami budowlanymi 175
2.2.1. Szkło 179
2.2.2. Płytki, dachówki, gonty 191
2.2.3. Materiały metaliczne – blachy, płyty warstwowe 193
2.2.4. Tworzywa sztuczne 199
2.2.5. Materiały tekstylne 201
3. Ekologiczne aspekty integracji systemu fotowoltaicznego 203
3.1. Analiza cyklu życia systemu PV 204
3.1.1. Zasoby surowców 204
3.1.2. Energochłonność 206
3.1.3. Zanieczyszczenie środowiska, emisje 207
3.1.4. Zarządzanie odpadami 210
3.1.5. Ryzyko zawodowe 212
3.1.6. Wnioski 212
3.2. Integracja fotowoltaiki z budynkiem 213
3.3. Eksploatacja systemu BIPV 214
3.4. Energooszczędność i komfort – powłoka BIPV, jako system energetycznie aktywny 214
3.4.1. Maksymalizacja zysków energii ze źródeł odnawialnych 215
3.4.2. Minimalizacja strat energii 220
3.4.3. Kryteria komfortu, środowisko wewnętrzne 221
3.5. Wizerunek firmy 227
4. Estetyka powłoki BIPV 228
4.1. Integracja z architekturą w aspekcie jakości estetycznej 228
4.2. Różnorodność produktów 230
4.3. Elementy kształtujące estetykę BIPV 232
4.3.1. Kompozycja przestrzenna 232
4.3.2. Widoczność 233
4.3.3. Układ elementów 235
4.3.4. Kolor i struktura materiału 238
4.3.5. Transparentność 240
4.3.6. Zmienność 242
4.4. Obraz, reklama 243
V. PRZYKŁADY REALIZACJI BIPV 245
Zestawienie 249

001. Aerni Fenster AG 256
002. Centrum technologiczne „Windmühle" 258
003. APS Photovoltaic Manufacturing Facility 260
004. Fabryka mebli Wilkhahn 262
005. ELSA – Joint Research Centre (JRC) 264
006. Stadtmühle CMZ Zürich 266
007. EBK Konstanz 268
008. Solar-Fabrik AG 270
009. Tobias Grau 272
010. Wasserwerk Mühlenscharrn 274
011. Scheuten Solar Cells 276
012. Energiepark West 278
013. Energy Research Foundation - ECN nr 31 280
014. Straż pożarna Houten 282
015. ZF-BOGE – Elastmetall AG 284
016. SMA – budynek nr 6 286
017. Tsukuba Open Space Laboratory (OSL) 288
018. Bauer Energietechnik 290
019. SmartSolarFab® 291
020. ThyssenKrupp Steel 292
021. Protechno Card 294
022. Technium OpTIC 296
023. SchapfenMühle 298
024. Wattwerk 300
025. MSK Fukuoka 302
026. Kameyama Plant 303
027. Isofotón 304
028. Q-cells AG (budynek III) 306

ZAKOŃCZENIE 309

1. Podsumowanie 311
2. Wnioski 315

TABLICE INFORMACYJNE 317

A. Ogniwa fotowoltaiczne 319
A/1. Kształty i wymiary 320
A/2. Kolory 323
A/3. Kontakty elektryczne 325
B. Moduły fotowoltaiczne 327
B/1. Budowa 328
B/2. Układ ogniw 336
B/3. Kształty modułów PV 340
C. Materiały i systemy BIPV 341
C/1. Systemy fasad wentylowanych 342

C/2. Systemy profilowe 344
C/3. Instalacje eksperymentalne 345
C/4. Systemy fasad (pokryć) metalowych 346
C/5. Systemy słupowo-ryglowe 347
C/6. Szkło fotowoltaiczne 348
C/7. Płytki, dachówki, gonty 351
C/8. Blachy solarne 354
C/9. Płyty warstwowe 358
C/10. Tworzywa sztuczne 359
C/11. Zadaszenia 361
C/12. Systemy przeciwsłoneczne 362
D. Miejsce integracji modułów PV 363
D/1. Przegrody pionowe 364
D/2. Przegrody nachylone 367
D/3. Struktury specjalnej funkcji 369

BIBLIOGRAFIA **371**

SPIS ILUSTRACJI I WYKAZ ŹRÓDEŁ **383**

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ **409**

ANEKS **413**

1. Odnawialne źródła energii (OZE) 415
2. Typy systemów fotowoltaicznych 416
3. Podstawowe parametry systemu PV 417
4. Słońce jako źródło energii dla konwersji fotowoltaicznej 418
5. Wybrane normy międzynarodowe 421

WSTĘP

1.
WPROWADZENIE

„Tam, gdzie technika osiąga prawdziwą doskonałość, powstaje architektura (...).
Architektura jest uzależniona od swoich czasów. Pokazuje, jakie są naprawdę, uwidacznia ich formę. Oto, dlaczego technika i architektura są tak ściśle ze sobą powiązane".
(Mies van der Rohe)

Architektura przemysłowa rozwija się od ponad dwóch wieków. Mimo licznych transformacji jej specyfika pozostała niezmienna - praktyczne zastosowanie i demonstracja najnowszych osiągnięć z rozmaitych dziedzin nauki należą wciąż do kluczowych zagadnień w procesie kształtowania fabryk.

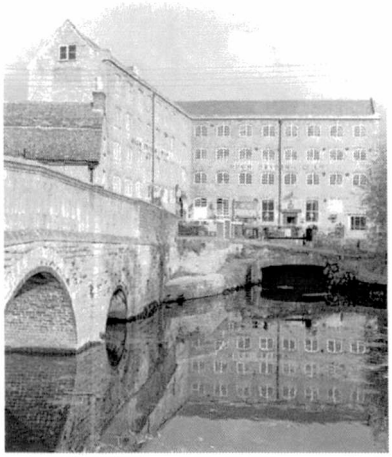
Przeobrażenia budynków nieustannie podążają krok w krok za ewolucją materiałów i technik konstrukcyjnych. Równolegle następują zmiany związane z charakterem i organizacją pracy oraz sposobami wykorzystania energii. Ciągły wysiłek zmagania się z wpływem postępu technicznego zarówno w kwestii wizualnej jak i praktyczno-funkcjonalnej uwidacznia się w sposobach kształtowania elewacji. Projektanci wciąż poszukują dla nich odpowiedniej tożsamości i formy.

Budynki przemysłowe są doskonałym miejscem i polem doświadczalnym dla wszelkich wynalazków i innowacji. Dzięki temu nieprzerwanie dostarczają nam informacji na temat charakterystycznych cech poszczególnych okresów, z wszystkimi ich efemerycznymi ideami nowoczesności. Odzwierciedlając poprzez architekturę różnorodne tendencje estetyczne, projektowe, ekonomiczne, techniczne, a nawet polityczne i socjalne, tworzą interesujący, wielowymiarowy obraz swoich czasów.

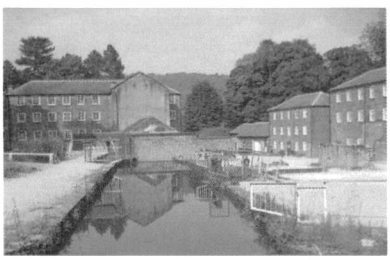
Retrospektywna analiza pokazuje wiele różnych dróg, które doprowadziły do dzisiejszych rozwiązań. Spojrzenie na współczesne realizacje na tle dotychczasowych dokonań pozwala zauważyć liczne analogie w zmaganiach projektantów z najnowszymi technologiami, ich zastosowaniem i oddziaływaniem na elewacje budynków.

Tradycja i awangarda - dwie skrajności stale obecne w architekturze - ścierały się we wszystkich fazach ewolucji fabryk. Z jednej strony, z braku korzeni i odpowiedniego odniesienia używano stylu przeszłości - powtarzanie znanych elementów miało waloryzować nową architekturę i wywierać wrażenie przynależności estetycznej czy socjalnej. Z drugiej strony, dla wciąż rozwijającego się przemysłu tendencje postępowe były przecież logiczne i jak najbardziej odpowiednie. Poziom architektonicznej awangardy dyktowały wówczas najnowsze technologie, poprzez które szukano nowych form ekspresji, głoszono nowoczesność, wywoływano podziw.

Biblioteka
Pol. Wrocł.



Fot. 1. Avon Mill, Malmesbury (XVIII). Pierwsze obiekty projektowane specjalnie dla przemysłu były długimi, wąskimi budynkami zlokalizowanymi przy ciekach wodnych. Tradycyjną drewnianą konstrukcję elewacji sukcesywnie zastępowano kamieniem lub cegłą, co pozwoliło na budowę większych obiektów, będących w stanie utrzymać ciężkie maszyny.



Fot. 2. Cromford Mill, Cromford (1771). Richard Arkwright w angielskim Cromford nazywanym miejscem narodzin Rewolucji Przemysłowej założył pierwszą na świecie fabrykę zasilaną energią hydrauliczną. Wznoszone przez niego obiekty były modelem dla wielu fabryk - już w roku 1778 zbudowano w Wielkiej Brytanii aż 300 młynów „w typie Arkwrighta".

Architektura industrialna od początku miała być funkcjonalna i ekonomiczna, choć kwestia estetyki również była brana pod uwagę. Naturalnie, w poszczególnych okresach panowały określone trendy, które powszechnie stosowano i naśladowano. Wraz z estetyczną, stylistyczną i technologiczno-konstrukcyjną metamorfozą elewacji zmieniał się też ich charakter i rola.

Gdy w XVIII wieku wskutek industrializacji i szeroko rozumianego postępu powstały pierwsze fabryki[1], bazowano na przeszłości i tradycji. Zarówno estetyka jak i system konstrukcyjny pozostawały bliskie lokalnej architekturze. Elewacje wtapiały się w istniejącą zabudowę, a ich rola ograniczała się do funkcji zwykłej przegrody pomiędzy wnętrzem, a światem zewnętrznym. Eksplozja innowacji pociągnęła za sobą zmiany w sposobie kształtowania budynków. Zewnętrzny charakter coraz bardziej zmechanizowanych fabryk ewoluował wraz z nową organizacją pracy - postęp techniczny okazał się być decydujący dla ich charakteru. Dwa wynalazki ewidentnie zrewolucjonizowały wówczas przemysł. Były to: warsztat tkacki oraz maszyna parowa.

Energia, która wydaje się problemem całkowicie technicznym, a w powiązaniu z architekturą wręcz abstrakcyjnym, od początku związana była z budynkiem fabryki. Dostępność energii jedynie w postaci siły mięśni ludzkich i zwierzęcych stanowiła wspólną cechę pierwszych warsztatów produkcyjnych. W kolejnym etapie pojawiły się młyny (fot. 1-2), które harmonijnie współistniejąc z przyrodą wykorzystywały siły naturalne (wodę i wiatr) dla ułatwienia produkcji i zwiększenia wydajności. Zastosowanie energii pary wodnej do uruchomienia maszyn tekstylnych w drugiej połowie XVIII w. zmieniło charakter przemysłu. *„Wszyscy oszaleli na punkcie młynów parowych!"*[2] pisał Matthew Boulton do Jamesa Watta. Pierwszy raz nielimitowana energia stała się dostępna, co pozwoliło oddalić się budynkom przemysłowym od cieków wodnych, wpłynęło też na ich wygląd. Liczne kominy pojawiły się w krajobrazie miasta stając się na długo najbardziej charakterystycznym i rozpoznawalnym elementem architektury industrialnej.

Energia pary uznana za synonim nowoczesności i wzniesienia się w hierarchii społecznej nadała też nowy impuls dla koncepcji estetycznych. Wraz z wyjątkowo atrakcyjną, ale jeszcze nie do końca opanowaną technologią pojawiło się bowiem pytanie: jak radzić sobie z nią w kontekście architektury? Z początku ostrożnie podchodzono do wszelkich zmian. Wprowadzane do wnętrza budynków[3] rewolucyjne urządzenia były niczym *„nieujarzmione bestie"*[4], a kwestia nowej estetyki nie była jeszcze oczywista. Skrywając wewnątrz innowacyjną technologię, klasycznie skomponowane fasady fabryk

[1] Termin *fabryka* pojawił się w 1732 roku i dotyczył zakładów przemysłowych wyposażonych w maszyny. LABORDE M. F., *Architecture industrielle. Paris & alentours*, Parigramme 2003, s. 7.
[2] W 1769 Matthew Boulton i James Watt wprowadzili po raz pierwszy urządzenia napędzane energią pary wodnej do maszyn tekstylnych. DARLEY G., *Factory*, Reaktion Books Ltd, London 2003, s. 16.
[3] Po upowszechnieniu się nowego źródła energii osobne budynki maszyny parowej włączano do głównego korpusu. Akcentowanie bogatszą dekoracją elewacji podkreślało znaczenie nowoczesnych urządzeń.
[4] Ibid.

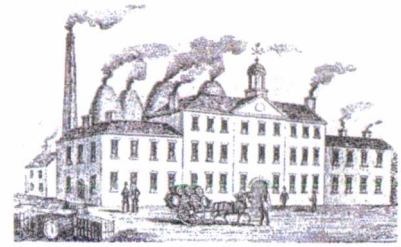
odzwierciedlały aktualną modę w architekturze obiektów publicznych i wiejskich posiadłości[5]. Szukając wzorów nawiązywano np. do stylu palladiańskiego – jak w uznawanej wówczas za jedną z najbardziej nowoczesnych fabryce Wedgwooda (rys. 1) czy Masson Mill Arkwrighta (fot. 3). W Londynie podziwiano Albion Mill (rys. 2), gdzie klasyczna elewacja z weneckimi oknami stanowiła „eleganckie opakowanie" dla nowoczesnych maszyn parowych[6].

W XIX wieku poparty rozwojem nauki i technologii rozwój przemysłu pociągnął za sobą zmianę techniki budowlanej – tradycyjne materiały zastąpiono nowymi, przez co elewacje fabryk zyskały nowy wyraz. Szczególną rolę odegrały metale: żeliwo, żelazo, z czasem stal i aluminium, które poprzez całkowicie odmienną koncepcję konstrukcji budynków umożliwiły odnowienie form architektonicznych. Fazy rozwoju architektury metalowej podążały za ewolucją technologii i ekonomiczności materiału.

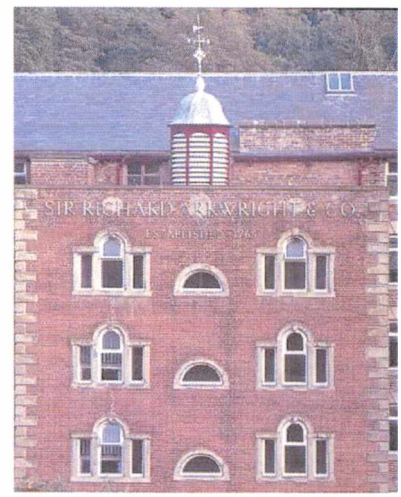
Żelazo okazało się kluczowe dla wielkich transformacji architektury, jakie następowały aż do drugiej połowy XIX wieku. Poprzez eksperymenty z użyciem tego materiału inżynierowie jako pierwsi opanowali metodę nowej konstrukcji – zabezpieczonej od ognia i o dużej rozpiętości[7]. Zdecydowanie wyprzedzili na tym polu architektów[8], którzy dość długo pozostali „(...) *podobnie jak malarze, wrogo nastawieni do przemysłowego rozwoju stulecia. Nie dostrzegali, że Rewolucja Przemysłowa, niszcząc ustalony porządek i przyjętą konwencję piękna, stwarzała możliwości nowej koncepcji piękna i porządku. Obdarzonym wyobraźnią oferowała nowe materiały i nowe techniczne udogodnienia i otwierała perspektywy architektonicznego planowania w niewyobrażalnej dotąd formie.*"[9]

Przez kilka dziesięcioleci zmiany wynikające z zastosowania nowych materiałów nie były bezpośrednio widoczne na elewacjach. Do lat 60. XIX w. klasyczna kompozycja niczym „*mechanizm zegarka zamknięty w kopercie*"[10] polegała na obudowaniu nowoczesnej, metalowej struktury murowanymi ścianami nośnymi.

To, co obecnie nazywamy transferem technologii, umożliwiło rozprzestrzenianie się nowych pomysłów, zmianę skali zastosowania materiału, po-



Rys. 1. Etruria - fabryka ceramiki Josiaha Wedgwooda, Stoke-on-Trent (arch. Joseph Pickford, 1769). *„Zbudowana z wielkim smakiem i zachwycająco rozplanowana"* pisano w roku 1802.



Fot. 3. Masson Mill, Cromford (1783). Zwieńczenie centralnej, wejściowej części budynku neoklasycznym frontonem lub kopułą było jednym z najczęściej pojawiających się motywów na elewacjach europejskich fabryk. Z czasem pojawiły się też wieże i dzwony wzywające robotników do pracy.



Rys. 2. Albion Mill, Londyn (1786). Elewacje młyna z weneckimi oknami i neoklasycznie zaprojektowane nabrzeże stanowią „opakowanie" dla tradycyjnego młyna zbożowego, do którego Boulton i Watt wprowadzili nowatorskie maszyny parowe. Nie do końca przetestowana technologia użyta ponad możliwości wywołała pożar, który zniszczył budynek uznawany za cud przemysłowy Londynu.

[5] Pojawienie się elementów klasycyzujących wiązało się z aspiracjami wzniesienia się w hierarchii społecznej nowo powstałej klasy przemysłowców. Jedną z dróg do osiągnięcia celu było wznoszenie fabryk w stylu, który dodawał prestiżu. Od połowy XIX w. zrezygnowano z klasycznego „przebrania" powracając do bardziej funkcjonalnego, surowego typu budownictwa więcej mówiącego o maszynach i procesach zachodzących wewnątrz. BRACEGIRDLE B., *The Archaeology of the Industrial Revolution*, Heinemann Educational Books, London 1974, s. 190.

[6] Wg Umberto Eco demonstracja fasady nawiązującej do klasycznej świątyni była próbą wyjednania przebaczenia za funkcjonalność maszyny. ECO U. (ed.), *Historia piękna*, REBIS, Poznań 2005, s. 392.

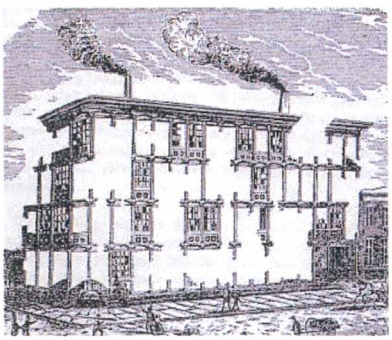
[7] Nowym wymaganiom ognioodporności i rozległej, wolnej przestrzeni dla rozwijającej się produkcji nie można już było sprostać za pomocą tradycyjnych rozwiązań. Metamorfozę zapoczątkowało żeliwo.

[8] Architekci trwali przy tradycyjnych metodach, nowe potrzeby wymagały jednak nowych rozwiązań. Na pierwszy plan wysunęli się inżynierowie, którzy korzystając z postępu technicznego szukali prekursorskich rozwiązań śmiało eksperymentując z materiałami i metodami konstrukcji. Bezprecedensowa skala i sposób, w jaki zastosowali żelazo, zapoczątkowały rozkwit nowej architektury. Spektakularne konstrukcje metaliczne jakie wówczas powstały, okazały się jednym z największych fenomenów XIX w.

[9] PEVSNER N., *Historia architektury europejskiej*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1976, s. 391-392.

[10] GIEDION S., *Przestrzeń, czas i architektura. Narodziny nowej tradycji*, PWN, Warszawa 1968, s. 219.

jawiły się też publikacje i reklamy. Użycie nowych materiałów uznawane za metodę awangardową w miarę rosnącej znajomości surowca spowodowało żywą debatę architektoniczną - z braku dotychczasowej stylistyki zaistniał problem formy i wyglądu. Dzięki plastyczności metal stał się tworzywem nie tylko konstrukcyjnym, ale i „artystycznym". Początkowo, używano go w zastępstwie tradycyjnych materiałów (w celu wizualnej akceptacji budynki pokrywano klasycznymi elementami o funkcji czysto ornamentalnej[11]), wkrótce powszechną ambicją stało się jednak osiągnięcie zupełnie nowych efektów estetycznych. Wg Giediona *„urok, który tkwił we właściwym użyciu tego materiału, zatracił się beznadziejnie w wypaczonej masowej produkcji"*[12]. Żelazo stało się symbolem nowej cywilizacji, którą niektórzy niechętni, określili mianem cywilizacji *„metalu i perwersyjnego gustu"*[13]. Mimo sporów co do stylu i estetyki w XIX wieku, powstały budowle, które udowodniły, że sztuka i technika wcale nie muszą być oddzielone, a *„nowe piękno może narodzić się z cywilizacji industrialnej, którą dotychczas łączono z ideą brzydoty"*[14].



Rys. 3. Projekt fabryki w żeliwnej konstrukcji szkieletowej (proj. James Bogardus, 1848).

Postęp techniczny i nowatorskie pomysły objawiły się szczególnie w utylitarnej architekturze przemysłowej, która stała się głównym polem doświadczalnym dla wszelkiego rodzaju eksperymentów i poszukiwań. *„W czasie, gdy sztuka kultywuje l'intymisme lub trzyma się starych formuł ze wzrokiem tkwiącym w dalszym ciągu w przeszłości, przemysł idzie naprzód i odkrywa nieznane. To nie w pracowniach malarzy i rzeźbiarzy przygotowuje się tak długo oczekiwana rewolucja, ale w fabrykach"*[15] pisał początkowo niechętny postępowi Octave Mirbeau.

W 1848 James Bogardus wykorzystał żeliwo rezygnując z ciężkich, murowanych ścian[16] (rys. 3). Gdy trzy lata później podziwiano efemeryczne, transparentne elewacje Crystal Palace[17] *„widzowie szybko się zorientowali, że przestały obowiązywać kanony, według których sądzono dotychczas architekturę"*[18] - nadchodziła nowa era w projektowaniu fasad.



Fot. 4. Magazyn łodzi, Sheerness (arch. Godfrey Greene, 1858). Pionierska struktura budynku w żeliwnej konstrukcji szkieletowej (jedynie dolny pas elewacji wykonano z cegły).

Patrząc na budynek magazynowy w Sheerness z 1858 można odnieść wrażenie, iż jest to typowy obiekt z lat 50. XX wieku (fot. 4). Wg Gillian Darley tak innowacyjna struktura elewacji z widocznym na zewnątrz żeliwnym szkieletem i lekkimi falistymi płytami okładzinowymi musiała wówczas wydawać się *„nieznośnie łysa dla wiktoriańskiego oka"*[19].

---

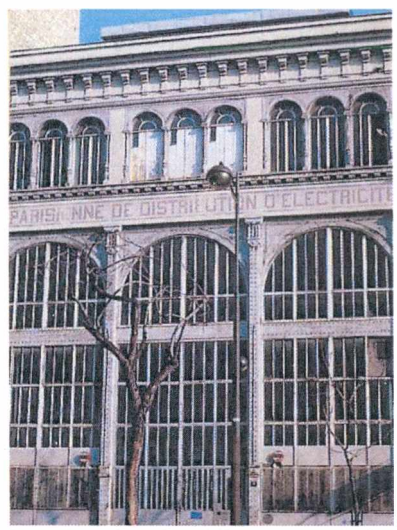
[11] ECO U. (ed.), *Historia...*, s. 392.
[12] GIEDION S., *Przestrzeń...*, s. 218.
[13] RAGON M., *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes. T. 1, Idéologies et pionniers 1800/1910,* Casterman, Tournai 1971, s. 137.
[14] Ibid. s. 174.
[15] Octave Mirabeau, Figaro, 1889 za: GIEDION S., *Przestrzeń...*, s. 245.
[16] W 1858 pisał o sobie w broszurze reklamowej: *„Bogardus pierwszy w czasach nowoczesnych wpadł na pomysł współzawodniczenia przy pomocy żeliwa z bogatymi architektonicznie wzorami starożytności".* RAGON M., *Histoire...*, s. 149.
[17] Rewolucyjna koncepcja wyprzedzała wręcz możliwości owych czasów - w architekturze przemysłowej ideę standaryzacji doceniono w pełni dopiero 100 lat później.
[18] Lothar Bucher, 1851, za: ibid. s. 282.
[19] DARLEY G., *Factory...*, s. 110.

Trzynaście lat później w Noisiel-sur-Marne Jules Saulnier wzniósł budynek przemysłowy z elewacjami w żelaznej konstrukcji szkieletowej (fot. 5), który stał się początkiem niezliczonych konstrukcji tego typu w następnych dekadach. Fabryka zasłynęła nie tylko z uwagi na innowacyjną konstrukcję, ale też wyjątkowe zdobienia. Widoczna na zewnątrz metaliczna struktura odgrywała jednocześnie rolę dekoracyjną[20].



Fot. 5. Fabryka czekolady Menier, Noisiel-sur-Marne (proj. Jules Saulnier, 1869-72). Jeden z najważniejszych zabytków architektury przemysłowej we Francji usytuowany na filarach na rzece Marne i zasilany energią hydrauliczną. Lakierowane cegły i kolorowa ceramika stanowią tylko wypełnienie szkieletu. Wzory, jakie powstały w połączeniu z elementami metalicznymi, wg samego Saulniera sprawiły, że budynek wygląda niczym orientalny dywan.

Na przełomie XIX/XX wieku interesujące realizacje powstały dzięki programom miejskim związanym z produkcją nowych rodzajów energii - gazu i elektryczności. Pierwsze pojawiły się gazometry, których prosta struktura i monumentalna skala stała się nowym symbolem miejskiego pejzażu industrialnego. Centrale elektryczne były kolejnym, nieznanym tematem architektonicznym (fot. 6). Nowa funkcja, a w konsekwencji charakter i kolosalne rozmiary obiektów wytwarzających energię stały się dla projektantów dużym wyzwaniem, m.in. ze względu na konieczność integracji z krajobrazem miasta. Podobnie jak w czasach pierwszych maszyn parowych, gdy zastosowanie nowego źródła energii było jeszcze niezbadanym do końca terytorium, z początku nowoczesne urządzenia umieszczano za fasadami wykorzystującymi znane wzory architektoniczne[21].

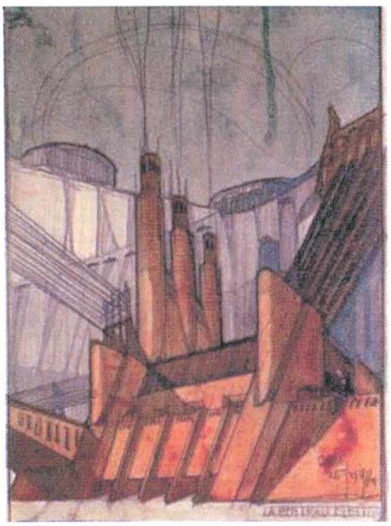


Fot. 6. Podstacja elektryczna Voltaire, Paryż (arch. Paul Friésé, 1908). Estetyka jednocześnie monumentalnej i funkcjonalnej architektury miała uspokoić Paryżan przestraszonych bliskością potężnych fortec, wyrastających w środku miasta. W elewacjach powiązano nowoczesność i tradycję. Lekka, metaliczna struktura uwolniła wnętrze od podpór, przeszklenia zapewniły dostęp naturalnego światła i przewietrzanie wnętrz nagrzewanych od funkcjonujących urządzeń. Z drugiej strony widać też odwołania do tradycyjnych wzorów i dekoracji.

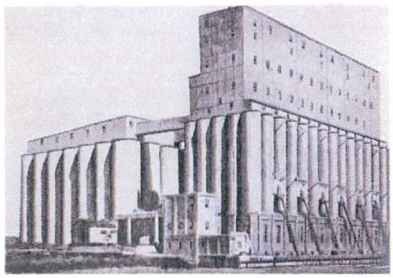
Elektryczność i generujące energię potężne budynki przemysłowe szczególnie zafascynowały włoskich futurystów, dla których stały się one synonimem postępu i nowoczesności. Sant'Elia nazywał je katedrami. Marinetti snujący futurystyczne wizje życia w XXI wieku w miejscu *„ożywionym na*

[20] Elewacje wywoływały w odbiorcach skrajne odczucia. Właściciel był zachwycony - *„nowość idei spodobała się M. Menier. Ten budynek był najważniejszym w jego fabryce ze względu na pozycję, wymiary i przeznaczenie; nie cofnął się przed wydatkami i zdecydował się na luksus dekoracji rzadki w konstrukcjach przemysłowych"*. LEMOINE B., *L'architecture du fer, France: XIXe siècle,* Champ Vallon, 1986, s. 210. Dla Giediona była to *„przeładowana dekoracją gmatwanina"*. GIEDION S., *Przestrzeń...*, s. 234.

[21] Uciekanie się do znanych form i rozwiązań miało oddalić niepokój związany z nowością i w pewnym sensie pokazywało dominację tradycji nad techniką. Z drugiej strony jednak inwestorzy chcieli się tą nowością „pochwalić" i pokazać dynamiczne zmiany związane z postępem.



Rys. 4. Studium centrali elektrycznej (arch. Antonio Sant'Elia, 1914). Architektoniczna wizja technicznego postępu i potęgi elektryczności. Projekty jedynego wśród futurystów architekta nigdy nie zostały zrealizowane, pozostały jedynie rysunki, na których dynamiczne formy wertykalnych, strzelistych fabryk sięgały nieba. Choć pozostały tylko wizjami, czerpali z nich natchnienie m.in. ekspresjoniści szukający estetyki dla nowoczesnej architektury.



Fot. 7. Amerykański, żelbetowy elewator zbożowy. *„Elewatory zbożowe Kanady i północnej Ameryki, transportery węglowe wielkich kolei żelaznych i bardziej nowoczesne zakłady Ameryki północnej są niemal tak pełne wyrazu w swej monumentalnej sile, jak budowle starożytnego Egiptu. (...) Wyrazistość tych budynków nie jest zaćmiona sentymentalnym uwielbieniem dla tradycji ani żadnymi intelektualnymi skrupułami, które psują nasze współczesne, europejskie projekty i wykluczają prawdziwie artystyczną oryginalność"* (Walter Gropius in: *Die Kunst in Industrie und Handel,* 1913).

wskroś nowymi siłami elektrycznymi"[22] uważał, iż *„nie ma nic piękniejszego niż wielka, szumiąca elektrownia"*[23] (rys. 4).

Energia elektryczna silnie wpłynęła na formę wszelkiego rodzaju zakładów przemysłowych pociągając za sobą nową koncepcję kształtowania ich elewacji. Do czasu rozpowszechnienia elektryfikacji, konieczność oświetlenia miejsc pracy naturalnym światłem dziennym była jednym z czynników rzutujących na realizację wąskich traktów budynków. Charakterystycznym elementem elewacji były wówczas rzędy okien doświetlających wnętrze. Później, XIX wieczne żelazne szkielety wypełniano coraz większymi taflami szkła - fasady wprowadziły do wnętrza więcej światła, a w wyglądzie nabrały lekkości. Oświetlenie wnętrza za pomocą elektryczności dawało więcej możliwości pobudzając rozwój nowych pomysłów w kształtowaniu zewnętrznej powłoki. Wyraźnie objawiło się to w architekturze XX wieku, doprowadzając np. do tak skrajnych koncepcji, jak tzw. ślepe fabryki.

Z końcem XIX stulecia pojawił się kolejny nowy materiał – beton zbrojony[24]. Umożliwił pokonywanie coraz większych rozpiętości, był szybki w budowie, ekonomiczny i adaptacyjny, a jednocześnie chronił od pożarów. Jego zalety okazały się wyjątkowo korzystne dla technicznych konstrukcji przemysłowych. W latach 1913-17 duńscy architekci Christiani & Nielsen zaprojektowali dla British Oil i Cake Mills szereg prostych żelbetowych silosów i składów bez dekoracji, których *„nieświadomym majestatem"*[25] zachwycili się architekci ruchu nowoczesnego[26] (fot. 7). *„Zachwycające wertykalizmem... robiłem zdjęcia jak szalony...."*[27] pisał do żony Erich Mendelsohn z podróży po USA.

Prosty i surowy w wyrazie[28] żelazobeton podkreślał na elewacjach coraz bardziej istotny funkcjonalizm fabryki[29]. W budynkach wznoszonych wg najnowszych osiągnięć technologii rozpoczęto masowe wytwarzanie nowoczesnych produktów takich jak samochody, które stały się symbolem nowej *„epoki maszyny"*[30]. Linia taśmowa wprowadzona przez Forda i systemy zarządzania Taylora doprowadziły do powstania zupełnie nowych modeli pracy determinując nie tylko plan, ale i zewnętrzny wygląd budynków[31].

---

[22] Marinetti, *Le Futurisme*, 1914, za: BANHAM R., *Rewolucja w architekturze*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1979, s. 137.

[23] Marinetti, *Manifest wspaniałości geometrii i mechaniki oraz wrażliwości na liczby*, 1914, za: ibid. s. 138.

[24] Pierwsze monolityczne złącze opatentowane w 1892 przez François Hennebique'a okazało się mieć wielkie zalety dla zastosowań w przemyśle – m. in. znacznie zredukowało ryzyko ognia i wibracje.

[25] GIEDION S., *Przestrzeń...*, s. 373.

[26] Żelbet stał się flagowym materiałem dla architektów ruchu nowoczesnego.

[27] DARLEY G., *Factory...*, s. 149-150.

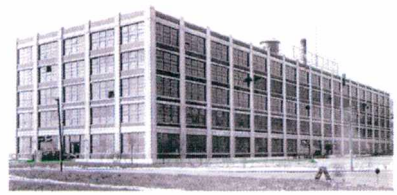
[28] Choć estetyka żelbetu, czy jak uważali niektórzy jej brak, wywołały polemikę w środowisku architektów, w budownictwie industrialnym stał się on bardzo popularnym materiałem. RAGON M., *Histoire...*, s. 196.

[29] Uwydatnienie funkcjonalizmu w architekturze przemysłowej spowodowało, że poszukiwania odpowiedniego stylu dla powłok przekształcanych z powodu wprowadzenia innowacyjnych maszyn i nowych źródeł energii zarzucono na rzecz racjonalnych przeobrażeń. Elewacje fabryki stawały się coraz bardziej przemysłowym produktem, a nie symboliczną interpretacją.

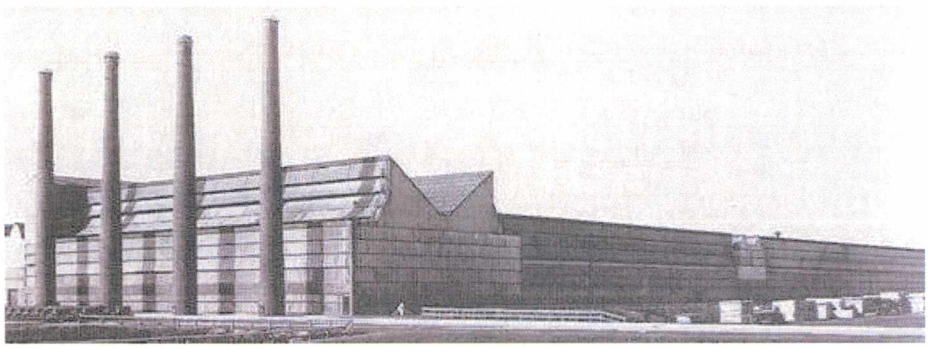
[30] BANHAM R., *Rewolucja...*, s. 6.

[31] Głównym dylematem stało się projektowanie wpływające na zwiększenie produktywności i obniżenie kosztów. Zastosowanie żelbetu i kratownic stalowych o dużych rozpiętościach zwiększyło adaptacyjność wnętrza fabryk, co z kolei pociągnęło za sobą eksperymenty z nowymi sposobami organizacji pracy.

„Architektura to w 90 % interes, w 10 % sztuka" uważał Albert Kahn, który odegrał wyjątkową rolę w ewolucji nowego typu fabryki[32]. Zaprojektowany przez niego zakład produkcyjny Forda-T w Detroit - długi, adaptacyjny budynek z pierwszą ruchomą taśmą montażową - zainaugurował racjonalną architekturę industrialną (fot. 8). Logicznym następstwem było zintegrowanie całego procesu produkcyjnego w jednopiętrowej hali. W fabrykach wykonanych z nowoczesnych materiałów tj. stali, betonu zbrojonego i szkła, podstawową rolą powłoki stało się funkcjonalne i ekonomiczne opakowanie wnętrza (fot. 9). *„Fabryki powinny wyglądać na to, czym są – fabrykami i niczym więcej"* twierdził Moritz Kahn.



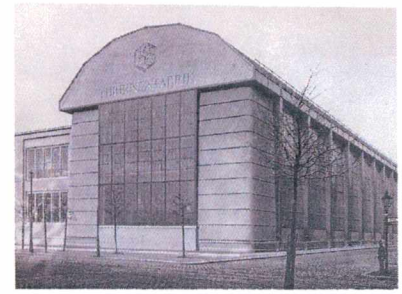
Fot. 8. Ford Model T, Highland Park, Detroit (arch. Albert Kahn, 1909). Przy pomocy powtarzalnych form i procedur architektura Kahna doskonale wyrażała zasady fordyzmu. Fabryki cechował racjonalizm, proste formy geometryczne i brak zbytecznej dekoracji. Żelbetowy szkielet konstrukcyjny elewacji wypełniano cegłą i przeszkleniami w metalowych ramach.



Fot. 9. Ford River Rouge Glass Plant, Dearborn (arch. Albert Kahn, 1917). Powszechnym wyrazem architektonicznym nowych tendencji w przemyśle stały się długie, monotonne elewacje jednopiętrowych hal. Charakterystyczne przeszklenia zdeterminowane siatką szkieletu konstrukcyjnego były odpowiedzią na zapotrzebowanie na optymalne warunki oświetlenia i wentylacji wnętrza.

Na kontynencie architektura przemysłowa rozwijała się inaczej, ponieważ jak mówił Le Corbusier - Europa nie miała swojego Henry'ego Forda. Choć amerykańskie wzory powszechnie naśladowano, w europejskich fabrykach czysty funkcjonalizm nie był aż tak częsty, łączono go raczej z elementami historycznymi lub bardziej zindywidualizowanymi formami. Kluczowa dla rozwoju współczesnej architektury demonstracja technologicznych osiągnięć pozostawała w nieodłącznym związku z bardziej subiektywną estetyką.

Problem powiązania sztuki z maszyną był szeroko dyskutowanym zagadnieniem, a postępowi projektanci wybierali różne drogi[33]. Nowoczesny duch w architekturze i fascynacja technologią nadawały fabrykom w pewien sposób awangardową strukturę, choć nie wszyscy byli zdolni powstrzymać się od referencji do dawnych stylów. Peter Behrens w hali turbin AEG połączył zasady klasycznej świątyni z nowoczesną, stalowo-szklaną konstrukcją (fot. 10). Zdjęcia budynku publikowano wraz z amerykańskimi silosami i przykładami *daylight factory* jako architekturę odzwierciedlającą ducha czasu, ale monumentalizm budynku spotkał się też z krytyką[34].

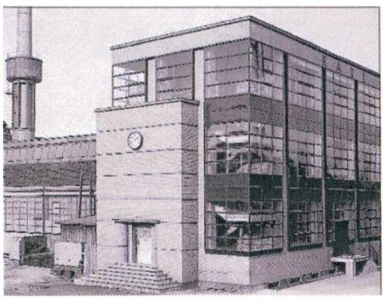


Fot. 10. Hala turbin AEG, Berlin (proj. Peter Behrens, 1908-09). Reprezentacyjna fasada łączy elementy klasyczne tj. pylony i tympanon z nowoczesną, stalową konstrukcją i dużymi przeszkleniami.

[32] Najpierw wielopiętrowej struktury żelbetowej, później jednopiętrowej hali ze stalowym szkieletem. Do lat 40. XX w. Albert Kahn zaprojektował ponad 1000 budynków dla Forda i kilkaset dla General Motors. http://info.detnews.com/history/story/index.cfm?id=144&category=people.

[33] Dążenie do logicznego wypracowania formy budynku z jego funkcji zderzało się z kwestią zastosowania artystycznego detalu w utylitarnej, technicznej konstrukcji. BANHAM R., *Rewolucja...*, s. 66. Elementy artystyczne w architekturze industrialnej miały ze względów komercyjnych wywierać pozytywny wpływ na obserwatorów i pracowników pomagając im ożywić *„monotonię mechanicznej pracy"*. GÖSSEL P., LEUTHÄUSER G., *Architecture in the Twentieth Century*, Benedikt Taschen, Köln, 1991, s. 95.

[34] W rzeczywistości ciężkie w wyglądzie rustykalne narożniki i tympanon tworzy cienka żelbetowa „skóra" na stalowej konstrukcji. Behrens twierdził, że w ten sposób przy użyciu nowoczesnych środków konstrukcyjnych osiągnął efekt stateczności. SŁAWIŃSKA J., *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa 1997, s. 37. Banham uważając to za nonsens uznał, że dopiero w kolejnym budynku fabryki AEG Behrens zrozumiał, iż *„ściany i dachy niezależnie od tego czy są masywne czy przeszklone, są jedynie powłoką naciągniętą na wielką, użyteczną przemysłowo przestrzeń"* BANHAM R., *Rewolucja...*, s. 88.



Fot. 11. Fabryka Fagus, Alfeld an der Leine (arch. Walter Gropius, Adolf Meyer, 1910). Szklany narożnik wraz z boczną ścianą obfotografowano i pod kontrolą Gropiusa opublikowano w odpowiednich czasopismach. Gdy pełen podziwu artykuł wskazujący na rewolucyjne aspekty budynku pojawił się w *Der Industriebau*, 1500 kopii wręczono klientom - już wtedy zdawano sobie sprawę z wielkiej siły architektury fabryki jako reklamy dla przedsiębiorstwa.

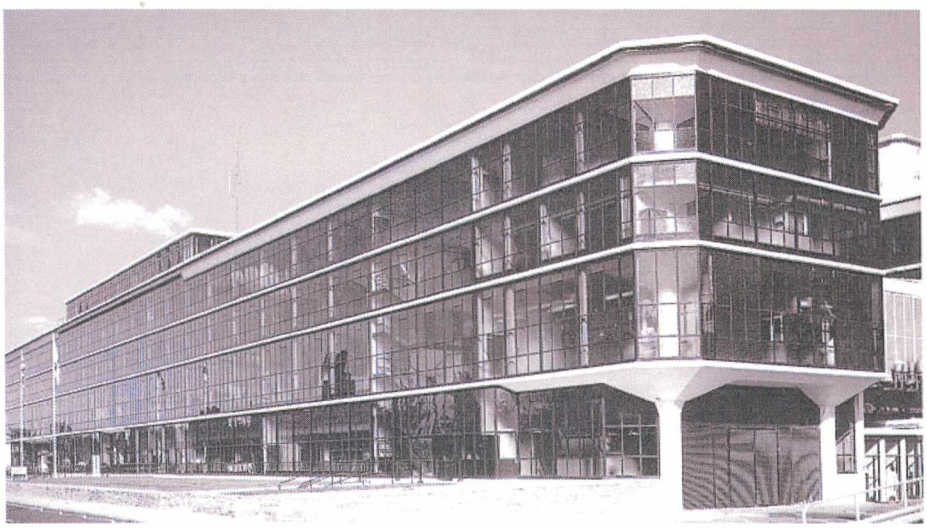


Fot. 12. Van Nelle Tobacco, Rotterdam (arch. Johannes A. Brinkman, Leendert Cornelius van der Vlugt, 1925-29). W ośmiopiętrowej fabryce całkowicie przeszklone ściany kurtynowe ukazywały nowoczesne ciągi technologiczne i żelbetową konstrukcję. Budynek uznawany za jeden z najważniejszych przykładów architektury początku XX wieku zbudowano wg charakterystycznej dla owych czasów koncepcji *„air, light, space"*.

W przeciwieństwie do Behrensa, Walter Gropius i Adolf Meyer w fabryce Fagus (fot. 11) odrzucili konwencjonalną strukturę nośną, wspierając strukturę szklanego narożnika na szkielecie stalowym[35]. Ich nowatorskie spojrzenie na szkło było ważnym krokiem w kierunku oddzielenia i uniezależnienia powłoki od reszty budynku. Choć większość elewacji wykonano w formie klasycznych, prostych ścian pokrytych cegłą, dzięki odpowiedniej reklamie i zdjęciom narożnika, budynek uznano za ikonę stylu, pierwszy przykład nowoczesnej architektury.

Potrzeba światła i otwartości, estetyczne wrażenie dematerializacji, wreszcie moda na „szklane domy" w początkach XX wieku spowodowały rozpowszechnienie się coraz bardziej przeszklonych elewacji w budynkach industrialnych[36]. Transparentne ściany ukazywały szkielet konstrukcyjny i nowoczesne metody produkcji. Z początku szkło było jedynie wypełnieniem elewacji. Z czasem powszechne stało się oddzielenie zewnętrznej powłoki od struktury konstrukcyjnej całości, co jednocześnie podkreślało wolną organizację wewnętrznej przestrzeni produkcyjnej (fot. 12). Wg zasad panującego stylu międzynarodowego nie było już efektu masy i solidności. Proste i regularne, pozbawione zbytecznej dekoracji szklane elewacje nadawały się doskonale do pokazania nowoczesnego ducha architektury przemysłowej.

W latach 30. budynek koncernu farmaceutycznego BOOT ze szklaną fasadą kurtynową okrzyknięto *„cudowną fabryką światła"*, przemysłowym Crystal Palace[37] (fot. 13). Wg Manchester Guardian przykład ten pokazywał, czym może stać się fabryka przyszłości, gdy architekci, mający do dyspozycji coraz bardziej nieograniczone możliwości techniczne, urzeczywistnią swoje pomysły i idee nowoczesnej architektury przemysłowej[38].



Fot. 13. Boots' Factory, Beeston (proj. Evan Owen Williams, 1930-32). Widok budynku po odrestaurowaniu w 1994. Czterokondygnacyjną strukturę wspartą na równomiernie rozłożonych grzybkowych kolumnach obudowano nieprzerwaną szklaną elewacją.

[35] W pozbawionych ornamentyki, płaskich elewacjach wyraźnie odcinający się fragment ceglanego wejścia stanowił *„muskularny kontrapunkt w mgle szkła znajdującej się za nim, z widoczną, pływającą jakby klatką schodową"*. DARLEY G., *Factory...*, s. 143.

[36] Wynalazki Fourcoulta (1904) i Colburna (1905) ułatwiły produkcję płaskiego transparentnego szkła przyczyniając się do rozwoju nowych technologii szklanych fasad. Specjalistyczne pisma i realizacje m.in. Bruno Tauta czy Waltera Gropiusa zmieniły postrzeganie tego materiału i jego roli w architekturze.

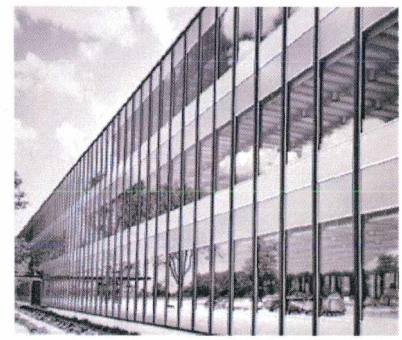
[37] DARLEY G., *Factory...*, s. 128.

[38] Ibid. s. 125.

Nowy styl budowania coraz mocniej opierał się na optymistycznej wierze w siłę technologii i industrializacji - sposób projektowania i wznoszenia fabryki należało zbliżyć jak najbardziej do metod produkcji przemysłowej.

W okresie wojennym brak zasobów i restrykcje materiałowe zmusiły do poszukiwania zastępczych rozwiązań. Na elewacjach zastosowano wkrótce zupełnie nowe materiały, m.in. syntetyczne i drewnopochodne. Jak zwykle w obliczu nowości kombinacje metalu, gumy, z czasem plastiku, żywic i włókien wywołały pewne obawy. Szybko jednak uznano, iż *"niespotykane materiały, projekty i metody produkcji... są całkowicie uzasadnione w obliczu istniejących warunków"*[39].

W latach powojennych firmy takie jak Skidmore, Owings & Merrils rozwinęły koncepcję budynku z wyeksponowaną szkieletową konstrukcją stalową. Szkielet nie tylko okazał się katalizatorem dla architektury, ale jak stwierdził Colin Rowe sam stał się architekturą. W połowie XX w. rozpoczęła się kolejna generacja lekkich, metalowych hal typu „skóra i kości"[40], w których wykorzystano takie wynalazki, jak odporna na warunki atmosferyczne stal Cor-Ten używana w przemyśle ciężkim i wagonach towarowych, czy neoprenowe uszczelki rozwinięte dla przemysłu samochodowego (fot. 14). Funkcjonalne, ale zarazem reprezentacyjne budynki miały ukazywać przyszłościową orientację, wysokie standardy i techniczny postęp, czego architektonicznym wyrazem stały się lekkie, zrytmizowane i pozbawione sztucznej dekoracji ściany osłonowe. Wykonane z innowacyjnych materiałów, stały się *„uniformem anonimowej architektury wielkich korporacji"*[41] (fot. 14, 15).



Fot. 14. Centrum Technologiczne General Motors, Warren (arch. Eero Saarinen, 1948-56). W latach powojennych szklaną modernistyczną elewację Centrum Technologicznego uznano za przykład technicznej wirtuozerii. Innowację stanowiły m.in. duże szkliwione panele metalowe i zaadaptowane we współpracy z architektami neoprenowe uszczelnienia opracowane dla szyb samochodowych.

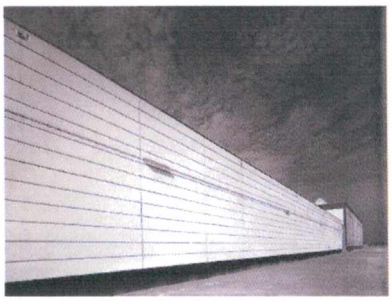


Fot. 15. Cummins Engine Co. Components Plant, Darlington (arch. John Dinkeloo, Kevin Roche, 1966). W architekturze korporacyjnej lat 60. transparentne, szkieletowe fasady z dużymi taflami szkła i syntetycznymi uszczelkami stanowiły element reprezentacyjny, symbol jakości i postępowości przedsiębiorstwa. Jednocześnie umożliwiały pracownikom kontakt z naturalnym otoczeniem. Elain Harwood w Architects' Journal określiła ten typ fabryk *„prestiżowymi naleśnikami"*.

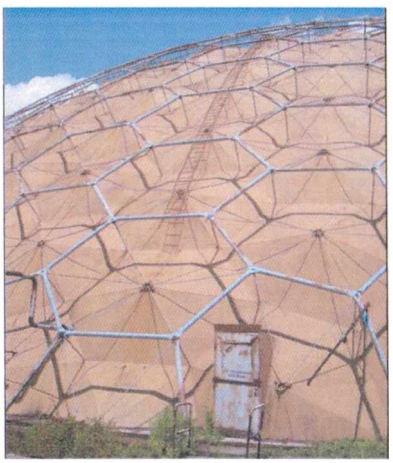
Obok dużych tafli szkła i prefabrykatów żelbetowych w roli okładziny zewnętrznej zastosowano stal, z czasem aluminium. Dalszy postęp technologii i upowszechnienie prefabrykacji doprowadziły do opracowania modularnych, wielowarstwowych niczym sandwicze paneli.

Uprzemysłowienie i standaryzacja elementów budowlanych okazały się idealnym rozwiązaniem, gdy stało się jasne, że jedyną pewną rzeczą w produkcji jest zmiana. Z drugiej strony jednak prefabrykacja mająca zaspokoić zapotrzebowanie na budynki powstające na taśmie jak auta, przyczyniła się do ich unifikacji. „Uzależnienie" od techniki przejawiające się skłonnością do powtarzania tych samych rozwiązań tłumiło znaczenie wartości estetycz-

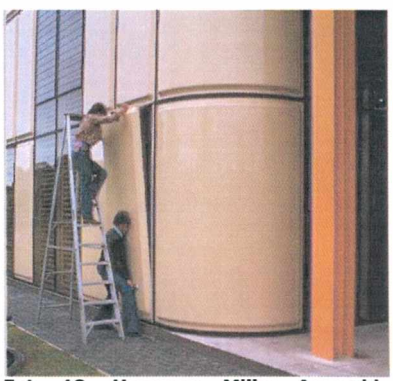
[39] Ibid. s. 128.
[40] „Skórę" tworzyła przeszklona ściana osłonowa, „kości" stalowy lub żelbetowy szkielet.
[41] WINSKOWSKI P., *Modernizm przebudowany. Inspiracje techniką w architekturze u progu XXI wieku*, TAiWPN UNIVERSITAS, Kraków 2000, s. 52.



Fot. 16. Fabryka turbin Siemens AG, Wesel (arch. Walter Henn, 1956). Monotonia pracy spowodowana mechanizacją produkcji znalazła w pewien sposób odzwierciedlenie w jednolitych elewacjach wykonanych ze standaryzowanych, powtarzalnych elementów.



Fot. 17. Union Tank Car Company, Baton Rouge (proj. Richard Buckminster Fuller, 1958). Jedna z największych konstrukcji geodezyjnych – stan aktualny. U Fullera interpretacja estetyki maszyny była nowatorską formą uniwersalizacji architektury. Wygląd struktury wynikał z założeń funkcjonalno - ekonomicznych (założeniem było zamknięcie maksymalnej kubatury w stosunku do rzutu, oraz osiągnięcie maksymalnej wydajności konstrukcji z kilograma materiału). Wg Jencksa efektem ubocznym był *„wizualnie jednorodny i uderzający obraz."*



Fot. 18. Hermann Miller Assembly Plant, Bath (arch. Nicholas Grimshaw, 1976). Elewacje wykonane są z modularnych, prefabrykowanych jednostek zdolnych adaptować się do wciąż zmieniających się wymagań klienta.

nych nadając fabryce monotonny wygląd betonowego, lub częściej blaszanego „pudełka". Elewacje znów były przede wszystkim funkcjonalnym i ekonomicznym opakowaniem przestrzeni produkcyjnej (fot. 16). Uniwersalne, modularne hale zyskały jednak ogromną, sięgającą po dziś dzień popularność[42]. Nowy model fabryki - parterowy czworobok niczym pudełko nakrywające proces produkcyjny - rozprzestrzenił się niezależnie od tradycji lokalnych i warunków klimatycznych.

Podczas gdy model jednolitej z zewnątrz hali stawał się normą, w środku wszystko się zmieniało – elastyczność wnętrza nabierała coraz większego znaczenia w miejscu pracy. Stworzenie lekkiej, efektywnej i ekonomicznej struktury dla przekrycia coraz większych, adaptacyjnych przestrzeni stało się celem wielu projektantów. W rezultacie w latach 50-60. XX w. równolegle z typizacją pojawiały się nowatorskie rozwiązania konstrukcyjne dodające architekturze przemysłowej trochę oryginalności (fot. 17).

W latach 70. XX wieku coraz większe znaczenie postępu technologicznego odbiło się w ewolucji architektury zwanej *high-tech*[43]. Nowa koncepcja powłoki budynku przemysłowego zakładała ochronę przestrzeni różnego (zmiennego) użytku, a zastosowanie nowoczesnych materiałów i konstrukcji miało optymalizować jej cechy. Zdolność adaptacji do różnych rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych wynikała z nieznajomości przyszłości, co w przypadku zaawansowanych technologii stosowanych w przemyśle miało szczególne znaczenie. Architektura zbliżała się tym samym coraz bardziej do bezpośrednich wymagań inwestora i przemysłu. Richard Rogers ujął to w następujący sposób: *„stworzenie architektury wcielającej nowe technologie wymaga oderwania się od platonicznej idei statycznego świata wyrażonego przez perfekcyjny, skończony obiekt, w którym nic nie można dodać ani ująć (...). W miejscu opisywanej przez Schellinga architektury jako zamrożonej muzyki szukamy architektury niczym muzyka nowoczesna, jazz, poezja, gdzie rolę odgrywa improwizacja, nieokreślonej architektury łączącej w sobie zarówno ciągłość jak i transformację"*[44].

Nicholas Grimshaw od pierwszej realizacji fabryki traktował jej przekrycie jako powłokę zdolną do modyfikacji przez cały cykl życia, stosownie do potrzeb użytkownika i ewolucji eksploatacyjnej. Użycie demontowalnych i wymiennych prefabrykatów pozwalało tworzyć w elewacjach zmienne konfiguracje nieprzeźroczystych paneli z metalu, tworzyw sztucznych, szkła, a także drzwi, bram wjazdowych, kratek wentylacyjnych, itp. (fot. 18). Ich

[42] M.in. ze względów takich jak: prostota rozwiązania, niskie koszty, szybkość i łatwość budowy, adaptacyjność.

[43] W architekturze przemysłowej tzw. *„technologiczny optymizm"* rozwijał się głównie dzięki architektom takim jak Richard Rogers i Nicholas Grimshaw.

[44] SLESSOR C., *Eco-Tech. Sustainable Architecture and High Technology*, Thames & Hudson Ltd, London 1997, s. 7.

chaotyczne, wydawałoby się losowe ułożenie, było wyrazem nowoczesnej funkcji budynku – zmiennej i dynamicznej[45].

Na zewnątrz budynków pojawiły się też inne, charakterystyczne elementy – maszty, cięgna, klamry, rury i wielkie, nieosłonięte instalacje. Pokryte wyrazistymi kolorami, czy z charakterystycznym metalicznym połyskiem wykreowały nową estetykę zaawansowanych technologii. Wbrew pozorom nie wynikało to z chęci stworzenia kolejnego symbolicznego stylu w architekturze. Nowa interpretacja „piękna maszyny" była rezultatem użycia wyrafinowanych technologii z bardziej racjonalnych pobudek. Wyszukane wyposażenie techniczne budynku wraz z nowoczesną, funkcjonalną strukturą próbowano zintegrować w jedną spójną całość[46]. Masztowe struktury, takie jak w budynku Fleetguard Manufacturing Centre (fot. 19) czy w fabryce Inmos (fot. 20) oferowały fleksybilność i możliwość dodawania prefabrykowanych elementów wzdłuż centralnej usługowej osi, tzw. kręgosłupa[47]. Podczas gdy pierwszy budynek zaprojektowano dostosowując jego wygląd do potrzeb krajobrazu Inmos miała służyć jako model uniwersalny[48].

„Gdy tracimy kontrolę nad procesem budowania stajemy się po prostu dekoratorami hal. Jeżeli jesteśmy zwykłymi dekoratorami hal, nie powinniśmy być nazywani architektami" uważał Rogers. W fabrykach wytwarzających zaawansowane technologie i wykorzystujących najnowsze techniki produkcji odpowiedni *design* musiał być widoczny w elewacjach, bowiem stanowił wizualny aspekt nowoczesności i postępu. Jednocześnie wysoka jakość i perfekcja architektury pozwalała promować obraz marki przedsiębiorstwa. W stylizowanych na maszyny fabrykach, śmiałe rozwiązania stosowano więc w rzeczywistości nie tylko dla wygody, ale też dla efektu i prestiżu (fot. 21).

Z biegiem lat w stechnicyzowanych budynkach przemysłowych pojawił się pewien paradoks. Wykorzystując zaawansowane technologie miały one być tanie, efektywne, samowystarczalne, ale wbrew pozorom były często bardzo drogimi realizacjami[49]. *„Nie forma podąża za funkcją, ale formę kształtuje zysk"* mówił Richard Rogers.

Kolejny „konflikt" pojawił się wraz z masową produkcją i standaryzacją nowatorskich rozwiązań. W pewnym sensie *„każdy budynek to prototyp pod względem wyboru struktury i materiałów"*[50]. Jednak to, co w praktyce okazało się skuteczne i akceptowane, było powtarzane i naśladowane. Awangardowe rozwiązania stały się typowe, standardowe, żeby nie powiedzieć ba-



Fot. 19. Fleetguard Manufacturing Centre, Quimper (arch. Richard Rogers Partnership, 1979-81). Dynamiczna w wyglądzie konstrukcja podwieszonego dachu uwalnia przestrzeń wewnętrzną i nadaje budynkowi lekkości. Proste ściany prawie pozbawione okien pokryto metalowymi, prefabrykowanymi panelami w kolorze srebrnym. Pas szkła umieszczony na obwodzie pod belką dachową doświetla wnętrze.



Fot. 20. Inmos, Newport (arch. Richard Rogers Partnership, 1982-87). W elewacjach system standaryzowanych słupków wypełniono szkłem pojedynczym, podwójnym, przeświecającymi i nieprzeźroczystymi panelami. Uzyskano w efekcie chaotyczną szachownicę jasnych i ciemnych płaszczyzn. Umieszczone ze względów technologicznych kratki wentylacyjne dodatkowo wzbogaciły rysunek elewacji.



Fot. 21. Renault Centre (Spectrum), Swindon (arch. Foster Associates, 1982-83). *„Jesteś rozpoznawany na rynku, musisz być też rozpoznawany w otoczeniu"* – wg tej dewizy Norman Foster projektował budynek. Żółty szkielet fabryki stał się tak silnym i rozpoznawalnym obrazem marki, że na całej elewacji nie było ani jednego logo identyfikującego firmę – sama architektura wystarczyła. Jako okładzinę elewacji zastosowano profilowane panele metalowe w kolorze srebrnym oraz tafle szkła mocowane w systemie Planar.

[45] U Grimshawa w składanych „z klocków" fabrykach do wynajęcia wszystkie elewacje miały ten sam charakter, choć same w sobie mogły się zmieniać wg potrzeb. Nie było głównej fasady i tyłu, tylko jak mówił projektant „same fronty".

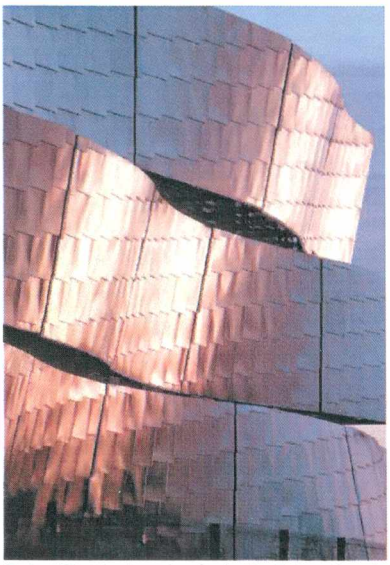
[46] Nowoczesne urządzenia systemu HVAC (tzn. ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja) umieszczano na zewnątrz dla uwolnienia przestrzeni wnętrza i łatwej wymiany. Dobrze widoczne podkreślały jednocześnie techniczną orientację i postępowość firmy.

[47] DARLEY G., *Factory...*, s. 131.

[48] http://www.rsh-p.com/render.aspx?siteID=1&navIDs=1,4,23,486

[49] Z jednej strony stosowano kosztowne technologie, z drugiej do pewnych kwestii podchodzono w sposób wyjątkowo oszczędny, jak np. do systemów okładzin elewacyjnych i ich mocowania.

[50] Anthony Hunt, za: DARLEY G., *Factory...*, s. 134.



Fot. 22. Spalarnia śmieci, Calce (arch. Luc Arsène Henry Jr., Alain Triaud). *„Caïman wyodrębnia się jako monumentalna rzeźba połyskując ze wszystkich stron. Jego łuski odbijają światło, niebo i ziemię niezależnie od pory roku i godziny. Pomalowany naturalnymi kolorami budynek ożywia się, wtapia w środowisko i staje się częścią krajobrazu".* http://www.constructalia.com/fr.

nalne[51]. Po pewnym czasie celebracja technologii, która początkowo szokowała, była już codziennością[52]. Paradoksalnie, sukces nowoczesnych technologii po raz kolejny przyczynił się jednocześnie do stagnacji i estetycznego ujednolicenia architektury[53]. Kto chciał się wyróżnić, musiał już szukać czegoś zupełnie nowego.

Od wczesnego zaangażowania w zracjonalizowaną masową produkcję elementów budowlanych architektura *high-tech* ewoluowała do zdecydowanie bardziej złożonego i rozproszonego stylu, obejmując zupełnie nowe zagadnienia, jak m.in. kwestie ekologiczne, wykorzystanie energii, itd.[54] Coraz częstsze i bardziej odważne użycie nowoczesnych technologii w elewacjach budynków sprawiło, iż niezbędna okazała się interaktywna współpraca specjalistów z wcześniej zupełnie niezależnych dziedzin.

Z końcem XX wieku architektura industrialna zaczęła polegać bardziej na wywołaniu efektu, niż pokazaniu strukturalnych i funkcjonalnych właściwości technicznych osiągnięć. Dzięki systemom wspomagania komputerowego typu CAD itp., rozpoczęła się epoka wyjątkowo śmiałych koncepcji. Choć więc zwykłe, funkcjonalne i ekonomiczne prostopadłościany nadal stanowią zdecydowaną większość, równolegle w wielu obiektach elewacje poddawane są niezliczonym eksperymentom i innowacjom. Prześcigając się w nastawionych na efekt koncepcjach, projektanci wykorzystują najnowsze osiągnięcia nauki i techniki zarówno do tworzenia wymyślnych form/konstrukcji, jak i coraz bardziej wyszukanych materiałów elewacyjnych. Wielodyscyplinarna praca łącząca ich wiedzę i doświadczenia popierana jest technikami komputerowych symulacji, bez których niemożliwa byłaby realizacja niejednej śmiałej koncepcji. W miarę możliwości finansowych, zaawansowane technologicznie, specjalistyczne i zindywidualizowane rozwiązania tworzone są dla konkretnych obiektów. *„Realizować to, co jeszcze nie istnieje"*, *„działać bez ograniczeń"* – reklamuje się jeden z potentatów w branży konstrukcji stalowych, firma PMA (ARCELOR), która opracowuje m.in. efektowne systemy stalowych okładzin, takich jak np. *Caïman*[55] (fot. 22).

Wg francuskiego architekta Luca Arsèna Henry'ego *„każdy architekt może stworzyć piękny budynek przemysłowy. Ale tak naprawdę najważniejsze jest, aby powłoka dostarczała emocji"*[56]. Współczesne fabryki czasami wyglądają więc niczym dzieła sztuki – ich formy przypominają nowoczesne rzeźby, elewacje - obrazy.

---

[51] Problem szczególnie dotyczył okładzin elewacyjnych - po pewnym czasie na pierwszy rzut oka większość budynków wyglądała jak kolejna wersja metalowego pudełka z rurami i instalacjami na zewnątrz.

[52] Początkowo relacja high-tech/architektura fabryki działała na zasadzie sprzężenia zwrotnego – przemysł był bodźcem dla rozwoju estetyki high-tech, która znalazła zastosowanie szczególnie w obiektach przemysłowych. Industrialny charakter architektury stał się modny i naśladowany przez wielu projektantów, świadomie kształtujących budynki publiczne na wzór przemysłowych, często bez zwracania uwagi na kontekst.

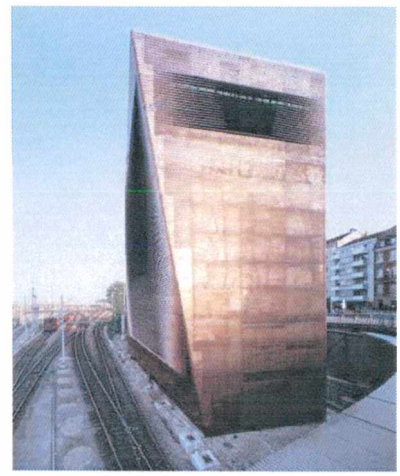
[53] BRZEZICKI M., *Zastosowanie zaawansowanych technologii w rozwiązaniach proekologicznych w architekturze*, Praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001, s. 10.

[54] SLESSOR C., *Eco-Tech...*, s. 7.

[55] http://www.constructalia.com/fr

[56] Ibid.

Szwajcarzy Herzog & de Meuron używają np. znanych materiałów do tworzenia całkiem nowych efektów (fot. 23). Herzog opisuje takie podejście projektowe następującymi słowami: *„dochodzimy do tego rodzaju rozwiązań na dwóch płaszczyznach. Pierwsza opiera się na przejawach dzisiejszego życia: na sztuce, muzyce i innych współczesnych środkach przekazu, a druga oparta jest na technikach, jakie możemy odkryć lub wynaleźć, aby wprowadzić architekturę do życia, w sensie technologii, wynalazków, które umożliwiają nam realizację naszych architektonicznych wizji"*[57].



Fot. 23. Signal Box, Basel (arch. Herzog & de Meuron, 1998-99). Przykład funkcjonalnego wykorzystania właściwości materiału. Betonową strukturę opasano miedzianymi taśmami szerokości ~ 20 cm, dzięki czemu uzyskano efekt klatki Faradaya – powłoka chroni znajdujące się we wnętrzu elektroniczne wyposażenie.

Zaawansowane technologie w połączeniu z chęcią eksperymentowania ze strony zarówno klientów jak i architektów stworzyły doskonałe warunki do odnowy architektury industrialnej. Ale od pewnego czasu widać też coraz większe uzależnienie od nowoczesnych osiągnięć techniki wskutek zwiększającego się zapotrzebowania i konsumpcji materiałów, energii, itp., czego rezultatem są m.in. negatywne skutki dla środowiska.

Gdy z końcem XX wieku projektanci zaczęli zmagać się z nowymi zagadnieniami dotyczącymi ogólnie pojętej ochrony środowiska naturalnego, nowe kryteria projektowe o charakterze proekologicznym stopniowo zaczęły przenikać także do sektora industrialnego. Z roku na rok na całym świecie powstaje tam coraz więcej tzw. *zielonych* obiektów. Aktywność przyjazna środowisku wywiera wpływ na architekturę budynku przemysłowego i vice versa – odpowiednia architektura niejednokrotnie bywa narzędziem dla proekologicznej działalności.

W kształtowaniu elewacji wykorzystywane są zarówno znane i sprawdzone jak i całkowicie innowacyjne techniki oraz technologie, które (przynajmniej teoretycznie) mają sprawić, że budynek będzie oddziaływał na środowisko mniej negatywnie. Współczesna architektura typu *eco-tech* obejmując szereg różnorodnych, powiązanych ze sobą zagadnień wymaga z pewnością holistycznego podejścia. Kluczowa staje się w związku z tym synergia działań i połączenie wiedzy oraz doświadczeń specjalistów z różnych, wydawałoby się odległych czy wręcz niezależnych dziedzin. W praktyce podejście projektantów bywa bardzo różne, tak samo zresztą jak i skuteczność proponowanych przez nich rozwiązań.

Architektura budynków przemysłowych cały czas odzwierciedla poziom rozwoju technologicznego i „ducha swoich czasów". W XXI wieku *„przyszła pora, aby znaleźć nowe sposoby i strategie wykorzystywania technologii, którymi już dysponujemy. Musimy przekształcić nasze możliwości techniczne i produkcyjne w taki system, który służy każdemu"*[58]. Technologie powoli przestając być więc bezmyślnie gloryfikowane, a projektanci zaczynają je selektywnie wykorzystywać dla osiągnięcia konkretnych celów[59]. W nowocze-

[57] http://www.pritzkerprize.com
[58] WINSKOWSKI P., *Modernizm...*, s. 15.
[59] SLESSOR C., *Eco-Tech...*, s. 8.

snych elewacjach (powłokach/skórach) trzeba i można już użyć je inaczej, aby uzyskać zupełnie nowy sposób powiązania z maszyną, a wszystko razem także i z naturą.

Jednym ze współczesnych przykładów jest metoda wykorzystania energii solarnej poprzez instalacje fotowoltaiczne. Wspierani silnym rozwojem rynku nowoczesnych materiałów, projektanci zaczynają je coraz częściej wprowadzać do architektury. Wykorzystując fotowoltaikę w kształtowaniu elewacji na różne sposoby zmagają się z zastosowaniem i oddziaływaniem innowacyjnej technologii - poszukują nowych koncepcji projektowych, optymalnych rozwiązań funkcjonalnych i estetycznych. Wielu specjalistów uważa, iż uznawane dziś jeszcze za awangardowe, zaawansowane systemy fotowoltaiczne zintegrowane ze strukturą budynku (tzw. BIPV[60]) w niedalekiej przyszłości staną się jednym z powszechnych elementów architektonicznego krajobrazu.

Wg Franka O'Gehry *„architektura jest małym fragmentem równania ludzkiego, ale ci z nas, którzy ją uprawiają wierzą w jej potencjał dokonywania zmian, rozjaśniania i wzbogacania naszych doświadczeń, przełamywania barier niezrozumienia i tworzenia pięknego kontekstu dla dramatu życia. (...) Musimy rozumieć i stosować technologię, musimy tworzyć budynki bezpieczne i trwałe, pełne poszanowania dla kontekstu i otoczenia, musimy stawiać czoło tysiącom problemów odpowiedzialności społecznej, a nawet podobać się klientowi"*[61].

[60] Ang. *Building Integrated Photovoltaics* – fotowoltaika zintegrowana z budynkiem. Patrz rozdz. III-IV.
[61] http://www.sztuka-architektury.pl/index.php?ID_PAGE=79.

2.
PRZEDMIOT PRACY

W obliczu problemów cywilizacyjnych przełomu XX/XXI wieku zagadnienia związane z ochroną środowiska naturalnego (tj. nowymi metodami generowania energii, minimalizacją negatywnego wpływu na otoczenie, kwestią ochrony zasobów, itp.) wchodzą coraz szerzej w zakres działalności architektonicznej. Rozwój tendencji proekologicznych widoczny jest także w sektorze industrialnym, gdzie architektura staje się istotnym elementem nowoczesnej, holistycznej koncepcji projektowania.

Zmianę sposobu postrzegania architektury przemysłowej oraz metod jej kształtowania odzwierciedlają m.in. elewacje/fasady budynków. Niniejsza praca jest próbą wyodrębnienia z rozmaitych kierunków działań podejmowanych przez projektantów wątku przeobrażeń elewacji pod wpływem innowacyjnego czynnika technologicznego. Na tle zależności pomiędzy architekturą, a zagadnieniami związanymi z promowaniem aktywności przyjaznej środowisku, dokonano subiektywnego wyboru zaawansowanej technologii fotowoltaicznej. Jej coraz szersze zastosowanie w budynkach industrialnych powoduje liczne implikacje funkcjonalno-użytkowe, a także wizualno-przestrzenne.

Eksploatacja energii solarnej poprzez instalacje fotowoltaiczne jest już uznaną i sprawdzoną metodą, która może stanowić efektywny substytut konwencjonalnych metod generowania energii elektrycznej. Może także brać udział w rozwiązywaniu innych problemów związanych z funkcjonowaniem budynków i ich oddziaływaniem na naturę. Na polu zastosowań architektonicznych jest to jednak jeszcze stosunkowo nowe i mało rozpowszechnione zagadnienie.

Głównym przedmiotem pracy jest problematyka związana z bezpośrednią integracją fotowoltaiki z elewacjami współczesnych budynków przemysłowych. Ściślej, analiza związków zachodzących pomiędzy nimi, a zaawansowaną technologią w aspekcie techniczno-budowlanym, proekologicznym i estetycznym.

3.
BUDOWA I ZAKRES PRACY

Wykorzystanie fotowoltaiki w kształtowaniu elewacji budynków przemysłowych jest stosunkowo nowym i kompleksowym zagadnieniem. Z tego względu w pracy dokonano wielowątkowej analizy tematu ukazując przeobrażenia elewacji w aspekcie technologicznym, środowiskowym i estetycznym wraz ze związkami i relacjami zachodzącymi pomiędzy nimi. Przyjęty układ pięciu głównych rozdziałów, z których rozdziały I i II stanowią część wprowadzającą, natomiast rozdziały III - V część główną, umożliwił ukazanie problemu z szerszej perspektywy, na tle zjawisk wyjaśniających jego genezę i ewolucję.

W **rozdziale pierwszym** przedstawiono problematykę związaną z wpływem postępu cywilizacyjnego, w tym działalności przemysłowej na środowisko naturalne. W sposób ogólny przedstawiono stan aktualny wraz z prognozami na przyszłość, prześledzono drogę do rozwoju świadomości proekologicznej, która doprowadziła do nowego kierunku działań w architekturze. Podkreślając analogie pomiędzy procesem przemysłowym a procesem kształtowania i użytkowania budynku przemysłowego zdefiniowano podstawowe cechy architektury o cechach proekologicznych, które w dalszych częściach pracy posłużyły do analizy problemu zasadniczego.

Rozdział drugi charakteryzuje nowe sposoby postrzegania i metody kształtowania elewacji w budynkach przemysłowych. Na podstawie wybranych przykładów światowych realizacji pokazano różne implikacje funkcjonalno-użytkowe oraz przestrzenno-estetyczne. Na tle dokonujących się przeobrażeń wynikających z cech nowoczesnej architektury o charakterze proekologicznym wyróżniono rolę czynnika technologicznego. Wyszczególniono jeden z rozwijających się w ostatnich latach trendów, polegających na eksploatacji energii solarnej poprzez zaawansowane technologicznie materiały fotowoltaiczne użyte w elewacjach budynków.

Rozdział trzeci obejmuje ogólną charakterystykę technologii fotowoltaicznej w aspekcie jej zastosowań architektoniczno-budowlanych. Poszczególne podrozdziały pokazują zasadność użycia, ewolucję, budowę i cechy systemu fotowoltaicznego oraz rozwiązania aktualnie dostępne na rynku komercyjnym. Ze względu na brak szczegółowych opracowań w języku polskim dotyczących wykorzystania fotowoltaiki w architekturze ogólna charakterystyka technologii stanowi tło historyczne i bazę informacyjną przydatną dla lepszego zrozumienia analizy zawartej w rozdziale czwartym.

Rozdział czwarty stanowi główną część pracy. Omawia problematykę związaną z bezpośrednią integracją systemu fotowoltaicznego z elewa-

cjami budynków przemysłowych. Zagadnienie przedstawiono z różnych perspektyw - pokazano wątek techniczno-budowlany, proekologiczny oraz estetyczny, wraz ze ścisłymi relacjami, jakie pomiędzy nimi zachodzą. W badaniach poszczególnych aspektów integracji fotowoltaiki oparto się na cechach architektury proekologicznej zdefiniowanych w rozdziale pierwszym i drugim.

W **rozdziale piątym** przedstawiono przykłady światowych realizacji BIPV w budynkach industrialnych. Układ chronologiczny ma na celu pokazanie ewolucji i kierunku przeobrażeń. Zestawienie zbiorcze podstawowych cech omawianych projektów pozwala na analizę porównawczą.

Na **zakończenie** podjętych badań dokonano podsumowania rozważań przeprowadzonych w rozdziałach I-V, przedstawiono wnioski.

Istotnym uzupełnieniem dla rozdziałów III-V są **tablice informacyjne** z rysunkami, schematami i zdjęciami związanymi z główną tematyką pracy, które dla większej czytelności umieszczono na końcu pracy w jednym, odrębnym rozdziale. Przedstawiono w zwartej, syntetycznej formie budowę, dostępne rozwiązania i możliwości kształtowania podstawowych elementów systemu fotowoltaicznego tj. ogniw i modułów. W dalszej części dokonano przeglądu aktualnie dostępnych na rynku komercyjnym produktów BIPV (wraz z przykładami rozwiązań eksperymentalnych) oraz pokazano przykłady integracji.

Dodatkowo, w **aneksie** przedstawiono w sposób ogólny i skrótowy:

- cechy technologiczne systemu fotowoltaicznego,
- oraz ogólną charakterystykę promieniowania słonecznego w aspekcie jego wykorzystania w konwersji fotowoltaicznej.

Tematyka związana z wykorzystaniem fotowoltaiki w kształtowaniu budynków, w tym ich elewacji, obejmuje bardzo szeroki zakres wiedzy. W pracy nie przedstawiono wszystkich aspektów i detali, ograniczając się do przedstawienia:

- Ogólnych podstaw technologii fotowoltaicznej niezbędnych dla zrozumienia omawianej problematyki;
- Najważniejszych etapów ewolucji technologii, które doprowadziły do jej zastosowania w architekturze oraz pokazania najnowszych trendów jej rozwoju;
- Wybranych możliwości oraz metod integracji fotowoltaiki z budynkiem wraz z pokazaniem ich różnorodności, ograniczeń i zalet;
- Wybranych technologii materiałowych wraz z przeglądem rynku dostępnych produktów;
- Wybranych rozwiązań oraz kierunku przyszłego rozwoju i sposobów kształtowania elewacji budynków przemysłowych;

- Wybranych przykładów realizacji światowych na podstawie opisów, zdjęć i tabel porównawczych pokazujących dotychczasowe rozwiązania i ich ewolucję.

W analizie zagadnienia nie ujęto:

- Szczegółowych informacji i detali z dziedziny fizyki, elektroniki, itp.;
- Interpretacji zjawiska w aspekcie globalnej i lokalnej gospodarki, polityki, ekonomii a także aspektów prawnych.

W głównej części pracy badaniami objęto budynki o charakterze industrialnym zrealizowane na przełomie XX/XXI wieku (w okresie lat 1990-2006). Pod względem położenia geograficznego są to obiekty zlokalizowane na półkuli północnej, przede wszystkim w krajach Europy Zachodniej, a także Południowej, w Ameryce Północnej oraz Azji, ściślej w:

- Niemczech, Holandii, Szwajcarii, Austrii, Wielkiej Brytanii (klimat umiarkowany ciepły), Grecji (klimat podzwrotnikowy kontynentalny), Hiszpanii, Włoszech (klimat podzwrotnikowy śródziemnomorski);
- Stanach Zjednoczonych (klimat podzwrotnikowy śródziemnomorski);
- Japonii (klimat podzwrotnikowy monsunowy, umiarkowany ciepły monsunowy).

Pod względem przeznaczenia w grupie badanych budynków przemysłowych znalazły się obiekty:

- Produkcyjne, produkcyjno-biurowe, produkcyjno-usługowe dla technologii podstawowych - np. fabryka okien, mebli;
- Produkcyjne, produkcyjno-biurowe, produkcyjno-usługowe dla technologii zaawansowanych - np. fabryka fotoogniw, modułów fotowoltaicznych, laboratorium badawcze, centrum badawczo-rozwojowe, centrum technologiczne, inkubator przedsiębiorczości;
- Magazynowo-składowe;
- Specjalne tj. silosy i zbiorniki;
- Straży pożarnej;
- Utylizacyjne (przemysł związany z ochroną środowiska) – np. stacja uzdatniania wody, spalarnia śmieci.

Są to w większości obiekty nowo powstałe, w kilku przypadkach modernizowane, o zróżnicowanej konstrukcji, charakterze przestrzennym i powierzchni.

Wyboru wszystkich analizowanych w pracy przykładów dokonano subiektywnie. Zdecydował o nim charakter rozwiązań, cechy architektoniczno-budowlane interesujące w kontekście omawianej problematyki oraz dostępność informacji.

4.
TEZY I CELE PRACY

TEZA GŁÓWNA

Wraz z rozwojem tendencji proekologicznych w architekturze industrialnej XX/XXI w. jednym z nowych trendów staje się wykorzystanie technologii fotowoltaicznej w kształtowaniu elewacji, co prowadzi do ich funkcjonalnych, formalnych oraz estetycznych przeobrażeń.

TEZY POŚREDNIE

- W jednej z grup współczesnych budynków industrialnych ewolucja elewacji prowadzi m.in. w kierunku kolejnej generacji wielofunkcyjnej, interaktywnej i zdolnej do transformacji powłoki;
- Architekturę przemysłową charakteryzuje duży potencjał dla praktycznego wykorzystania i dalszego rozwoju technologii fotowoltaicznej.

CELE PRACY

W pracy dokonano syntetycznego opracowania ukazującego przeobrażenia i ewolucję charakteru, metod kształtowania oraz roli elewacji w budynkach przemysłowych. Szczegółowa analiza problematyki związanej z wykorzystaniem technologii fotowoltaicznej we współczesnych obiektach ma na celu:

- Ukazanie ewolucji fotowoltaiki oraz kierunków jej dalszego rozwoju w kontekście architektonicznym;
- Pokazanie powiązań technologii fotowoltaicznej z procesem kształtowania zewnętrznych przegród w obiektach przemysłowych wraz z przeglądem dostępnych metod architektonicznej integracji;
- Określenie potencjału architektury sektora industrialnego w kwestii zagadnień związanych z ochroną środowiska.

A także:

- Prezentację i analizę wybranych realizacji światowych;
- Wzbudzenie zainteresowania, pogłębienie wiedzy i rozpowszechnienie informacji na temat innowacyjnej technologii solarnej w środowisku architektonicznym;
- Opracowanie bazy informacji i referencji dla projektantów.

5.
STAN BADAŃ

W wyniku kryzysu paliwowego i rozwoju badań nad środowiskiem przełom lat 1970/80 stał się początkiem ewolucji świadomości ekologicznej. Rządy krajów rozwiniętych rozpoczęły pierwsze programy solarne i przyznawanie funduszy na rozwój technologii fotowoltaicznej, jednocześnie w środowisku architektoniczno-budowlanym rozpoczęto wdrażanie energooszczędnych rozwiązań, pojawiły się koncepcje budynków solarnych. Pierwsze programy badawczo-rozwojowe i demonstracyjne zainicjowano w USA, Niemczech i Japonii.

Z końcem lat 70. amerykański Departament Energii (DOE) rozpoczął w Massachusetts Institute of Technology (MIT) program badawczy obejmujący projektowanie i demonstracje sposobów aplikacji fotowoltaiki w budownictwie. Założona przez architekta Stevena Stronga firma projektowa Solar Design Associates (SDA) zaangażowała się w badania i zrealizowała pierwszą instalację fotowoltaiczną zintegrowaną z dachem. SDA do dziś poświęca działalność artystycznej integracji energii solarnej w budynkach. Steven Strong uznawany za jeden z największych autorytetów w dziedzinie architektury solarnej jest autorem licznych publikacji. Jego artykuły pojawiają się m.in. w specjalistycznych czasopismach takich jak: *Architecture, Business Week, Architectural Record, Environmental Design and Construction, IEEE Spectrum, World Architecture, Building Design and Construction.*

Od połowy lat 80. problematyką wykorzystania systemów solarnych w architekturze zajmują się Kiss Cathcart Architects. Autorzy wielu realizacji, w tym budynków przemysłowych z fasadami fotowoltaicznymi, prowadzą aktywną działalność badawczą mającą na celu poszerzenie palety produktów BIPV i optymalizację ich właściwości pod kątem zastosowań architektonicznych. Wyniki badań i swoje doświadczenia przedstawili m.in. w raportach technicznych opracowanych dla National Renewable Energy Laboratory (NREL): KISS CATHCART ANDERS ARCHITECTS P.C., *Building-Integrated Photovoltaics*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-472-7851, Golden 1993; KISS G., KINKEAD J., *Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-472-20339, Golden 1995; KISS AND CATHCART ARCHITECTS, *Transparent Building-Integrated PV Modules*, National Renewable Energy Laboratory, DOE/GO/10262-T1, Golden 1998; EIFFERT P., KISS G., *Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures. A Sourcebook for Architects,* National Renewable Energy Laboratory, NREL/BK-520-25272, Golden 2000.

Niemcy, które rozwinęły największy rynek fotowoltaiki stanowią szczególnie ważny ośrodek badawczo-rozwojowy. Instytut ISE (Fraunhofer

Institute for Solar Energy Systems) założony we Freiburgu w 1981 jest największym w Europie instytutem badań solarnych - *http://www.ise.fhg.de/.*

Od połowy lat 80. w Niemczech (ale też w wielu innych krajach) prowadzone są liczne akcje demonstracyjne i projekty, jak np. programy dachów solarnych, dzięki którym opracowano pierwsze dane na temat instalacji zintegrowanych z konstrukcją budynku.

Oprócz rozmaitych instytucji, organizacji i stowarzyszeń w badania technologii BIPV angażują się przedstawiciele przemysłu budowlano-konstrukcyjnego. W 1991 współpraca architektów z producentem szkła Flachglas umożliwiła realizację pierwszej na świecie fasadowej instalacji BI-PV. Należy tu wymienić działalność osób takich jak: Joachim Benemann i Oussama Chebab (BENEMANN J., CHEHAB O., SCHAAR-GABRIEL E., *Building-integrated PV modules*, Solar Energy Materials & Solar Cells 67/2001, Elsevier 2001, s. 345-354.).

Poszczególne niemieckie landy w ramach kampanii informacyjnej i promocyjno-reklamowej wydają broszury, np. *Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen MWE: Photovoltaik – Innovation und Nachhaltigkeit, 2005; Photovoltaik in der Gebäudegestaltung, 2005.*

W środowisku architektów problematykę związaną z wykorzystaniem fotowoltaiki w kształtowaniu budynków podejmują m.in. Thomas Herzog, Astrid Schneider oraz Ingo Hagemann, który opracował interesujące kompendium informacji wraz z licznymi przykładami światowych realizacji i przeglądem komercyjnych produktów: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle*, Müller, Köln 2002. Suzanne Rexroth jest autorką wielu publikacji oraz pracy doktorskiej na temat potencjału paneli solarnych jako nowoczesnych elementów budowlanych: REXROTH S., *Gestaltungspotenzial von Solarpaneelen als neue Bauelemente - Sonderaufgabe Baudenkmal*, Universität der Künste Berlin, 2005.

W Japonii za badania i promowanie fotowoltaiki odpowiedzialna jest agencja AIST (Agency of Industrial Science and Technology). Największa japońska organizacja B&R promująca zaawansowane technologie środowiskowe i energetyczne - NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) - przeprowadziła w latach 90. szereg projektów eksperymentalnych dotyczących integracji modułów fotowoltaicznych z metalowymi ścianami osłonowymi. Wyniki badań przedstawiono w: YOSHINO M. et al., *Development of photovoltaic modules integrated with a metal curtain wall*, Solar Energy Materials and Solar Cells 47/1997, Elsevier 1997, s. 235-242; YOSHINO M. et al., *Photovoltaic modules integrated with a metal curtain wall,* Proceedings of the 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii 1994, s. 969-972.

Różnego typu fasadowe instalacje BIPV testowano również w Shogo Nishikawa Technology Development Laboratory Kandenko - ITO T., *BIPV products in Japan,* Photovoltaics in the Built Environment, 2nd World Solar Electric Buildings Conference, Sydney 2000.

Wiele badań skupia się na architektonicznych aspektach integracji technologii z powłokami budynków w celu zwiększenia akceptacji dla systemów fotowoltaicznych w środowisku miejskim. W Holandii Agencja Energii i Środowiska (NOVEM) oraz instytut badawczy ECN (Energy Research Centre of the Netherlands – *http://www.ecn.nl*) wspierają aktywność na tym polu, publikują, inicjują projekty demonstracyjne.

W programach badawczych i realizacjach budynków bioklimatycznych z instalacjami BIPV biorą udział m.in. BEAR Architecten (REIJENGA T., *PV in Architecture*, in: HEGEDUS S., LUQUE A. (eds.), Handbook of Photovoltaics Engineering, John Wiley & Sons, New York 2002). W ramach międzynarodowego projektu badawczego przeprowadzonego wspólnie z instytutem ECN, producentem materiałów budowlanych Dasolas, koncernem energetycznym ENW, Shell Solar Energy oraz Studiem Architektonicznym Cinzii Abbate powstały dwie fasadowe instalacje BIPV. Szczegółowe informacje na temat wyników badań i realizacji przedstawiono na stronie internetowej: *http://www.bear.nl/.*

W Szwajcarii w badania angażują się m.in. zakłady energetyczne (EWZ z Zurychu), jednostki uczelniane i laboratoria, np. LESO (Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment) z EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne), czy producenci materiałów budowlanych jak Enecolo. Dla propagowania architektonicznej integracji fotowoltaiki zorganizowano międzynarodowe centrum demonstracyjne DEMOSITE gdzie badane są rozmaite rozwiązania - *http://www.demosite.ch/.* W ramach działalności B&R powstają ekspertyzy techniczne, opracowywane są informacje na temat nowych produktów.

Szwajcarskie Stowarzyszenie Konstruktorów Okien i Fasad (Schweizerische Centrale Fenster und Fassaden - SZFF) przeprowadziło projekt badawczy mający na celu zniesienie przeszkód pomiędzy wykonawcami i projektantami fasad a specjalistami od systemów solarnych. Obszerny raport z badań przedstawiono w: *GISS Gebäude-Integrierte Solarstrom-Systeme* (Building Integrated Photovoltaic BIPV), Schlussbericht PV 100141, 150173, Dietikon 2005 – www.szff.ch/platform/content/element/1299/Bericht_GISS_TP2.pdf.

Dla synergii działań, powiązania wiedzy i doświadczeń specjalistów z różnych krajów i dziedzin zawodowych podejmowane są liczne inicjatywy międzynarodowe. Na przestrzeni ostatniej dekady przeprowadzono wiele programów badawczych. Za szczególnie ważny trzeba uznać IEA-PVPS (Photovoltaic Power Systems) Task VII z lat 1997-2001, dotyczący systemów fotowoltaicznych w środowisku budowlanym. W programie Międzynarodowej Agencji Energii wzięli udział specjaliści z 14 krajów. W rezultacie powstały liczne realizacje architektoniczne, opracowano nowe produkty budowlane. Dane przestawiono m.in. w postaci raportów i dokumentów – *http://www.iea-pvps.org/tasks/task7.htm.* Utworzono także stronę internetową stanowiącą bazę informacyjną na temat dotychczasowych realizacji i rozwiązań BIPV -

http://www.pvdatabase.com/. W 2005 opublikowano książkę omawiającą kompleksowo wyniki dotychczasowych działań: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing with solar power. A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV),* Images Publishing, Mulgrave, Earthscan, London, Sterling 2005.

Wśród innych programów badawczych można wymienić m.in.:

- CIS – FACADE MODULE (2000-2003) poświęcony optymalizacji estetyki i efektywności pół-transparentnych modułów cienkowarstwowych CIS dla zastosowań fasadowych. W programie wzięły udział: Shell Solar, Saint-Gobain Recherche, Joint Research Center – ISPRA;
- PVACCEPT (2001-2004) – niemiecko-włoski projekt badawczy i demonstracyjny zainicjowany przez architektów z Berlina w celu rozwoju innowacyjnych modułów solarnych dla zastosowań budowlanych (w tym obiektów historycznych) - *http://www.pvaccept.de/ita/index.htm*;
- PV-NORD (2002-2005) - pierwszy projekt z funduszy Komisji Europejskiej skupiający się na krajach północnych i nadbałtyckich - *http://www.pvnord.org/;*
- BIPV-CIS (2004-2007) – europejski projekt mający na celu zwiększenie potencjału integracji systemów fotowoltaicznych (cienkowarstwowych modułów w technologii CIS) z istniejącymi budynkami. Specjalną uwagę poświęcono kwestiom architektonicznym i estetycznym. W programie wzięli udział m.in.: Joint Research Centre, Politechnika Wrocławska, Ove Arup & Partners, Shell Solar, Saint-Gobain Recherche, Permasteelisa, itd.;
- IEA PVPS Task 10 (2004-2009) – dotyczący aplikacji fotowoltaiki w środowisku zurbanizowanym.

Działalność badawczo-rozwojową prowadzą na świecie liczne uniwersytety, instytucje i organizacje, zarówno prywatne i rządowe jak: *National Renewable Energy Laboratory (NREL) - www.nrel.gov; U.S. Departament of Energy (DOE) - www.doe.gov/; Sandia National Laboratories - www.sandia.gov/.* Szereg dokumentów, raportów itp. dostępnych jest na stronach internetowych EPIA (European Photovoltaic Industry Association), największego stowarzyszenia poświęconego rynkowi elektryczności solarnej – *http://www.epia.org.*

Dane szybko dezaktualizują się wraz z ewolucją technologii i rozwojem rynku. Najbardziej aktualne informacje odnaleźć można w materiałach z cyklicznie organizowanych konferencji, takich jak: *European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (od 1977 najbardziej specjalistyczna konferencja w dziedzinie energetyki solarnej i fotowoltaiki), World Solar Electric Buildings Conference, World Conference on Photovoltaic Energy Conversion.*

Powszechny dostęp do informacji na temat technologii, aktualnych rozwiązań, przykładów aplikacji, itp., zapewniają liczne wystawy i targi, jak *Intersolar.* Permanentnie funkcjonują również centra solarne, np. *Solar Info Center* we Freiburgu czy wystawa *SolarExpo* w Centrum Technologicznym Gelsenkirchen (przeniesiona w 2004 z fabryki ogniw Shell Solar).

W rozwój i optymalizację nowych produktów i rozwiązań aktywnie angażują się zarówno firmy produkujące materiały solarne jak i budowlane, np.: *Saint-Gobain Recherche, Scheuten Solar, Pilkington, Corus Bausysteme.* Wiele z nich posiada własne zaplecza badawczo-rozwojowe, laboratoria doświadczalne. Interesujące informacje dostępne są w postaci broszur reklamowych, na stronach internetowych, w katalogach produktów i szczegółowych opisach technicznych.

Na rynku ukazuje się wiele czasopism poświęconych fotowoltaice, w których pojawiają się artykuły obejmujące zagadnienia architektoniczno-budowlane: *PHOTON International, The photovoltaic Magazine, Solar Energy (Elsevier Science Ltd), Solar Energy Material and Solar Cells (Elsevier Science Ltd), Renewable Energy Word (James & James Ltd).* Informacje na temat technologii BIPV oraz konkretnych realizacji można odnaleźć także w czasopismach architektonicznych np. *Architectural Review, Techniques & Architecture, Glas,* itp. Tematyce architektury solarnej poświęcono niektóre numery magazynów jak *DETAIL (3/1999, 6/2005).*

Istnieje szereg publikacji przeznaczonych specjalnie dla architektów, w których problematyka związana z integracją technologii solarnej została ujęta w sposób kompleksowy. Przedstawiają one zarówno informacje teoretyczne i techniczne jak i przykłady dotychczasowych rozwiązań wraz z analizą możliwości kształtowania architektury: HUMM O., TOGGWEILER P., *Photovoltaik und Architektur. Die Integration von Solarzellen in Gebäudehüllen,* Birkhäuser, Basel 1993; SICK F., ERGE T. (eds.), *Photovoltaics in Buildings. A Design Handbook for Architects and Engineers,* International Energy Agency IEA, Paris, 1996; SOLAR DESIGN ASSOCIATES, *Photovoltaics in the Built Environment. A design guide for architects and engineers,* National Renewable Energy Laboratory, DOE/GO-10097-436, Golden, 1997; FORDHAM M. & PARTNERS (red.), *Photovoltaics in Buildings - A Design Guide,* ETSU S/P2/00282/REP, 1999; HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle,* Müller, Köln 2002; PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing with solar power. A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV),* Images Publishing, Mulgrave, Earthscan, London, Sterling 2005.

Tematyka podejmowana jest też w ramach szerszych opracowań związanych z zastosowaniem w architekturze rozwiązań proekologicznych i zaawansowanych technologii: DANIELS K., *The Technology of Ecological Building. Basic Principles and Measures, Examples and Ideas,* Birkhäuser, Basel 1997; DANIELS K., *Low-Tech, Light-Tech, High-Tech. Building in the Information Age,* Birkhäuser, Basel 1998; ADDINGTON M., SCHODEK D., *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions,* Architectural Press, Elsevier 2005.

Fragmenty poświęcone fotowoltaice znajdują się również w publikacjach dotyczących kształtowania fasad budynków: COMPAGNO A., *Intelligente Glasfassaden. Material. Anwendung. Gestaltung*, Birkhäuser, Basel 1995; SCHITTICH C. (ed.), *Building skins. Concepts, layers, materials*, Edition Detail, München 2001; CELADYN W., *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Politechnika Krakowska, Kraków 2004; HERZOG T., KRIPPNER R., LANG W., *Facade construction manual*, Birkhäuser, Basel, Edition Detail, Munich 2004.

Wiele badań dotyczy wybranych, specjalistycznych zagadnień. Na Uniwersytecie w Dortmundzie Helmut F.O. Müller prowadzi studia nad fotowoltaicznymi systemami zacieniającymi zintegrowanymi z holograficznymi elementami optycznymi (HUI S.C.M., MÜLLER H. F. O., *Holography: Art and Science of Light in Architecture*, Architectural Science Review, Volume 44, Issue 3, s. 221-226.).

Problematykę w aspekcie architektury energooszczędnej podejmuje: ANDRESEN I., *Building Integrated Photovoltaics in Smart Energy-Efficient Buildings - A State-of-the-Art*, Report NTNU, SINTEF, Trondheim 2002; WACHENFELDT B. J., BELL D., *Building Integrated Photovoltaics in Smart Energy Efficient-Buildings, A State-of-the-Art*, Report SINTEF, STF22 A04503, Trondheim 2003.

W Polsce tematyka fotowoltaiki ujęta w aspekcie architektonicznym podejmowana jest bardzo rzadko, w ograniczonym zakresie. Badania przeprowadzono w ramach prac doktorskich takich jak: LISIK B. M., *Struktury fotowoltaiczne w architekturze*, Praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999; MARCHWIŃSKI J., *Rola pasywnych i aktywnych rozwiązań słonecznych w kształtowaniu architektury budynków biurowych i biurowo-przemysłowych*, Praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.

Pojedyncze artykuły dotyczące wybranych zagadnień pojawiają się w czasopismach np.: MARCHWIŃSKI J., *Solar Fabrik – wykorzystanie energii słonecznej w zhumanizowanym miejscu pracy*, in: ARCHIWOLTA 4(24)/2004, s. 20-25.

Jak dotąd, w publikacjach zagranicznych analizowane są jedynie pojedyncze realizacje budynków przemysłowych z fasadami BIPV. W przeważającej części studia dotyczą obiektów o funkcji mieszkalnej oraz biurowo-administracyjnej. Problematykę związaną ściśle z architekturą o charakterze industrialnym podejmuje w badaniach wymieniony wcześniej Marchwiński. Szczegółowe informacje na temat dotychczasowych oraz planowanych realizacji odnaleźć można na stronach internetowych poszczególnych fabryk i przedsiębiorstw oraz ich projektantów.

W niniejszej pracy korzystano również z wielu materiałów niezwiązanych bezpośrednio z tematyką architektoniczną. Ważną pozycją na temat ewolucji technologii fotowoltaicznej jest: PERLIN J., *From space to earth: the story of solar electricity*, Harvard University Press, Cambridge, London 2002.

Specjalistyczne zagadnienia związane z analizą cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment), badaniami bezpieczeństwa technologii i jej wpływu na środowisko poruszają Alsema, Fthenakis i De Wild-Scholten, m.in. w: FTHENAKIS V. M., *Life Cycle Impact Analysis of Cadmium in CdTe PV Production*, Renewable

and Sustainable Energy Reviews 8/2004, Elsevier 2004, s. 303–334; ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN DE M. J., *Environmental Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production,* 13th CIRP International Conference On Life Cycle Engineering, Leuven 2006; ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN DE M. J., FTHENAKIS V. M., *Environmental Impacts of PV Electricity Generation - a Critical Comparison of Energy Supply Options*, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden 2006.

Publikacji w języku polskim jest niewiele. Wymienić tu można opracowanie z 1990: JARZĘBSKI Z. M., *Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna*, PWN, Warszawa 1990. Z nowszych książek - krótki rozdział poświęcono technologii fotowoltaicznej w: LEWANDOWSKI W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006. Pojedyncze artykuły pojawiają się też w branżowych czasopismach, jak np.: *Czysta Energia.*

Centrum Fotowoltaiki utworzone na Politechnice Warszawskiej uznaje za swój cel m.in. prowadzenie działalności badawczej oraz demonstracyjnej, edukacyjnej, organizowanie spotkań ekspertów i konferencji - *http://www.pv.pl.* Badania prowadzone są w różnych jednostkach naukowych i badawczych, np. na Wydziale Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej w laboratorium SolarLAb. W ramach Programu Komisji Europejskiej ALTENER w 2004 we Wrocławiu i Warszawie przeprowadzono szkolenie z dziedziny fotowoltaiki.

I.
ARCHITEKTURA, PRZEMYSŁ I ŚRODOWISKO

1.
POSTĘP CYWILIZACJI A ŚRODOWISKO

„Drepczą ludziki wokół kotłów, kominów, hal
Calutkie niebo w obłokach dymu...
Cuda architektury, zieleni
W gęstej, fabrycznej mgle...
„nowy, wspaniały świat"! apokalipsa!
Jaka szansa odwrotu?"
(Sergiusz Riabinin)

„Znajdujemy się na kursie kolizji z naturą. Natura to zderzenie jakoś przeżyje, ludzkość nie"[62]. Być może słowa te brzmią jak pesymistyczna i przesadzona wizja rychłego końca świata, ale fakty mówią same za siebie - równowaga ekologiczna Ziemi została poważnie zachwiana. Zmiany klimatyczne, zanieczyszczenie powietrza i wody, dziura ozonowa, umierające lasy, braki surowców, wypadki nuklearne, to tylko niektóre z konsekwencji.

Wśród wielu czynników, które wpływały na przestrzeni wieków na taki stan rzeczy, szczególnie istotna okazała się eksplozja demograficzna i paradoksalnie imponujący, jednak nie do końca kontrolowany postęp. Przy jednoczesnym wzroście bogactwa i wiedzy gwałtownie rosnąca populacja nieustannie zwiększała zapotrzebowanie na dobra w tym m.in. na energię pozyskiwaną tradycyjnie z paliw kopalnych. Równocześnie następowały pomnażające się w sposób stały od kilku dziesięcioleci zmiany klimatyczne, zanieczyszczenie i degradacja naturalna, stanowiąc poważne i całkowicie realne zagrożenie dla naszej planety.

W XXI wiek wchodzimy ze znaczną wiedzą na temat złego stanu środowiska, ale też i z coraz większą świadomością naszej roli i odpowiedzialności[63]. Jakie będzie nasze życie, gdy nie będziemy mogli oddychać czystym powietrzem, nie będzie lasów, *„fabryki ustaną, samoloty nie wzlecą, samochody nie ruszą i nie będziemy mieli ogrzewania, ciepłej wody, elektryczności czy komputerów"*?[64] Z pewnością dalszy rozwój cywilizacji nie może prowadzić do całkowitego wyczerpania zasobów naturalnych i zniszczenia ekosystemu – działania podejmowane w kierunku ochrony środowiska są zatem dużym wyzwaniem dla społeczeństwa XXI wieku.

---

[62] WEIZSÄCKER VON E. U., LOVINS A. B., LOVINS L. H., *Mnożnik Cztery. Podwojony dobrobyt – dwukrotnie mniejsze zużycie zasobów naturalnych. Nowy raport dla Klubu Rzymskiego*, Polskie Towarzystwo Współpracy z Klubem Rzymskim, Wydawnictwo Rolewski, Toruń 1999, s. 195.

[63] Liczne symulacje i badania potwierdzają, że główną przyczyną negatywnych zmian jest ludzka działalność. Trzeci Raport Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu IPCC (*ang.: Intergovernmental Panel on Climate Change)* podaje, iż *„pojawiły się nowe i bardziej przekonujące dowody na to, że większość zjawisk globalnego ocieplania obserwowanych przez ostatnie 50 lat, jest wynikiem działalności człowieka"*. http://www.ipcc.ch. Niektórzy naukowcy kwestionują takie stanowisko. Np. Ian Clark z Uniwersytetu w Ottawie, Halina Lorenc z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej prezentują odmienny pogląd, wg którego zmiany klimatu mają podłoże naturalne. http://www.financialpost.com/story.html?id=79ef0ec2-4c4c-49e0-b39c-60b13b2ba764 - CLARK I., *Look to the Sun*, Financial Post, 12 October, 2006. http://energia-odnawialna.info/content/view/85/2/ - *Globalne ocieplenie - fakty i mity.*

[64] EUROPEAN COMMISSION, *Energy: Let Us Overcome Our Dependence*, Luxemburg 2002.

1.1.
GENEZA PROBLEMU

Olbrzymi postęp, nowe typy budynków, nowe materiały budowlane i metody konstrukcji – wszystko to przyniosła Rewolucja Przemysłowa[65]. *„To była najlepsza ze wszystkich epoka i jednocześnie najgorsza, epoka mądrości i szaleństwa, epoka rozwagi, epoka niewiarygodności, czas światła i czas ciemności (...)"*[66] – epoka, która przeobraziła nieodwracalnie ludzkie życie i krajobraz świata[67]. Nowa cywilizacja, w której człowiek tak drastycznie zwiększył swą władzę nad naturą, okazała się mieć jednak swoją cenę. Skala zmian, jaka nastąpiła wskutek gwałtownego rozwoju, oddzieliła ten okres od reszty historii nie tylko w pozytywnym sensie, ale i w kontekście negatywnych konsekwencji dla środowiska naturalnego. Uprzemysłowienie to wynalazki i postęp, ale też nowy krajobraz pełen dymu, zanieczyszczeń i chaosu. Dziś, po ponad 200 latach, mnożą się problemy ekologiczne i energetyczne, w dużej mierze będące rezultatem industrializacji, niepohamowanego rozwoju i konsumpcji.

Korzenie obecnych problemów sięgają naturalnie wielu tysięcy lat wstecz i nie wynikają wyłącznie z rozwoju przemysłowego. Dawne cywilizacje naruszały ekosystemy m.in. wycinając i karczując lasy dla zaspokojenia zapotrzebowania na drewno do wznoszenia budowli i ich ogrzewania[68]. Przyrost społeczeństwa, rozwój górnictwa i produkcji wzmagały stopniowo proces niekorzystnych zmian. Wraz z zanieczyszczeniem pojawiły się też pierwsze protesty mieszkańców skarżących się na szkodliwe emisje z zakładów przemysłowych.

„Historia miast XIX wieku to historia choroby" twierdził Pierre Lavedan. Rozwój przemysłu przekształcił warsztaty w dymiące fabryki, a naturalne i zielone krajobrazy w hałdy i wysypiska. Poziom zanieczyszczenia i degradacji środowiska przybrał niespotykane dotychczas rozmiary. Masowa migracja ludności w poszukiwaniu pracy w fabrykach wraz z ówczesnym wyżem demograficznym pociągnęła miasta do niekontrolowanego wzrostu, a zastosowanie maszyny parowej przyspieszyło proces grupowania się wokół nowe-

[65] Termin *rewolucja* wywodzący się z Rewolucji Francuskiej i przejęty pod koniec XIX w. przez historyków angielskich w odniesieniu do czasów narodzenia przemysłu bywa krytykowany ze względu na sugerowanie nagłej zmiany, podczas gdy w tym wypadku zmiany następowały sukcesywnie. Tak czy inaczej, jest to termin powszechnie używany, wyraźnie podkreślający wymiar innowacji i zmian. Stosowane są też określenia takie jak: *industrializacja, uprzemysłowienie.*

[66] DICKENS C., *A Tale of Two Cities*, http://www.gutenberg.org/etext/98.

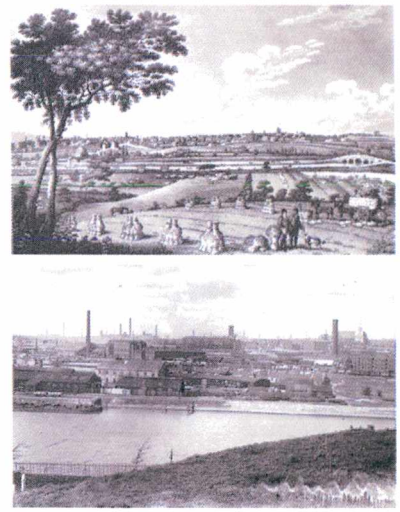
[67] Gdy rosnące zapotrzebowanie na dobra konsumpcyjne oraz stan wiedzy i nauki w społeczeństwie osiągnęły punkt krytyczny, konieczna okazała się zmiana dotychczasowego systemu. *Potrzeba matką wynalazków* – te słowa dobrze oddają to, co wydarzyło się wówczas w osiemnastowiecznej Europie. Zapoczątkowana około 1780 r. w Anglii, w postaci serii technicznych i socjalnych innowacji industrializacja szybko rozprzestrzeniła się burząc dotychczasowy porządek w wielu miejscach świata. Zrodziła też nowy typ budynków – fabryki, które wkrótce zmieniły, a nawet wręcz zniekształciły krajobraz miast.

[68] W starożytnej Grecji już w V w. p.n.e. zużyto zasoby drewna, co spowodowało niewątpliwie zmiany mikroklimatu. Także Rzymianie zużywali drewno w wielkiej ilości. Zanieczyszczenie atmosfery powstałe w wyniku jego spalania nazywali *ciężkim niebem (gravioris caeli), niezdrowym powietrzem (infamis aer)*.

go *„miasta węglowego"*[69]. Wraz ze zmianami w architekturze zmieniał się cały krajobraz. Po raz pierwszy zaznaczyło się tak duże zerwanie więzi między człowiekiem a naturą. „Biologicznie" ukształtowane miasta przekształcały się w miasta zysków, uregulowane „od linijki" jak w księdze handlowej[70]. Wielka sieć komunikacji zmieniała całkowicie ich dawny kształt, znikały ogrody i tereny zielone – niepotrzebne już, skoro nie przynosiły zysków. Dymiący komin - symbol współczesnej fabryki – stał się jednym z podstawowych elementów nowej architektury i miejskiego krajobrazu (fot. 24)[71].

Podziw dla nowych technologii i sukcesów industrializacji temperowały okresowe kryzysy i wzrastająca świadomość kosztów niepohamowanego wzrostu coraz bardziej chorego miasta. *„Piekłem na ziemi"*[72] nazywał Engels Manchester – miasto uznawane wówczas za wiodące centrum przemysłowe. Pisarze tacy jak Charles Dickens czy Emil Zola szczegółowo opisywali rzeczywiste krajobrazy. W przeciwieństwie do rozpraw jednostronnie wychwalających postęp podkreślali brud, brzydotę, zanieczyszczenie, fatalne warunki i pozostawiającą wiele do życzenia jakość budownictwa. Symboliczne Coketown u Dickensa było miastem *„(...) z czerwonej cegły, a raczej cegły, która mogłaby być czerwona, gdyby dym i popiół pozwoliły na to. Za wdaniem się ich Coketown stało się jakoś nienaturalnie czerwone i czarne jak pomalowane oblicze dzikiego wyspiarza. Było to miasto maszyn i wysokich kominów, z których nieskończone węże dymu kłębiły się ciągle i nieustannie, a nigdy rozplątać się nie mogły"*[73].

Szwedzki chemik Svante Arrhenius już w XIX wieku zasygnalizował to, co dziś nazywamy efektem cieplarnianym. Ołówkiem na papierze wyliczył wzrost temperatury w następnych dwóch stuleciach przestrzegając, iż generowanie coraz większych ilości CO_2 przyczyni się do wzrostu niekorzystnej tendencji. Na wzrost szkodliwych emisji i postępującej degradacji nie było jednak wówczas remedium. Kroki podejmowane w kierunku przeciwdziałania zanieczyszczeniu polegały po prostu na budowaniu coraz wyższych kominów. W rezultacie niegdyś złoto-szare, kamienne, czy czerwone ceglane elewacje fabryk zamieniały się w ciemne, ponure bryły.



Rys. 5./Fot. 24. Preston, Anglia. Porównanie widoku z wieku XVIII ze zdjęciem z początku wieku XX pokazuje, jak bardzo zmieniła się linia horyzontu miasta wskutek industrializacji.



Rys. 6. Zapiski i rysunek z karnetu podróżnego Karola Schinkla. Wysokie gmachy z elewacjami z nieotynkowanej cegły zdominowały krajobraz wielu europejskich miast. W tle zaznaczał się nieodłączny element nowej estetyki fabrycznej – dymiący komin, który stał się XIX-wiecznym odpowiednikiem współczesnych neonów reklamowych czy logo fabryki. Schinkel wspominał z podziwem niektóre angielskie młyny, skala i jakość krajobrazu przemysłowego Manchesteru, uznawanego wówczas za światową stolicę przemysłu wywarła na nim jednak niekorzystne wrażenie: *„potwornie bezkształtne budynki wzniesione przez majstrów bez żadnej architektury, tylko to, co konieczne i z czerwonej cegły."* DARLEY G., *Factory...*, s. 30.

[69] Termin użyty przez Dickensa w *Ciężkich czasach*, później często stosowany przez Lewisa Mumforda.
[70] RAGON M., *Histoire...*, s. 22.
[71] *„Miasto węglowe nosiło stygmaty nocy. Chmury czarnego dymu pokrywały kominy fabryk, splątane linie kolejowe zagłębiały się głęboko do centrum aglomeracji pożerając jej materię, podczas gdy lokomotywy rozprzestrzeniały dookoła węglowe substancje. (...) Zanieczyszczając atmosferę, kopalnie wydawały się symbolicznie reprezentować dominację interesów materialnych nad zwykłymi potrzebami egzystencji. Tłusty pył węglowy pokrywał wszystko, (...) brudząc skórę i ubrania mieszał się z żelaznymi cząstkami, chlorem z fabryk, chmurami cementu (...)".*Tak wg Lewisa Mumforda wyglądały ówczesne miasta. Wyjątkowo smutne i przykre miały *„nieuporządkowany aspekt wywróconego do góry nogami pola bitwy"*. Ibid. s. 23.
[72] *„Wszystko, co wywołuje najbardziej gwałtowne obrzydzenie i oburzenie pochodzi od niedawna, należy do epoki industrialnej (...). (Manchester) Wywiera prawdziwe wrażenie plugastwa, ruiny i niezamieszkania, buntu przeciw wszelkim względom czystości, wentylacji i zdrowia (...) Jeżeli ktokolwiek życzyłby sobie zobaczyć w jak małej przestrzeni człowiek może się poruszać, jak małą ilością powietrza i JAKIEGO! powietrza może oddychać, jak mało cywilizacji może mu przypadać w udziale, powinien przybyć w to miejsce".* ENGELS F., *Industrial Manchester,* 1844, za: http://www.fordham.edu/halsall/mod/1844engels.html.
[73] Charles Dickens, *Ciężkie czasy*, 1854, za: ECO U. (ed.), *Historia...*, s. 329.

Jednocześnie skala konsumpcji węgla spalanego przy uruchamianiu urządzeń napędzających lokomotywy i maszyny fabryczne okazała się alarmująca. Niektórzy szybko zdali sobie sprawę z niebezpieczeństwa, jakie niesie za sobą masowy charakter wydobycia zasobów naturalnych i ich przetwarzanie. Ewolucjonista Alfred Wallace podziwiał XIX wiek za wielkie wynalazki i nowe style w budownictwie, ale podkreślał też jego niepowodzenia - *„niezależnie od tego, czy okres całkowitego wyczerpania się naszych pokładów węgla może zostać w przybliżeniu określony, jasne jest, że obecne ogromne i wzrastające tempo konsumpcji musi być zatrzymane"*[74].

Słynny francuski profesor matematyki Augustine Mouchot również wyrażał duże zaniepokojenie sytuacją - *„w końcu przemysł nie znajdzie już w Europie więcej zasobów by zadowolić swą ogromną ekspansję...Węgiel niewątpliwie zostanie wykorzystany do końca. Cóż wtedy zrobi przemysł?"*[75] Pojawienie się nowych problemów dało m.in. początek rozwojowi technologii solarnych. Profesor Mouchot był jednym z pierwszych, którzy zastanawiali się czy energia słoneczna będzie mogła zastąpić spalanie węgla, na którym bazowały europejskie fabryki[76].



Fot. 25. Saline Royale, Arc-et-Senans (proj. Claude-Nicolas Ledoux, 1775-79). Odpowiednio zaprojektowane elewacje budynków rozlokowanych w uporządkowanym systemie wśród zieleni i ogrodów miały dobrze wpływać na samopoczucie siły roboczej. W rzeczywistości za masywnymi, kamiennymi ścianami pracownicy żyli w odizolowanej społeczności, w zamkniętym „mikrokosmosie" fabryki.

Próby rozwiązania złej sytuacji podejmowali w pewnym sensie także architekci i urbaniści. Ich pomysły na reformę miasta przemysłowego, polepszenie warunków przy jednoczesnym wykorzystaniu najnowszych technologii były jednak raczej ideologicznymi, utopijnymi refleksjami. Wielu, tak jak Claude-Nicholas Ledoux[77] (fot. 25), Ebenezer Howard, czy Toni Garnier[78], próbowało stworzyć koncepcję idealną – miasto, w którym relacje pomiędzy człowiekiem a pracą, przemysłem i innymi dziedzinami życia zapewniałyby optymalne możliwości. W Ameryce pojawiły się próby lokowania fabryk poza miastami i wprowadzania nowych standardów w miejscu pracy, jak miało to miejsce chociażby w Nowej Anglii. Dickens zwiedzając słynne Lowell w 1842 roku z zaskoczeniem odnotował czystość tamtejszych czerwonych budynków i rzucającą się w oczy dbałość o zieleń. Okna fabryk starannie zacieniała od słońca odpowiednio dobrana roślinność liściasta[79].

W Europie powstały z czasem realizacje mające na celu zapewnienie lepszej cyrkulacji i higieny oraz zwiększenie obszarów zielonych. Znaczenie

[74] WALLACE A., *Free-Trade Principles and the Coal Question*, list opublikowany w Daily News, London, 16.09.1873, za: http://www.wku.edu/~smithch/wallace/S231.htm.

[75] MOUCHOT A., *La chaleur solaire et ses aplications industrielles*, Paris 1869, za: PERLIN J., *From space to earth: the story of solar electricity*, Harvard University Press, 2002, s. 2.

[76] Dokładna analiza problemu w rozdz. III/2.

[77] Pierwsze miasto idealne epoki industrialnej powstało w XVIII wieku. Claude-Nicolas Ledoux zaprojektował kompleks, w którym wysublimowana architektura miała brać istotny udział w spełnianiu wysokich wymagań Królewskiej Manufaktury i symbolicznie ukazywać nowy rodzaj powiązania człowieka z naturą poprzez pracę. Rewolucyjny i wizjonerski projekt uznano za *„poemat kamienia dedykowany ludzkiej industrii"*. VIGATO J.-C., *L'architecture de la Saline*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001.

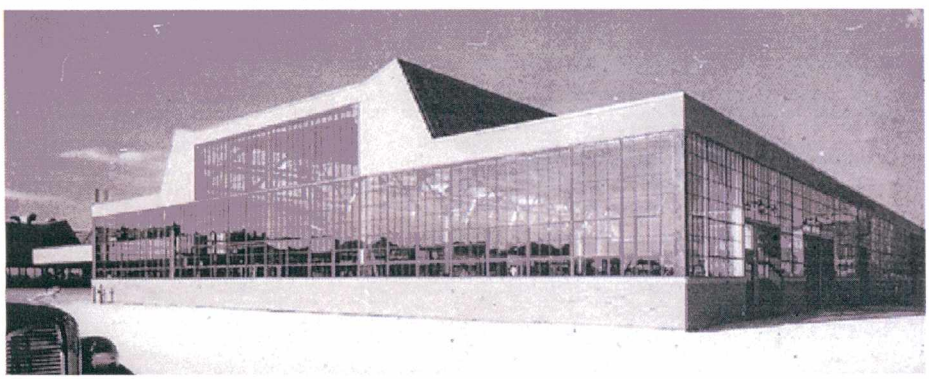
[78] Zniesienie zła rewolucji Przemysłowej było aspiracją m.in. Ebenezera Howarda, który stworzył koncepcję miasta ogrodu. W innej słynnej koncepcji - Cité Industrielle – Toni Garnier proponował połączenie strefy przemysłowej z dużą ilością zieleni, zastosowanie wówczas jeszcze nierozpowszechnionego żelbetu, oraz odpowiednią orientację budynków dla wykorzystania energii solarnej.

[79] DARLEY G., *Factory...*, s. 64.

estetyki architektury zmniejszało się przy tym na korzyść racjonalizmu. W początkach XX wieku, według powszechnego wówczas założenia, industrializacja miała zaspokoić wszystkie potrzeby współczesnej cywilizacji. Nie wszyscy byli tym zafascynowani. Ruskin, znany z wyjątkowej niechęci do przemysłu, zauważał niebezpieczeństwo związane z jego niekontrolowanym rozwojem. Jego program przedstawiony w *Seven Lamps of Architecture* niektórzy uznają za pierwszy usystematyzowany ekologiczny ruch filozoficzny.

Aż do drugiej połowy XX wieku nie poświęcano dużej uwagi negatywnym skutkom industrializacji. Także związki pomiędzy środowiskiem a architekturą, tym bardziej przemysłową, nie były tematem głębszych rozważań wśród projektantów. Tymczasem problemów pojawiało się coraz więcej. Zanieczyszczenie powodowane rozwijającą się działalnością rosło. Uzależnienie od sztucznego oświetlenia i klimatyzacji, straty ciepła przez elewacje z dużymi powierzchniami szkła, czy niedostatecznie izolujące termicznie prefabrykowane panele powodowały, że konsumpcja energii bazującej na paliwach kopalnych okazała się wręcz alarmująca. Jednocześnie komfort w miejscu pracy pozostawiał wiele do życzenia, mechaniczne systemy wentylacji i klimatyzacji były bowiem dalekie od doskonałości.

Słynne na cały świat amerykańskie fabryki Kahna z początku XX wieku z charakterystycznymi, dużymi powierzchniami szkła na fasadach i świetlikach dachowych rozpowszechniły koncepcję tzw. *daylight factory* – fabryki maksymalnie wykorzystującej naturalne oświetlenie i wentylację (fot. 26).



Fot. 26. Chrysler-Dodge Half-Ton Truck Plant, Warren (arch. Albert Kahn, 1938). Zewnętrzne ściany z żelbetu z wielkimi przeszkleniami powodowały znaczny wzrost temperatury wewnątrz budynku, co niekorzystnie wpływało na komfort i samopoczucie pracowników.

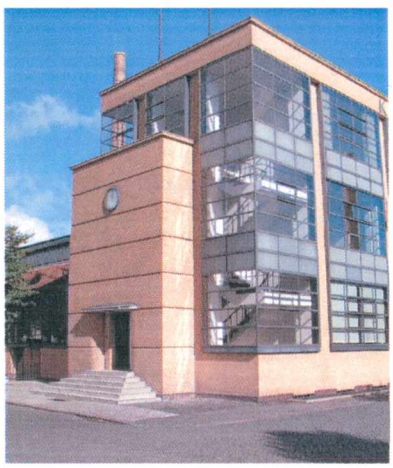
Coraz bardziej przeszklone elewacje budynków ze swoją transparentnością i lekkością stanowiły sporą odmianę dla pompatyczności i masy poprzednich fabryk, jednak nowa „wolność" architektoniczna szybko pokazała też nowe problemy związane z fizyką budynku i komfortem. W mocno przeszklonych fabrykach problematyczne okazały się zarówno ogromne straty ciepła, jak i przegrzanie czy kondensacja. Wiele do życzenia pozostawiały również warunki akustyczne, nie mówiąc już o jakości powietrza wewnątrz.

W celu optymalizacji parametrów jednowarstwowej szklanej powłoki logiczne było zastosowanie dodatkowej warstwy szkła, która zapewniłaby lepsze właściwości termiczne bez konieczności rezygnacji z bezpośredniego doświetlenia wnętrza. Już w roku 1903 w niemieckiej fabryce zabawek Margarete Steiff wschodnie skrzydło trzykondygnacyjnego budynku pokryto cał-

kowicie przeszkloną, podwójną fasadą kurtynową (fot. 27). W tym wypadku maksymalizacja naturalnego oświetlenia słonecznego stanowiła podstawowy priorytet, ale opracowując koncepcję elewacji projektant wziął też pod uwagę warunki klimatyczne regionu, tj. niskie temperatury zimowe i silne wiatry. Pustka między podwójnym szkleniem miała służyć jako bufor termalny. Gdy okazało się, że wnętrze budynku zbyt silnie się nagrzewa, problem rozwiązano w prosty sposób – w miesiącach letnich zewnętrzną warstwę szklanej fasady malowano jasną farbą wodną, jesienią zmywano ją za pomocą gąbek[80].



Fot. 27. Fabryka zabawek Margarete Steiff, Giengen (1903). Pierwszy przykład całkowicie przeszklonej, podwójnej fasady kurtynowej. Na żelbetowej podstawie umieszczono stalowy szkielet, na którym zawieszono dwie warstwy szkła oddzielone pustką. Od strony zewnętrznej fasada zawieszona jest na całą wysokość, od wewnątrz w przestrzeni międzystropowej.



Fot. 28. Fabryka Fagus, Alfeld an der Leine (arch. Walter Gropius, Adolf Meyer, 1910). Całkowite przeszklenie narożа uniezależniło strukturę powłoki od wewnętrznej konstrukcji.

W fabryce Fagus (fot. 28) zadaniem projektantów było stworzenie nowoczesnej, modernistycznej elewacji jako wyrazu postępowości firmy. Projektując słynną szklaną fasadę kurtynową, Walter Gropius i Adolf Meyer nie przejmowali się jednak najwyraźniej sprawami klimatu i komfortu, elewacja była tam bowiem jednowarstwowa[81].

W 1914 firma Austin Company z Cleveland zapoczątkowało zupełnie odmienną koncepcję - tzw. „ślepej fabryki" - bez okien, ze sztucznym oświetleniem i pełną klimatyzacją (oraz zaciemnieniem dla produkcji wojennej). Takie rozwiązanie umożliwiało z pewnością lepszą elastyczność i niezależność, ale także wywoływało niekorzystne efekty fizjologiczne u pracowników. W elewacjach wprowadzano więc wąskie pasy okien wzdłuż obwodu, które pełniły jednocześnie rolę wentylacyjną[82].

Od połowy XX wieku w kolejnej generacji lekkich, modularnych hal przemysłowych typu „skóra i kości" wykorzystywano najnowsze osiągnięcia technologii dla stworzenia zamkniętego, sztucznego środowiska niezależnego od klimatu i zewnętrznych warunków. Nowoczesne szkieletowe fasady z prefabrykowanymi panelami osłonowymi, dużymi taflami szkła i gumowymi uszczelkami skutecznie izolowały od natury. Mechaniczne systemy klimatyzacji miały zapewniać odpowiednie, komfortowe warunki mikroklimatu, nieotwierane okna umożliwiały jedynie wizualny kontakt z otoczeniem. Z biegiem lat klimatyzacja wywołała jednak silną krytykę. Wykazano, że koniecz-

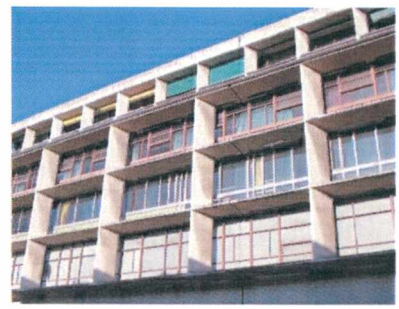
[80] HANNEGRET V., KULLMANN C., *Wer im Glashaus sitzt, hat gut den Knopf ins Ohr piken,* in: F.A.Z., 141/2005, s. 6.

[81] Wg Gropiusa: *„rola ściany została ograniczona do funkcji osłony rozciągniętej między pionowymi słupami ramy budynku i służącej do ochrony przed deszczem, zimnem i hałasem"*. GIEDION S., *Przestrzeń...*, s. 514.

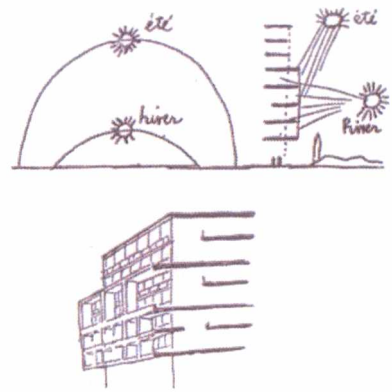
[82] BĄBIŃSKI C., *Projektowanie zakładów przemysłowych. Tendencje postępu,* WNT, Warszawa 1962, s. 175.

ne jest raczej polepszenie dotychczasowych parametrów technicznych elewacji niezależnie od tego, z jakich materiałów została wykonana. W miarę dalszych badań modyfikowano właściwości prefabrykowanych, wielowarstwowych paneli, okien, świetlików, bram, itd. Poprawiano ich jakość, optymalizowano parametry użytkowe takie jak izolacja cieplna, odporność na wilgoć, wiatr, korozję. Równolegle trwały poszukiwania nowych rozwiązań. W miejscu dużych przeszkleń od nadmiernego światła słonecznego chroniły od wewnątrz ruchome żaluzje, z czasem wprowadzano nowe materiały takie jak szkło antysolarne, odbijające promieniowanie podczerwone, wielowarstwowe.

Niektórzy poszukiwali indywidualnych rozwiązań. Bezpośrednio z postępu technik konstrukcyjnych pochodziły słynne normy Modulora - 5 elementów nowoczesnej architektury zdefiniowanych przez Le Corbusiera. Po raz pierwszy zastosował je wszystkie w latach 1948-51 w jedynym zaprojektowanym przez siebie budynku przemysłowym (fot. 29). Tzw. *zielona fabryka* Duval stała się polem doświadczalnym dla nowatorskich elementów takich jak m.in. *brise-soleils* (rys. 7). Ponieważ zbyt duża ilość zmiennego światła słonecznego nie była korzystna dla pracowników, Corbusier zastosował w elewacji innowacyjne rozwiązania techniczne w postaci podwójnego szklenia ze specjalnym, absorbującym żelem silikonowym zapobiegającym kondensacji pary wodnej. W południowej elewacji od nadmiernego oświetlenia chroniły *brise-soleils,* umieszczone w odległości 20 cm od fasady, aby budynek nabrał lekkości[83]. System horyzontalnych oraz wertykalnych elementów, z których te ostatnie wyprofilowano jak skrzydła samolotu, zapewniał wewnątrz budynku odpowiednie doświetlenie zimą i osłonę od słońca latem. Aby uniknąć monotonii w wyglądzie elewacji, do wielkich przeszkleń doszedł szkielet betonowych kolumn. Połączenie tych trzech różnych, całkiem niezależnych i nienakładających się na siebie elementów sam Corbusier uznał za subtelne i pełne niuansów niczym muzyka Debussy'ego[84]. Dziś *zielona fabryka* podziwiana jest jako klasyka nowoczesnej architektury XX w.



Fot. 29. Fabryka Duval, Saint-Dié-des-Vosges (arch. Le Corbusier, 1948-51). Nowatorska fasada jedynej fabryki Le Corbusiera. Przeszklenia w części administracyjnej na 4 piętrze zaprojektowano w innym rytmie niż na pozostałych kondygnacjach.



Rys. 7. Szkice *brise-soleils* Le Corbusiera.

Zmiana perspektywy nastąpiła dopiero w okresie kryzysu paliwowego lat 70. Przeprowadzone analizy i badania zależności pomiędzy architekturą a naturalnym ekosystemem wskazywały, że konstrukcja budynków i ich użytkowanie wywierają bezpośredni wpływ na ilość wydobywanych surowców i emisję zanieczyszczeń. Projektanci poszerzyli wówczas swoje zainteresowania i przystąpili do poszukiwania nowatorskich koncepcji budynków. Od tej pory miały one dodatkowe zadanie pozostawania w odpowiednich relacjach ze środowiskiem. Tym samym zewnętrzna powłoka budynku zaczęła stawać się ważnym czynnikiem w wysiłku ograniczenia zużycia energii[85].

[83] http://usine.duval.free.fr/ - *Saint-Dié-des-Vosges et Le Corbusier.*
[84] Ibid.
[85] SCHITTICH C. (ed.), *Building skins: concepts, layers, materials,* Edition Detail, München 2001, s. 30.

1.2.
ROZWÓJ ŚWIADOMOŚCI EKOLOGICZNEJ

W latach 70. XX wieku kryzys energetyczny uświadomił skalę niebezpieczeństwa, jaką niosła za sobą zależność od paliw kopalnych i ich wyczerpywalność. W konsekwencji tych wydarzeń rozpoczęto na dużą skalę badania stanu środowiska naturalnego[86]. Jednocześnie następował rozwój świadomości ekologicznej w społeczeństwie. Popularny wówczas okres „dzieci kwiatów" propagujący modę bliskości i kontaktu z naturą, aktywność ruchu anty-nuklearnego i różnych grup typu Greenpeace oraz pierwsze publikacje o tematyce środowiskowej sprawiły, że ruchy ekologiczne zaczęły być w modzie. Tematyka środowiskowa wzbudziła zainteresowanie o niespotykanej dotąd sile zarówno w mediach, jak i w kręgach akademickich, administracyjnych czy profesjonalnych[87]. Na przestrzeni lat, przechodząc powoli z poziomu lokalnego do globalnego, stawała się jedną z istotniejszych kwestii w rozważaniach nad perspektywą przyszłości, jaką zaoferowała światu cywilizacja przemysłowa.

Wśród pierwszych publikacji analizujących globalne problemy związane z rozwojem ekonomiczno-społecznym szeroki światowy oddźwięk znalazły Raporty Klubu Rzymskiego[88]. W "*Granicach wzrostu*" (1972) Donella i Dennis Meadows ostrzegali, iż coraz większe zapotrzebowanie na surowce i ich zużycie wraz z rosnącym zanieczyszczeniem doprowadzą do wyczerpania zasobów naturalnych i poważnych skażeń środowiska w następnych dziesięcioleciach. Przesłanie raportu było następujące: należy ograniczyć wzrost.

Uświadomienie skali zagrożeń pobudziło do aktywnych działań i pogłębiania świadomości społecznej w kwestii istniejących zagrożeń. W kolejnych dokumentach próbowano określać strategie działania i precyzować warunki nowych postanowień, podjęto badania nad alternatywnymi źródłami energii i poszukiwania nowych surowców. W tym samym czasie rozpoczynał się nowy rozdział w sektorze architektoniczno-budowlanym. Architekturę zaczęto postrzegać jako jedną z dróg do efektywnego wykorzystywania energii i ważną formę udziału w ochronie środowiska.

W 1987 w dokumencie zatytułowanym *„Społeczeństwo i środowisko"* podkreślono wpływ grupy związanej zawodowo z inwestycjami budowlanymi

[86] Pierwsze akcje UE rozpoczęły się w 1972 i dotyczyły problemów ekologicznych.

[87] Raport Sekretarza Generalnego ONZ U'Thanta z 1969 ukazał zły stan środowiska i zagrożenia związane z niepohamowanym rozwojem. Trzy lata później zorganizowano w Sztokholmie pierwszą międzynarodową konferencję poświęconą tematyce środowiska. Jej bezpośrednim efektem było powołanie Komisji Ochrony Środowiska ONZ. Przedstawiono wówczas prognozy zmian dla najbliższej dekady, po raz pierwszy pojawiło się pojęcie *ekorozwoju* (ecodevelopment). *Ekorozwój* zdefiniowano w 1975 podczas sesji United Nations Environmental Programm (UNEP) w Nairobi, jako rozwój gospodarczy nienaruszający w sposób istotny i nieodwracalny naturalnego środowiska.

[88] W roku 1968 grupa naukowców, przemysłowców i dziennikarzy założyła międzynarodową organizację o nazwie Klub Rzymski. Działając na rzecz rozwiązania globalnych problemów związanych z rozwojem opublikowali wiele raportów, choć część prognoz w nich zawartych okazała się zbyt pesymistyczna.

(architektów, inżynierów, producentów materiałów budowlanych, firm wykonawczych) na stan środowiska naturalnego, zwracając uwagę na konieczność synergii ich działań[89].

W tym samym roku Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju[90] opublikowała dokument pt. *„Nasza wspólna przyszłość"*, w którym zaproponowano program łączący cele ekonomiczne, społeczne i ekologiczne wyraźnie podkreślając potrzebę integracji wszystkich sfer działalności oraz ich skali od lokalnej po globalną. Raport nadał impuls dla szybkiego upowszechnienia się nowej idei - tzw. *zrównoważonego rozwoju*[91] będącego próbą znalezienia *„niemal nieuchwytnej równowagi pomiędzy ochroną środowiska, postępem gospodarczym a rozwojem społecznym"*[92].

W 1990 Unia Europejska przedstawiła w *Zielonej Księdze*[93] problemy środowiska zurbanizowanego identyfikując kierunki działań dla poprawy jego jakości. W dokumencie zwrócono uwagę m.in. na kwestie związane ze strefami przemysłowymi - ich atrakcyjność, „czystość" i harmonię z miejskim krajobrazem. Podkreślono też związki pomiędzy konsumpcją energii w budynkach a zanieczyszczeniem miasta. W tym zakresie zaproponowano zmiany zmierzające do zwiększenia efektywności energetycznej budynków i ograniczenia ich wpływu na środowisko.

Z końcem XX wieku nastąpił radykalny wzrost zrozumienia współczesnych zagrożeń[94]. Większa wrażliwość na problemy wynikające z niekorzystnego wpływu działalności człowieka na środowisko zaowocowała szeregiem działań podjętych przez osoby prywatne, instytucje i rządy poszczególnych krajów. Jedną z podstawowych zasad stała się dewiza: *„myśl globalnie, działaj lokalnie"*. Silniej zaakcentowano parametry środowiskowego projektowania, tj. promowanie eko-budynków, odpowiedni system zarządzania energią, ochronę środowiska przez odpowiednią gospodarkę energetyczną i wykorzy-

---

[89] RYŃSKA E. D., *Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004, s. 7; RYŃSKA E. D., *Bioklimatyka a forma architektoniczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001, s. 5.

[90] Tzw. Komisja Brundtland powołana w 1983 roku przez premier Norwegii Gro Harlem Brundtland.

[91] Rozwój *zrównoważony* zdefiniowano jako: *„rozwój, który spełnia współczesne oczekiwania i uwzględnia potrzeby przyszłych pokoleń a także, którego wartościowe efekty równoważą wynikającą z ludzkich działań eksploatację środowiska"*. RYŃSKA E. D., *Architekt...*, s. 21. Koncepcja *zrównoważonego rozwoju*, która stała się jedną z najbardziej rozpowszechnionych tendencji końca XX wieku, nastręcza wiele problemów – dotyczy to zarówno definiowania jak i interpretacji. Dla angielskiego pojęcia *„sustainable"* trudno znaleźć polski odpowiednik. W literaturze pojawiły się terminy: *ekorozwój, rozwój zrównoważony, trwały, wspomagany*, każdy z nich jest jednak różnie interpretowany przez poszczególnych autorów. Wg definicji Instytutu na rzecz Ekorozwoju (wprowadzonej do Ustawy o Ochronie i Kształtowaniu Środowiska w roku 1997) termin *ekorozwój* jest równoznaczny z *rozwojem zrównoważonym*. W ustawodawstwie dominuje rozwój zrównoważony w randze konstytucyjnej - Konstytucja RP w art. 5 zapewnia ochronę środowiska kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju. Dokładna analiza problemu m.in. w: BARANOWSKI A., *Projektowanie zrównoważone w architekturze*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1998; DOBRZAŃSKI G., *Ekologiczne uwarunkowania lokalizacji inwestycji przemysłowych*, Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.

[92] *Zielony kontynent. Unia Europejska i środowisko*, Wspólnoty Europejskie 2002, s. 4.

[93] EUROPEAN COMMISSION, *Green Paper on the Urban Environment*, COM (90) 218 final, Brussels 1990.

[94] Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej coraz głębiej zastanawiano się m.in. nad faktem wyczerpywania i eksploatowania surowców. Na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro (1992) opracowano plan odnowy zasobów naturalnych, poruszono także kwestię redukcji zanieczyszczeń (szczególnie gazów cieplarnianych) oraz poprawy jakości życia. Sformułowano m.in. projekt o nazwie Agenda 21 - zbiór zaleceń i wytycznych dla działań, jakie należy podjąć w XXI wieku, aby połączyć harmonijnie rozwój gospodarczy z poszanowaniem środowiska. http://www.mos.gov.pl/rio10/1_1.html.

PROBLEMY ŚRODOWISKOWE W POSZCZEGÓLNYCH DEKADACH XX W. - PRIORYTETY:
70. - Zaopatrzenie w energię
80. - Globalne ocieplenie, koncepcja rozwoju zrównoważonego
90. – Zdrowie, dziura ozonowa, koncepcja projektowania zrównoważonego, koncepcja budownictwa zrównoważonego

stanie odnawialnych źródeł energii. W 2000 r. Komisja Europejska przedstawiła *Zieloną Księgę* pt. *„W kierunku ukształtowania europejskiej strategii bezpieczeństwa dostaw energii"*[95] rozpoczynając debatę na temat bezpieczeństwa zaopatrzenia w energię[96].

Rosnąca świadomość globalnych zagrożeń spowodowała rozwój aktywności proekologicznych, w tym działania legislacyjne, jednak mimo przyjęcia od tego czasu licznych aktów prawnych, do tej pory nie udało się uniknąć ani zatrzymać degradacji środowiska. Działania zakrojone na szeroką skalę, europejską i międzynarodową, stają się coraz bardziej potrzebne.

1.3.
EWOLUCJA TENDENCJI ŚRODOWISKOWYCH W ARCHITEKTURZE

„Gdyby natura była komfortowa, ludzkość nigdy nie wymyśliłaby architektury"
(Oscar Wilde)

Projektant wizjoner Buckminster Fuller już w latach 20. XX wieku twierdził, że w przyszłości wszystko będzie energooszczędne. Jednak dopiero dekada 1970-80 zainicjowała konkretne programy promujące wdrażanie energooszczędnych rozwiązań[97]. Gdy zauważono, że sektor budownictwa pokrywa 30-50 % narodowej konsumpcji energii i produkcji CO_2, zastosowano pierwsze reglamentacje dotyczące izolacji termicznej, w celu limitowania konsumpcji i strat energetycznych w budynkach. Od tej pory, dzięki coraz lepszym izolacjom ścian, okien i dachów progresywnie zmniejszano energię termiczną, wprowadzano standardy dla niskoenergetycznych budynków i normy określające maksymalny wskaźnik zużycia energii. W ramach programu zainicjowanego przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA)[98] wybudowano modelowe budynki energooszczędne. Choć tylko najbogatsze państwa tj. Niemcy, Wielka Brytania czy Kanada mogły sobie pozwolić na takie eksperymenty, nawet dla nich przedsięwzięcia okazały się zbyt kosztowne[99]. Pierwsze budynki energooszczędne posiadały dodatkowo inną wadę – pod-

[95] EUROPEAN COMMISSION, *Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply*, COM (2000) 769 final, Luxemburg 2001.
[96] W 2005 opublikowano kolejny ważny dokument pt. *„Zielona Księga w sprawie efektywności energetycznej, czyli osiągając więcej zużywając mniej"*. EUROPEAN COMMISSION, *Doing More With Less. Green Paper on Energy Efficiency*, COM (2005) 265 final, Luxemburg 2005.
[97] W Wielkiej Brytanii w latach 70. utworzono organizację rządową *Building Research Establishment (BRE)* zajmującą się wdrażaniem zasad projektowania i realizacji niskoenergetycznych budowli użyteczności publicznej. Dokładne badania i analizy podjęto w latach 90.
[98] International Energy Agency (IEA).
[99] W Europie idea budownictwa proekologicznego najszybciej i najbardziej rozwinęła się w Niemczech jako rezultat nagłośnienia kwestii ochrony środowiska w niemieckim parlamencie przez Partię Zielonych. W latach 80. opracowano liczne ustawy dotyczące środowiska, kontroli odpadów, ekonomii, energii czy izolacji budynków. STROBEL R., *Energies en question. Architectures vertes en Allemagne,* in: Techniques & Architecture 434/1997, s. 56. W USA ze względu na mniejsze wymogi prawa, presje ekonomii wolnego rynku i niskie ceny energii konstrukcje energooszczędne nie rozwijały się tak szybko jak w Europie. SLIWINSKI S., *Eine Chronologie der Solararchitektur in den USA,* in: DETAIL 6/2005, s. 600.

porządkowane prymatowi oszczędności zaoferowały użytkownikom zbyt niski komfort, a nawet okazały się być dla nich wyjątkowo niezdrowe[100]. Na bazie krytyki domów energooszczędnych powstała idea tworzenia tzw. budynków zdrowych, IEA zaczęła propagować budowanie z materiałów niskoprzetworzonych.

W erze komputeryzacji i automatyzacji lat 80. wprowadzono do architektury zmiany w materiałach budowlanych oraz w standardzie środowiska pracy. Wraz z szerokim wachlarzem propozycji specjalistycznych technik odpowiednich dla danego klimatu i lokalizacji niezależnie od pory roku, pojawiła się koncepcja tzw. *budynków inteligentnych*[101]. Wzbudziła ona duże zainteresowanie wśród architektów[102] i ożywioną dyskusję na temat odpowiedniej terminologii[103]. W praktyce, tego rodzaju budynki charakteryzowały się wysokim poziomem automatyzacji uzyskiwanym przez zintegrowanie rozmaitych systemów, które mierząc, kontrolując i odpowiadając na zmiany, pozwoliły na efektywniejsze wykorzystanie energii.

Coraz więcej projektantów zaczęło interpretować budownictwo proekologiczne jako proces globalnej koncepcji, w której od momentu pierwszych szkiców wpływa się na formę, lokalizację, wybór materiałów i sposób użytkowania budynku. Rosło zapotrzebowanie na szeroko pojmowaną ekologię, więc inwestorzy próbowali na różne sposoby dostosowywać swoje budynki do aktualnych wymagań.

Poszukiwania architektów zaowocowały rozwojem systemów architektury solarnej, która proponowała pokrycie potrzeb energetycznych (głównie ogrzewania) pasywnymi lub aktywnymi systemami wykorzystującymi jako źródło energii promieniowanie słoneczne. Zdano sobie jednak szybko sprawę z tego, że reforma ekologiczna architektury poprzez zwykłe polepszenie energii termicznej nie jest wystarczająca – lepszy byłby bilans energetyczny całości oparty na kompleksowej interakcji bardzo różnorodnych komponentów, funkcjonujący tak samo, jak w żyjącym organizmie.

---

[100] Tzw. syndrom *sick building*, czyli chorego budynku, spowodowany był głównie oszczędnościami w wymianie powietrza wewnątrz budynków. W przypadku obiektów industrialnych problem ten może być szczególnie istotny, ponieważ zanieczyszczenie wewnątrz bywa często większe niż na zewnątrz.

[101] Koncepcję budynków inteligentnych wprowadzono w USA w latach 80. Artykuły pojawiły się w Engineering Digest, Fortune, Forbes, Business Week, itd. Wg definicji podanej przez Intelligent Building Institution *„budynek inteligentny integruje różnorodne systemy w celu efektywnego zarządzania zasobami w sposób skoordynowany tak, aby maksymalizować odpowiednio taktykę wykonawstwa, oszczędność kosztów i inwestycji oraz flexybilność"*. Wg International Council for Building Research Studies and Documentation jest to dynamiczna i reagująca architektura dostarczająca użytkownikowi produktywne, efektywne kosztowo i odpowiednie warunki, poprzez ciągłą interakcję 4 podstawowych elementów takich jak: miejsce (struktura, usługi, konstrukcja), procesy (automatyzacja, kontrola, systemy), ludzie (użytkownik, administracja), zarządzanie (utrzymanie, wykonanie). Li-Chen F., Teng-Jei S., *Holonic Supervisory Control and Data Acquisition Kernel for 21 st Century Intelligent Building System*, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco 2000.

[102] Zmiana priorytetów w sposobie projektowania budynków uwidoczniła się szczególnie w obiektach biurowych, gdzie z biegiem lat rozpowszechniły się tzw. *inteligentne fasady*.

[103] Inteligencja – termin kojarzony z możliwościami poznawczymi, zręcznościowymi, doświadczalnymi istoty żyjącej (dalej z mózgiem), został wprowadzony w świat fizycznej przestrzeni i konstrukcji budynku. W tym wypadku idee inteligencji można zastąpić synonimami takimi jak: komfort, elastyczność, bezpieczeństwo, ekonomia, kontrola. Systemy *inteligentne* są sumą wielu czynników o równym znaczeniu – architektury, komputeryzacji, automatyzacji, zarządzania. ALFONSO V., *Edificios Inteligentes. Construyendo un edificio para hoy y para el mañana*, http://agamenon.uniandes.edu.co/~revista/articulos/edificio.html.

Koncepcję architektury solarnej, która rozwijała się przede wszystkim w krajach wysoko uprzemysłowionych, poszerzono do tzw. architektury bioklimatycznej. Jej celem stała się dalsza optymalizacja relacji człowiek - klimat poprzez formę architektoniczną.

Połączenie parametrów postępu technicznego i zasad bioklimatycznych rozszerzyło dotychczasowe propozycje, stwarzając podstawy dla kształtowania głośnej w latach 90. koncepcji budownictwa *zrównoważonego (ang. sustainable)*, zakładającej m.in. redukcję oddziaływania na środowisko poprzez odpowiednie zastosowanie materiałów użytych w budowie i eksploatacji budynku, przy zachowaniu wszelkich walorów komfortu.

W dobie eskalacji cen energii, wzrostu zanieczyszczenia, degradacji środowiska i wyczerpywania się zasobów, zwrócenie uwagi projektantów na środowiskowy wpływ ich pracy znacznie się zwiększył. Pod wspólnym mianem architektury *ekologicznej, zrównoważonej, zielonej*, na przełomie XX/XXI wieku należało już projektować budynki przyjazne zarówno dla otoczenia, jak i użytkownika, respektujące środowisko i energooszczędne, biorąc przy tym pod uwagę cały cykl ich życia[104]. W środowisku zainteresowanych pojawiły się liczne pytania i dylematy – nie tylko jak projektować, ale przede wszystkim, w jaki sposób określić jasno, co w architekturze jest tak naprawdę *zrównoważone*[105], *ekologiczne*[106] czy też *zielone*[107]?

Szczególny problem istnieje w związku z pojęciem modnej w ostatnim czasie architektury *zrównoważonej (ang. sustainable architecture)*. Nikt nie wie, jaka jest jej dokładna definicja, ale z czysto marketingowych pobudek, coraz więcej budynków promuje się właśnie w ten sposób[108].

Gdy w latach 1970-80 pierwsze projekty eko-budynków wzbudzały zainteresowanie, w najlepszym wypadku uznawano je po prostu za interesujące eksperymenty środowiska ekologiczno-alternatywnego. Ekologia wciąż miała wówczas jeszcze „posmak" hippisowski, przekazujący wizję lepszego,

---

[104] Cykl obejmuje wszystkie fazy związane z istnieniem budynku – od pierwszych koncepcji projektowych, po realizację, użytkowanie, rozbiórkę i zagospodarowanie elementów składowych. Patrz. rozdz. I/3.

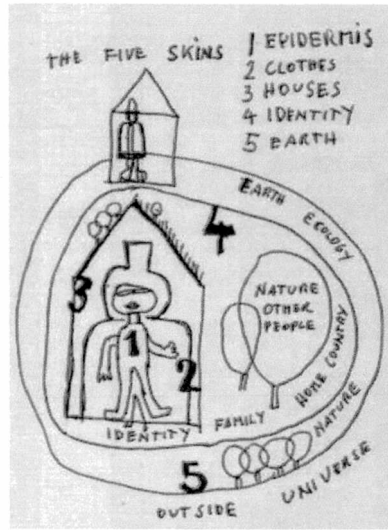
[105] Problemem jest nie tylko zdefiniowanie pojęcia *zrównoważony*, ale też precyzyjne ustalenie zasad *projektowania zrównoważonego*. Profesor Raymond Cole, jeden z największych autorytetów tematu i współtwórca jednej z metod oceny budownictwa *zrównoważonego* uważa, że nie da się dokładnie określić stopnia oddziaływania na środowisko. Nie można więc matematycznie porównać wpływu budynków na środowisko w zupełnie różnych krajach czy strefach klimatycznych. W ostatnich latach pojawił się szereg różnych narzędzi rozwiniętych dla środowiskowej oceny budynków, np. GBTool, BEES, BREEAM, jednak opracowanie jednolitej, wspólnej metody okazuje się wciąż niemożliwe.

[106] Wg Ryńskiej większość współczesnych realizacji należy uznać za *ekologiczne*, co oznacza ograniczenie oddziaływania na środowisko naturalne poprzez redukcję zużycia energii i zastosowanie proekologicznych technologii. Cel stworzenia najbardziej kompleksowej architektury *zrównoważonej* nie został jeszcze osiągnięty. RYŃSKA E. D., *Architekt...*, s. 22-23.

[107] Wg ASHRAE koncepcja projektowania zielonego w odniesieniu do budynków związana jest z respektowaniem natury i naturalnego porządku rzeczy. Dla wysokiej efektywności zielonego budynku przez cały cykl życia istotna jest minimalizacja jego wpływów na ekosystem, oraz redukcja zużycia nieodnawialnych surowców, energii, wody, terenu, materiałów, szkodliwych dla środowiska emisji (w szczególności gazów cieplarnianych) i wszelkiego typu odpadów. W praktyce największą wagę przykłada się jednak wciąż do tego, by budynek wyglądał na *zielony*. ZMEUREANU R., *Sustainable buildings: dream or reality?* http://perso.univ-lr.fr/fcherqui/IBPSAmars2006/11_RZmeureanu.pdf.

[108] Analizy problemu dokonano m.in. w: RYŃSKA E. D., *Architekt...*; STEELE J., *Ecological Architecture. A Critical History*, Thames & Hudson, London 2005; ZMEUREANU R., *Sustainable...*

trochę utopijnego świata obfitego w zieleń[109]. Wyraźnie istniał znaczący rozdźwięk pomiędzy tym, czego oczekiwała część społeczeństwa, a tym, co aktualnie robiono w kwestii szeroko rozumianej ochrony środowiska. Działalność z tym związana była jeszcze nieopłacalna, wzbudzała nieufność. Z końcem XX wieku ze stadium zwykłej ideologii, świadomość ekologiczna przekształciła się w ważny czynnik ekonomiczny. W dobie rosnącej konkurencyjności postawa pro-środowiskowa stała się dla licznych przedsiębiorstw sposobem na reklamę, przekaźnikiem informacji i wizerunku. Wydaje się, że sposób ten okazał się skuteczny zarówno dla mniejszych firm, jak i wielkich koncernów, siedzib socjalnych czy administracyjnych, gdzie ekologia[110] postrzegana jako synonim nowoczesności tworzy obraz instytucji wzbudzającej sympatię i zaufanie. Rosnące zaangażowanie w konferencje czy targi i wystawy dotyczące budownictwa ekologicznego (zrównoważonego, zielonego) świadczą też o tym, że nie jest to już tylko moda, ale wielki biznes i dochodowy przemysł. Niezależnie od motywacji projektantów eko-architektura z pewnością skierowana jest na zmianę obowiązującej dotychczas skali wartości społeczeństwa industrialnego.



Rys. 8. Pięć skór współczesnego człowieka, do których dochodzi się kolejno wraz z rozwojem świadomości (Hundertwasser).
1 - skóra biologiczna,
2 – ubranie,
3 – dom,
4 - tożsamość społeczna,
5 - natura, ekologia.

1.4.
ŚRODOWISKO – STAN AKTUALNY I PROGNOZY

„Eksplozja demograficzna wraz ze wzrostem zagrożeń jakie stwarza dla środowiska, gwarantuje tragedię na skalę nieprzewidywalną a co najważniejsze - niewybaczalną" (Klaus Daniels)

1.4.1.
KLIMAT I ZANIECZYSZCZENIE

Fakt, iż zanieczyszczenie środowiska wywiera zły wpływ na zdrowie i życie ludzi, jest oczywisty i dobrze udokumentowany. Produkcja oraz konsumpcja energii na bazie paliw kopalnych tj. węgla, gazu ziemnego czy ropy, powodują zbyt duże emisje dwutlenku węgla do atmosfery[111]. Wraz z innymi niebezpiecznymi zanieczyszczeniami, jakie generuje współczesny człowiek[112], nieustannie przyspieszany jest proces zmian klimatycznych. Zwiększona emisja szkodliwych substancji wpływa m.in. na efekt cieplarniany[113]. Walka

[109] STROBEL R., *Energies...*
[110] *Ekologia (z gr. oikos – dom, logos – nauka*) to nauka o wzajemnych zależnościach pomiędzy organizmami a otaczającym je środowiskiem. W języku potocznym, określenia takie jak: *ekologia, ekologiczna* są często używane w różnym, nieprecyzyjnym znaczeniu, np. w odniesieniu do działań mających na celu ochronę środowiska. KALINOWSKA A., *Ekologia – wybór przyszłości*, Editions Spotkania, Warszawa 1992.
[111] Większość emisji CO_2 powstało w wyniku spalania paliw kopalnych, pozostałe wskutek masowej wycinki drzew. Wg danych U.S. Departament of Energy średnio na świecie każdej doby emitowane jest 16 mln ton CO_2, z czego ponad 20% stanowią emisje generowane w USA. http://www.eere.energy.gov/.
[112] SO_2, N_2O, NO_x, CH_4, O_3, itp.
[113] Głównym źródłem emisji gazów cieplarnianych jest spalanie paliw podczas produkcji energii, procesów produkcyjnych w fabrykach i w transporcie.

Działalność stanowiąca zagrożenie dla środowiska:

- Spalanie paliw kopalnych
- Przemysł
- Transport
- Energochłonność urządzeń (np. klimatyzacja)
- Niekorzystna gospodarka terenowa (np. wylesianie)
- Nieefektywne wykorzystanie zasobów
- Inne

przeciw niemu stała się szczególnie istotna w ostatnich latach, gdyż jest to autentyczne zagrożenie dla klimatu naszej planety.

Przy pomocy zaawansowanej technologii naukowcy z całego świata usiłują określić stan rzeczywisty i oszacować prognozy na przyszłość[114]. Co poważnie niepokoi, zmiany klimatyczne następują o wiele szybciej niż początkowo przewidywano, a wiele potencjalnych efektów jest dziś jeszcze nieznanych. Wg prognoz dla XXI wieku wskutek ludzkiej działalności negatywne zjawiska, takie jak wzrost temperatury[115] będą miały nadal miejsce i jest prawie pewne, że niektóre z nich będą się nasilać. Liczne katastrofy ekologiczne wydają się więc nie do uniknięcia[116].

PROGNOZY NA OKRES 1990-2100
▪ Wzrost średniej temperatury globalnej o 1,4-5,8 °C (90% pewności)
▪ Wzrost poziomu morza o 0,09-0,88 m
▪ Wzrost ekstremalnych zjawisk pogodowych typu El Niño, cyklony
▪ Gwałtowniejsze opady, kwaśne deszcze
▪ Zmniejszenie powierzchni lodowców

Tab. 1. Prognozy związane ze zmianami klimatu w wyniku globalnego ocieplenia. Na podst. III Raportu IPCC (2001).

W 1997 roku podczas międzynarodowej konferencji w Kyoto uznano konieczność ograniczenia efektu cieplarnianego. Globalnie wypuszczanych jest do atmosfery około 60 mln ton CO_2 rocznie, z czego 80% pochodzi z wykorzystania ropy, węgla i gazu. Ponieważ szkodliwe emisje powstające wskutek dalszego spalania paliw kopalnych będą zwiększały koncentrację gazów cieplarnianych w atmosferze[117], konieczne jest ich zredukowanie. Protokół z Kyoto, najbardziej ambitny traktat ochrony środowiska na świecie, wszedł w życie po 8 latach – w lutym 2005 roku. Wymaga on zmniejszenia szkodliwych emisji gazów cieplarnianych[118] w latach 2008-2012 o 5,2 % w stosunku do roku 1990. Aby osiągnąć ten cel emisje CO_2 (który ma największy udział) musiałyby spaść do około 1% rocznie, co wydaje się póki co wciąż nierealne, bowiem jak dotąd, wręcz przeciwnie, rosną[119].

[114] W 2001 w raporcie IPCC opublikowanym przez grupę ekspertów prowadzących badania nad ewolucją klimatu podano, iż w XX wieku średnia globalna temperatura powierzchni wzrosła o 0,6° C. W efekcie zmian temperatury średni, globalny poziom morza wzrósł w tym okresie o 0,1-0,2 m, pokrywa śnieżna zmalała natomiast aż o 10% w stosunku do lat 60. (XX wieku). http://www.ipcc.ch.

[115] Wg naukowców dla uniknięcia niebezpiecznych zmian klimatycznych związanych z globalnym ociepleniem, wzrost temperatury nie może przekroczyć 2°C ponad poziom z okresu preindustrialnego. Prognozy wskazują jednak na 50% prawdopodobieństwo dalszego wzrostu temperatury powierzchni relatywnie do wzrostu emisji CO_2. James Hansen twierdzi, iż zmiany mające na celu zatrzymanie globalnego ocieplenia muszą nastąpić w ciągu 10 lat. http://www.architecture2030.org/current_situation/science.html.

[116] Ze zmianami klimatu związane są m.in. huragany, intensywne opady, pożary, zanikanie raf koralowych. Zbyt duży wzrost temperatury może spowodować katastrofalne w skutkach podniesienie poziomu morza, wyginięcie wielu gatunków roślin, zwierząt, itd.

[117] Od czasów preindustrialnych nastąpił znaczny wzrost koncentracji gazów cieplarnianych wskutek emisji generowanych przez ludzką działalność. http://www.ipcc.ch.

[118] Wg najnowszych danych IPCC z roku 2007 emisje gazów cieplarnianych objęte Protokołem Kyoto wzrosły o 70% w latach 1970-2004 (24% w okresie 1990-2004). Ibid.

[119] Największy udział w emisjach gazów cieplarnianych ma CO_2 generowany głównie w procesach energetycznych, przemysłowych, transporcie. Wg OECD/IEA (2006) emisje CO_2 w krajach członkowskich wzrosły w ostatniej dekadzie o 20% i będą rosnąć w najbliższych 25 latach. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Perspectives des technologies de l'énergie. Scénarios et stratégies à l'horizon 2050*, OECD/IEA, Paris 2006.

1.4.2.
PROBLEM ENERGII I ZASOBÓW

„Nie ma kryzysu energii, jest tylko zwyczajny kryzys ignorancji" (Buckminster Fuller)

Wg Einsteina, w świecie wszystko w jakiejś formie jest energią. Chociaż może wydawać się, że korzystamy obecnie z relatywnej obfitości zarówno energii, jak i zasobów naturalnych prognozy na przyszłość są niepokojące. Rozwój gospodarczy spowodował, że w ostatnich 40 latach zużyto więcej ziemskich zasobów niż przez cały dotychczasowy okres w historii ludzkości[120]. Surowce naturalne, których zużycie zaspokaja obecnie w połowie nasze potrzeby kończą się, podczas gdy konsumpcja energii wzrasta o 1-2 % rocznie. Aby zrównoważyć obecne wykorzystywanie nieodnawialnych zasobów potrzebowalibyśmy około 10 planet. Ziemia jest tylko jedna, jeśli zatem taki trend utrzyma się, badania potwierdzają, iż źródło wielu paliw kopalnych może się wkrótce wyczerpać.

Globalnie energia generowana jest głównie w wyniku spalania paliw kopalnych. Rosnące zapotrzebowanie i konsumpcja energii[121] wiążą się więc ze wzrostem niebezpiecznych emisji[122], takich jak gazy cieplarniane[123].

Problemy wywołane degradacją środowiska i wyczerpywaniem się zasobów energetycznych stały się stymulatorem intensywnych poszukiwań alternatywnych rozwiązań takich jak odnawialne źródła energii (OZE)[124]. Możliwości drzemiące w dynamicznych siłach natury uznano za szczególnie obiecujące, stanowią więc one jeden z najistotniejszych elementów ekorozwoju. W globalnym miksie energetycznym OZE mają obecnie ponad 13% udział[125], a nowe założenia stawiają za cel ich wzrost do 20% w roku 2020[126].

Pojęcie „odnawialne" odnosi się do źródeł energii, których zasoby dzięki naturalnym cyklom stale odnawiają się przy jednoczesnym zużyciu, a więc są w zasadzie niewyczerpywalne. Podczas gdy tradycyjne surowce kopalne emitują w trakcie spalania wiele zanieczyszczeń, OZE wydzielają ich wyjątkowo mało, jeżeli w ogóle. Jest to więc energia czysta i wszechobecna[127]. Dzięki tym właściwościom jej udział w bilansie energetycznym przyczynia się do zwiększania efektywności i oszczędnego wykorzystania zaso-

„Wzrost zużycia energii przyczynia się bezpośrednio do degradacji środowiska naturalnego i zmiany klimatu. Przedmiotem największej troski UE w zakresie środowiska jest jakość powietrza. Sytuacja poprawi się do roku 2020 przede wszystkim dzięki wdrożeniu aktualnych norm emisji zanieczyszczeń, ale do radykalnej poprawy jakości powietrza przyczynić mogłaby się również racjonalizacja zużycia energii wskutek ograniczenia spalania paliw kopalnych".

„Przy obecnej dynamice wzrostu zużycia energii, począwszy od roku 2012 dadzą się odczuć silne napięcia pomiędzy strukturą naszego zapotrzebowania na energię – opartego w 80% na paliwach kopalnych – a dążeniem do trwałego zrównoważenia ekologicznego".

(Zielona Księga w sprawie racjonalizacji zużycia energii – Komisja Europejska)

---

[120] STOREY J. B., BAIRD G., *Sustainable cities need sustainable buildings*, Proceedings of the CIB World Building Congress 2001, Wellington 2001.

[121] Wg danych OECD/IEA oraz IPCC w następnych latach wskutek industrializacji zapotrzebowanie i konsumpcja energii generowanej z paliw kopalnych będą wzrastać. http://www.ipcc.ch, http://www. iea.org.

[122] Globalne skażenie produktami spalania paliw kopalnych, tj. pyłami, tlenkiem siarki, węgla, azotu itd., stanowi większe zagrożenie dla środowiska, niż perspektywa wyczerpania się zasobów tychże paliw. LEWANDOWSKI W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006, s. 26.

[123] Wg IV Raportu IPCC (2007) z powodu wzrostu konsumpcji energii z paliw kopalnych totalne emisje gazów cieplarnianych do 2030 mogą wzrosnąć nawet o 25-90% w stosunku do roku 2000. http://www.ipcc.ch.

[124] Patrz aneks 1.

[125] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Renewables in global energy supply. An IEA Fact Sheet*, OECD/IEA, Paris 2007.

[126] W Unii Europejskiej 12% do 2010, http://www.epia.org.

[127] Proekologiczność OZE wynika z faktu ich nierozerwalnego powiązania z naturalnymi procesami przyrodniczymi wywołanymi aktywnością Słońca, Ziemi i Księżyca. LEWANDOWSKI W. M., *Proekologiczne...*, s. 67.

bów tradycyjnych surowców energetycznych przy jednoczesnej poprawie stanu środowiska naturalnego.

W historii wykorzystania energii przez człowieka, zrównoważone źródła energetyczne były jedyną możliwością, aż do czasów ekspansji industrializacji. W obliczu aktualnych problemów świat powinien powrócić do tych źródeł, tym bardziej, że do dyspozycji ma już cały szereg rozwijających się technologii. Na obecnym etapie ich rozwoju nie są one jeszcze w stanie całkowicie zastąpić konwencjonalnych metod generowania energii. Kwestią pozostaje znalezienie odpowiednich, najbardziej optymalnych rozwiązań[128]. Powszechnie uważa się, że w bliskiej przyszłości szczególną rolę odegra **energia słoneczna**. Cytując Fullera: *„mamy całe mnóstwo energii, jeśli tylko zechcemy. Nie ma niedoboru energii. Jest tylko brak świadomości tego, co możliwe"*.

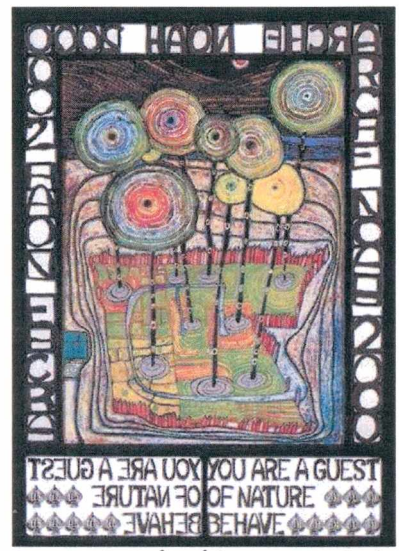
[128] Ibid. s. 18.

2.
FABRYKI PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA

„Działania na rzecz ochrony środowiska mogą być skuteczne tylko wtedy, gdy uzyskają wsparcie sektora przemysłowego".
(Komisja Europejska)

Kwestia wpływu ludzkiej działalności na środowisko stanowi wielowymiarowy problem. W przypadku sektora industrialnego, niekorzystnych elementów stanowiących zagrożenie dla naturalnego ekosystemu i zdrowia ludzi jest wyjątkowo dużo. Kompleksowość zagadnienia i konieczność powiązania szeregu procesów (m.in. produkcyjnych, politycznych, ekonomicznych, socjalnych, ekologicznych) jeszcze bardziej komplikuje sprawę.

Czy rozwój przemysłowy może być w ogóle kompatybilny z równowagą środowiska? Publikacje z lat 1960-80 w większości przekonywały, że jego wzrost prowadzi do rychłej katastrofy. Pojawiły się wówczas liczne postulaty anty-technologiczne i anty-wzrostowe, które miały stanowić odpowiedź na problemy[129]. Przez dłuższy czas większość przedsiębiorstw przyjmowała pasywną postawę i reagowała powoli i mało skutecznie, głównie pod naciskiem opinii publicznej lub nowo obowiązujących nakazów prawa. Minimalne wysiłki mające na celu przestrzeganie tylko tego, co konieczne na zasadzie *end of pipe-line*[130], powodowały niejednokrotnie nieprzewidziane koszty dodatkowe, a przede wszystkim były na dłuższą metę nieefektywne.



Rys. 9. *„Jesteś gościem natury. Zachowuj się"* - plakat dla Greenpeace (Hundertwasser).

W XXI wieku mamy do czynienia coraz częściej z pro-aktywną postawą[131]. „Zielone" przedsiębiorstwa (zarówno koncerny jak i małe firmy) akceptują imperatyw ochrony środowiska i poważnie podchodzą do zagadnienia przeprojektowując produkty i całe procesy w celu eliminacji problemów „u korzenia". Choć wiele z nich rozumie już konieczność wprowadzenia nowych standardów uwzględniających parametry środowiskowe, promuje recykling, zwiększa energooszczędność, minimalizuje generowanie odpadów, obecnie nie wystarczy już ograniczenie negatywnych skutków na miejscu. Dziś niezbędne jest kompleksowe, holistyczne działanie.

Problem polega na tym, że stworzyliśmy sztuczny system w już istniejącym, naturalnym. Przemysł nadal się rozrasta, natura nie. Sztuczny przepływ surowców, energii, procesów jest zdecydowanie większy i szybszy niż

[129] W architekturze objawiło się to m.in. kierunkiem *low-tech* będącym opozycją w stosunku do propagującego zaawansowane technologie *high-tech*. Zwolennicy *low-tech* uważali technologię za główną przyczynę problemów, propagowali powrót do natury, naturalne materiały budowlane, itp. W architekturze przemysłowej nie znalazło to szerszego zastosowania.

[130] U końca linii produkcyjnej – czyli ograniczenie ilości odpadów na końcu procesu produkcyjnego, rozproszenie szkodliwych emisji poprzez budowę wysokich kominów, itd. Do niedawna był to najbardziej powszechny proces „ochrony środowiska" w działalności przemysłowej.

[131] Obok zwiększonej świadomości ludzkiej, regulacje prawne i inne instrumenty polityki odgrywają coraz większą rolę. Dla niektórych postępowych, czy bogatszych firm polityka środowiskowa to tylko powtórzenie tego, co robią, ale dla innych regulacje prawne mogą być jedynym sposobem na zmianę priorytetów.

Problemy ekologiczne spowodowane działalnością przemysłową:
- Zanieczyszczenie powietrza
- Zanieczyszczenie wody
- Zanieczyszczenie gleby
- Niedobór naturalnych zasobów
- Globalne ocieplenie
- Kwaśne deszcze
- Dziura ozonowa
- Toksyczne odpady
- Zmniejszenie bioróżnorodności
- Wypadki przemysłowe
- Inne

naturalny. W środowisku pojawił się szereg nieprzewidzianych początkowo skutków, jak chociażby dziura ozonowa czy efekt cieplarniany. Mimo rozwoju wiedzy i nauki do końca nadal nie wiemy, jak natura będzie reagować na dalszą ludzką działalność.

Problemy wynikają m.in. z liniowego charakteru przepływu materii i energii, które są pobierane z natury, przetwarzane i wyrzucane z powrotem (tracone) w innej postaci[132]. Naturalny ekosystem działa inaczej - ewoluował wyżej do systemu cyklicznego, w którym wszystko nieustannie krąży i podlega transformacji zasilane odnawialną energią słoneczną. Wprowadzenie takiego modelu do współczesnej działalności wydaje się zdecydowanie korzystniejsze. **Zmiana myślenia wymaga zatem wdrożenia nowych mechanizmów zdolnych przekształcić tradycyjny linearny system rozwoju produktów i procesów w zamknięty system cykliczny (pętlowy). Holistyczne podejście obejmuje w tym wypadku zarówno kwestie związane z samą działalnością sektora industrialnego, jak i budynki, w których owa działalność jest prowadzona.**

2.1.
EKOLOGIA PRZEMYSŁOWA

„Natura jest zawsze mądrzejsza od ludzkich pomysłów" (Antoni Kempiński)

Cechy naturalnego ekosystemu, które mogą być wzorem dla systemów przemysłowych:
- Odpady nie są zbędne - wykorzystywane są do innych celów, kolejnych procesów;
- Toksyny nie są składowane - ulegają syntetyzacji;
- Materiały i energia nieskończenie krążą i ulegają transformacji zasilane energią solarną;
- Naturalny system jest dynamiczny i zidentyfikowany (elementy i procesy są zakodowane);
- Poszczególne elementy funkcjonują zarówno indywidualnie jak i współdziałając z innymi.

Jedną z odpowiedzi na środowiskowe problemy wynikające bezpośrednio z aktywności industrialnej jest koncepcja tzw. *ekologii przemysłowej*[133], wg której cechy naturalnego ekosystemu stanowią paradygmat dla nowoczesnych systemów przemysłowych[134]. Ekologia przemysłowa obejmuje różne, powiązane ze sobą obszary naukowo-badawcze oraz praktyczne. Podstawowe elementy strategii pozwalające lepiej zrozumieć i zidentyfikować powiązania przemysłu ze środowiskiem w celu zredukowania negatywnych elementów[135] to m.in.:

- Tworzenie ekosystemów przemysłowych – projektowanie na podobieństwo naturalnych ekosystemów ma na celu zmianę systemu liniowego na cykliczny (pętlowy). Elementami strategii jest np. odzysk materiałów i recykling, maksymalne wykorzystanie materiałów po re-

[132] Większość procesów produkcji polega na wydobywaniu surowców i paliw kopalnych, następnie przetwarzaniu materiałów i energii, i wreszcie składowaniu odpadów z powrotem do środowiska.
[133] Ekologia przemysłowa bada fizyczne, chemiczne i biologiczne interakcje oraz wzajemne powiązania zarówno wewnątrz jak i pomiędzy systemami przemysłowymi a ekologią. GARNER A., KEOLEIAN G. A., *Industrial Ecology: An Introduction*, National Pollution Prevention Center for Higher Education, University of Michigan, 1995, s. 2.
[134] Frosh i Gallopoulos rozwinęli w 1989 koncepcję ekosystemów przemysłowych (ang. *industrial ecosystems*), z której powstał termin ekologia przemysłowa (ang. *industrial ecology*). Ibid. s. 3.
[135] TIBBS H., *Industrial Ecology. An Environmental Agenda for Industry*, Global Business Network, Emeryville, 1993.

cyklingu do nowych procesów, optymalizacja zużycia energii i surowców, minimalizacja generowania odpadów i użycie do innych celów.

- Planowanie, projektowanie, ocena cyklu życia procesów, produktów.
- Zwiększenie metabolizmu procesu przemysłowego (przepływu materii i energii) - przeprojektowanie procesów w celu zwiększenia ich efektywności.
- Zrównoważenie, zbilansowanie wkładu i wydajności względem naturalnych możliwości ekosystemu - identyfikacja kierunków, w których przemysł może bezpiecznie stykać się z naturą (lokalizacja, intensywność, monitoring w czasie realnym itp.) pozwala uniknąć wielu negatywnych konsekwencji. Wykorzystuje się tu m.in. elementy teorii chaosu i dane NASA.
- Dekarbonizacja oraz dematerializacja wytworów przemysłu – minimalizacja materiałów i energii.
- Rozwój i wsparcie dla nowych technologii przyjaznych środowisku (tzw. *eco-design*) w tym m.in. energii odnawialnych - stworzenie systemu energii funkcjonującego jako integralna część industrialnego ekosystemu.
- Przyjęcie nowej, długoterminowej polityki rozwoju integrującej ekonomię, gospodarkę, środowisko, itd. – np. realizacja eko-parków przemysłowych (tzw. *symbioza przemysłowa*[136]).

Coraz więcej naukowców i organizacji (np. AT&T Bell Laboratories, General Motors) promuje koncepcję ekologii przemysłowej, przedsiębiorstwa wprowadzają jej założenia w praktyce[137]. Jednym z modelowych przykładów powiązania ekologii przemysłowej z eko-rewitalizacją urbanistyczną jest Phillips-Eco-Entrerprise Center w Minnesocie. Uznawane za jedno z najbardziej ekonomicznych i efektywnych w zakresie zarządzania źródłami energii ekocentrum zlokalizowano na obszarze borykającym się z problemami środowiska[138]. Dzięki m.in. reutylizacji materiałów oraz wykorzystaniu energii solarnej, wiatrowej i systemów geotermicznych zdecydowanie zredukowano marnotrawstwo surowców i energii. Wprowadzony w życie system powiązanych ze sobą strategii ekologicznych oraz stała, ścisła współpraca 15 firm przemysłowych i handlowych przyczyniły się do dużego sukcesu założenia[139].

---

[136] http://www.is4ie.org/history.html.

[137] Ekologia przemysłowa stosowana to zintegrowany program techniczny i zarządzanie. Oferuje narzędzia analizy powiązań środowiska z przemysłem, zapewnia bazę informacji dla określenia odpowiednich strategii, opcji i decyzji.

[138] Problemy te spowodowane są głównie odpadami (w ~40% budowlanymi). http://www.apreis.org.

[139] Sukces tej realizacji jest dowodem na to, że odpady mogą być kopalnią materiałów, które można ponownie wykorzystać, a przez to polepszyć jakość środowiska i stworzyć nowe miejsca pracy. Zamiast zmechanizowanej rozbiórki demontaż pozwolił na ponowne wykorzystanie elementów konstrukcyjnych - 60% materiałów sprzedaje się na miejscu, 30 % do sklepów, a 10% zakopuje w sposób „ekologicznie odpowiedzialny". W sumie powstałe budynki w 79% wybudowano ze zrecyklingowanych materiałów. W tzw. *„zielonym instytucie"* zastosowano z odzysku m.in.: 22 000 cegieł, 189 belek stalowych (oszczędność 50 ton nowej stali i energii do jej wyprodukowania). Elementy wyposażenia wykonano z drewna Sekwoi odzyskanego z rozbiórki domków jednorodzinnych. Budynek zużywa 55 % energii, którą zużywałby inny normalny obiekt. Ibid.

Proekologiczna aktywność, tzw. c*orporate environmentalism*, znajduje we współczesnym świecie coraz szerszy oddźwięk. Wiele przedsiębiorstw wspiera i aktywnie promuje różne inicjatywy pro-ekologiczne, włącza się do działania i współpracy w skali ogólnoświatowej. Dla niektórych firm jest to wręcz jedyna szansa przeżycia, dla innych rodzaj eksperymentu, reklama lub kwestia moralna. Niejedna korporacja dostrzegła też możliwość zwiększenia zysków dzięki inwestycjom w ochronę środowiska. Jak się okazało, ekologia może być kompatybilna z dobrym biznesem[140].

Czy fabryki rzeczywiście będą przyjazne dla natury? Czas pokaże, w każdym razie próby powiązania ochrony środowiska z dalszym rozwojem przemysłowym zgodnie z postulatami ekorozwoju zostały podjęte. Powstaje wiele ciekawych pomysłów i prac, choć przepaść między sferą naukową a przemysłową cały czas istnieje, brakuje synergii i transferu technologii między potencjalnymi innowacjami, a ich wykorzystaniem. Z pewnością jednak należy podkreślić istotny fakt – jest to zmiana podejścia: **od zdobywania natury, do chęci współpracy z nią.**

2.2.
EKO-ARCHITEKTURA

„Architektura to dążenie człowieka inspirowane przez naturę, która go otacza"
(Paulo Mendes da Rocha)

W sektorze przemysłowym zaistniała konieczność przeobrażenia dotychczasowych koncepcji i zaakceptowania nowych - już nie tylko produkty i procesy muszą być przyjazne dla środowiska, ale także i budynki. W nowoczesnych strategiach podkreślających konieczność holistycznego spojrzenia na problem i interakcji działań, rozwój proekologicznych tendencji w architekturze stał się jednym z istotniejszych elementów. James Wines w *„Green Architecture"* stwierdza, że w porównaniu do zagrożeń, jakie niesie za sobą degradacja środowiska, wszystkie pozostałe tracą na znaczeniu[141]. Wyzwanie dla projektantów i innowacyjnych przedsiębiorstw jest więc bardzo duże, ale jak budować fabryki w harmonii z naturą? Odpowiedzi na to pytanie szuka wielu zainteresowanych tematem.

W przeciwieństwie do lat 1970-80 dziś *ekologia* w architekturze wzbudza już spore zaufanie. W ciągu dwóch dekad sprawdzono w praktyce rozmaite rozwiązania i technologie, przeprowadzono analizy, opracowano wiele danych. Doszły do tego czynniki charakterystyczne dla naszych czasów, tj.

[140] Dowodem na to, jest m.in. rozwijający się na wielką skalę przemysł ochrony środowiska w postaci oczyszczalni ścieków, spalarni śmieci, stacji uzdatniania wody, itp.
[141] WINES J., *Green Architecture*, Taschen, Köln 2000, s. 11.

chęć zysku, a więc względy ekonomiczne oraz moda, czyli względy reklamowe. W dobie ogromnej konkurencyjności pozytywny wizerunek zakładu przemysłowego[142] to jego najlepsza wizytówka, a przypisanie mu miana *zielonego* działa silnie na korzyść firmy. Ludzie mają też coraz większe wymagania w stosunku do jakości miejsca pracy i świadomość potrzeby kontaktu z naturą. Nie chcą pracować w nieestetycznych, zagrażających zdrowiu czy życiu fabrykach. Wszystko to razem spowodowało, że **tendencje proekologiczne w architekturze industrialnej są coraz silniej akcentowane**.

2.2.1.
ODDZIAŁYWANIE BUDYNKÓW

Przeprowadzone dotychczas analizy wskazują, że budynki wywierają pośredni i bezpośredni wpływ na środowisko naturalne. Liczne badania potwierdziły także powiązania między środowiskiem zabudowanym a zdrowiem człowieka. Oddziaływanie przybiera różną skalę, siłę i charakter[143]. Obok socjalnych i ekonomicznych korzyści, liczne są także skutki negatywne. Co ważne, zagadnienie to nie dotyczy wyłącznie okresu eksploatacyjnego, ale całego cyklu istnienia zarówno budynku, jak i wszelkich komponentów w nim użytych[144].

Sektor budowlano-konstrukcyjny przyczynia się do największego zużycia naturalnych zasobów (eksploatacja terenów i wydobycie surowców). Konsumpcja energii, generacja odpadów stałych i ciekłych, szkodliwych emisji, transport materiałów, użycie substancji toksycznych, to kolejne negatywne wpływy środowiskowe. W skali globalnej poziom oddziaływania jest tak duży, że jego zdecydowane ograniczenie jest niezbędne, a w działaniach na rzecz ekorozwoju wręcz kluczowe.

- Budynki przyczyniają się do 30 % emisji gazów cieplarnianych. (OECD 2003)
- Zużycie energii w budynkach w krajach OECD pokrywa 25-40% całkowitej globalnej konsumpcji rocznej, w Europie zużycie sięga 40-45%. (UNEP 2007, IEA 2005)
- W cyklu życia budynku zużywa się 40% rocznego wydobycia surowców nieodnawialnych i 50 % rocznego zapotrzebowania na wodę.
- Produkty uboczne przemysłu budowlanego mają 50% udział w emisji szkodliwych związków chemicznych do atmosfery.

[142] Dotyczy to zarówno wizerunku przedsiębiorstwa (*ang. corporate image*) jak i dosłownego, fizycznego obrazu budynku należącego do firmy.
[143] Np. generacja nietoksycznych odpadów na niewielką skalę będzie miała bardziej lokalny charakter, z kolei emisje gazów cieplarnianych wskutek zużycia energii przyczynią się do globalnych zmian klimatu.
[144] W poszczególnych fazach związanych z konstrukcją, użytkowaniem i rozbiórką budynku zużywane są surowce naturalne, przetworzone materiały i energia (*input*). Na każdym etapie powstają odpady, emisje, straty (*output*).

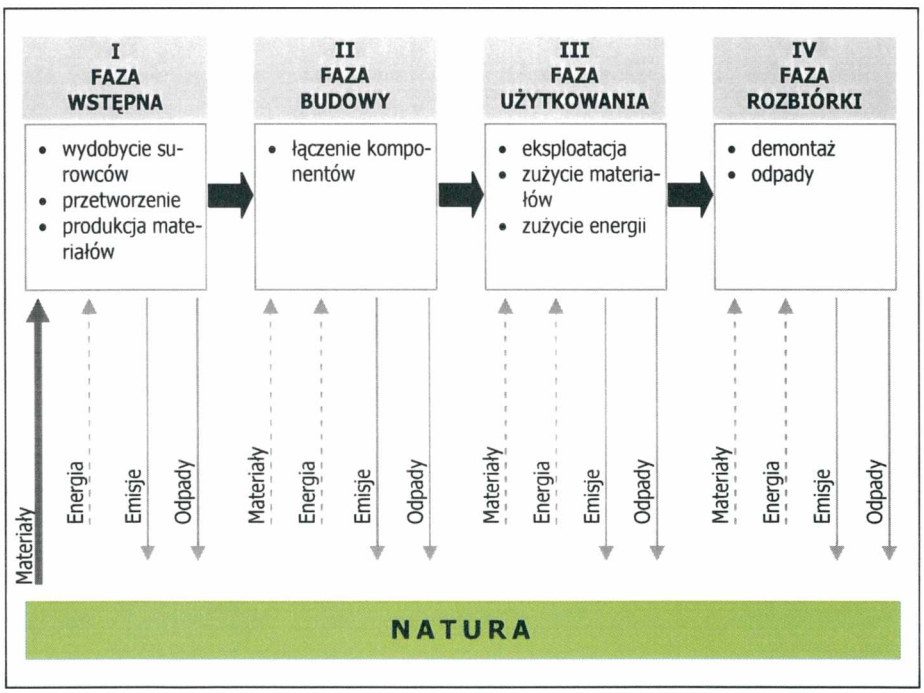
2.2.2.
CYKL ŻYCIA BUDYNKU

Analiza cyklu życia budynku pozwala oszacować skalę i rodzaj jego oddziaływań na otoczenie[145]. Obszary zainteresowania obejmują kwestie związane z:

- eksploatacją naturalnych zasobów (surowców, ziemi),
- emisjami gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń,
- generacją odpadów (stałych i ciekłych),
- materiałami budowlanymi (ich użyciem i recyklingiem),
- konsumpcją wody i energii.

Określenie wpływu każdego z procesów i komponentów oraz zaprojektowanie ich tak, aby współdziałały harmonijnie ze sobą, z cyklami natury i sztucznym środowiskiem wewnętrznym, nie jest łatwym zadaniem. Zagadnienie jest kompleksowe, a strategie uzależnione od wielu czynników. Podjęte działania muszą być dopasowane do warunków klimatycznych, ekonomicznych, socjalnych, funkcjonalnych itd., jasne jest więc, iż nie ma uniwersalnych rozwiązań.

Analogicznie do linearności tradycyjnych systemów produkcji, typowe budownictwo przemysłowe ma równie liniowy charakter. W obu przypadkach jest to jedno z podstawowych źródeł problemu, dlatego generalnie dąży się na różne sposoby do przekształcenia systemu w cykliczny.



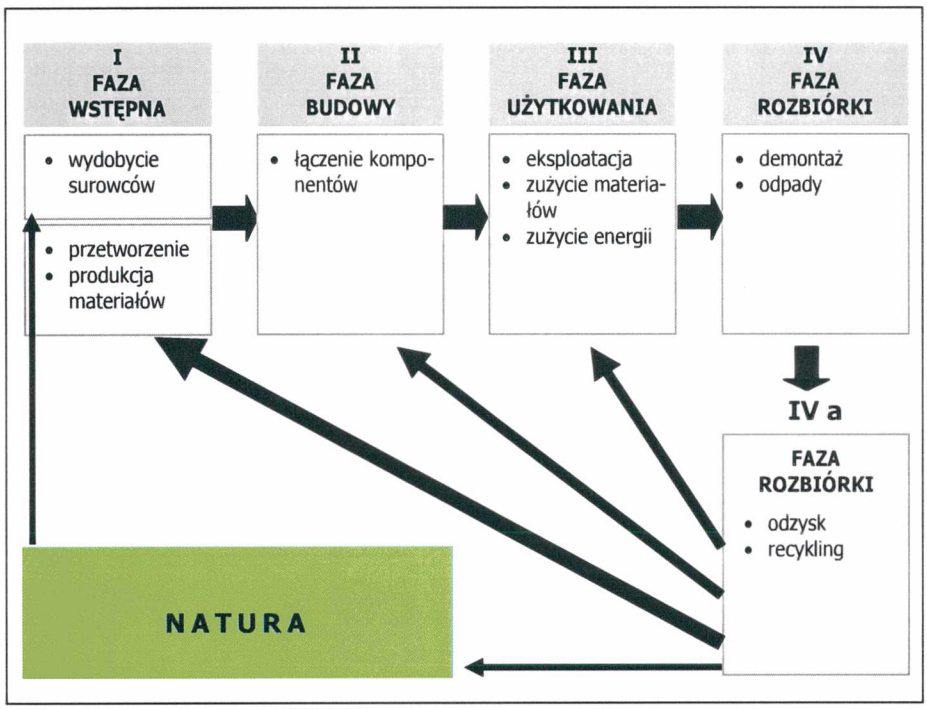
Rys. 10. Schemat cyklu życia budynku – system linearny.

W konwencjonalnym, liniowym (rys. 10) cyklu życia budynku poszczególne etapy, tj. projektowanie, konstrukcja, użytkowanie, rozbiórka, nie uwzględniają negatywnych wpływów na otoczenie. Takie systemy opierają się na nieodnawialnych zasobach (energii, surowców). Zużywają je w gwał-

[145] Rozumiane w tym wypadku jako oddziaływanie zarówno na środowisko naturalne jak i człowieka.

townym tempie i dużych ilościach, generując zanieczyszczenia, szkodliwe emisje i odpady. Znaczna część przetwarzanych surowców i energii jest przy tym tracona, odpady pozostają niewykorzystane i obciążają środowisko.

Zmiana podejścia wymaga reorientacji myślenia o budynku (jego komponentach i procesach) – nie jako o sztucznym, wyizolowanym systemie funkcjonującym wewnątrz naturalnego ekosystemu, ale ukształtowanego na jego podobieństwo. Przejście do systemu cyklicznego (rys. 11) pozwala, aby budynek nie funkcjonował przeciwko naturze, ale równolegle z nią, na zasadzie interakcji i współzależności[146].



Rys. 11. Schemat cyklu życia budynku - system cykliczny.

2.2.3.
GŁÓWNE ASPEKTY ARCHITEKTURY PROEKOLOGICZNEJ

Mówić o architekturze *proekologicznej*, to mówić w pewnym sensie o budynku jak o żywym organizmie, interaktywnym i współistniejącym z innymi w zdeterminowanym ekosystemie. Budynek potrzebuje materiałów, wody, energii i zazwyczaj zużywa ich zdecydowanie więcej, niż jest to potrzebne. Skonsumowaną energię i zasoby eliminuje w postaci ścieków, zużytego powietrza, odpadów. Emituje ciepło, promieniowanie, hałas oraz zanieczyszczenia.

Jego przyjazność wobec natury powinna polegać na optymalnym wykorzystaniu zasobów i minimalizacji obciążeń środowiska. Nowoczesne fabryki muszą być też przyjazne człowiekowi. W ten sposób są nie tylko odpowiedzią na określoną funkcję i estetykę, ale tworzą miejsce pracy komforto-

[146] Podłożem do zrozumienia tej koncepcji jest uświadomienie sobie, że układy biologiczne funkcjonują w sieci powiązań miedzy sobą i otaczającym środowiskiem. Pomiędzy poszczególnymi elementami istnieje stała wymiana materii i energii, a prawidłowe funkcjonowanie zarówno całości jak i poszczególnych składowych jest możliwe tylko w stanie zachowania wzajemnej, dynamicznej równowagi.

we dla zdrowia fizycznego i psychicznego użytkowników. Budynek wolny od elementów szkodliwych, estetyczny i elastyczny, umożliwiający adaptację wg potrzeb jest dynamiczny niczym zdrowy, żywy organizm[147].

EKO-EFEKTYWNOŚĆ - CZYLI „WIĘCEJ ZA MNIEJ"

Budynek należy interpretować jako kompleksowy system przepływu energii i materii. Ponieważ na każdym etapie cyklu życia konsumowane są duże ilości zasobów (w postaci surowców naturalnych oraz przetworzonych, energii, wody), ich efektywniejsze wykorzystanie przyczynia się do zmniejszenia obciążeń środowiska naturalnego. Jednocześnie powinno wpłynąć na optymalizację warunków środowiska sztucznego (komfort wewnątrz budynku) oraz redukcję kosztów.

Efektywność dotyczy m.in. ograniczenia zużycia naturalnych surowców wykorzystywanych w produkcji materiałów budowlanych oraz w procesach generacji energii[148]. W sektorze budowlanym będącym jednym z największych eksploatatorów środowiska, trzeba podjąć działania zmierzające do zachowania równowagi pomiędzy stopniem odnawialności zasobów naturalnych a ich zużyciem. Cechą systemów cyklicznych, do których należy dążyć, jest możliwość ponownego wykorzystania produktów. Stąd ważnym elementem projektowania o charakterze proekologicznym staje się użycie materiałów budowlanych wielokrotnego użytku oraz możliwość recyklingu odpadów. Pozwala to jednocześnie na:

- Ochronę zasobów naturalnych (zastosowanie surowców wtórnych zmniejsza zastosowanie surowców pierwotnych);
- Ochronę środowiska naturalnego (wydobywanie surowców i ich przetwarzanie jest związane z obciążeniem i niszczeniem środowiska, dlatego ochrona zasobów naturalnych jest jednocześnie ochroną środowiska);
- Oszczędność energii (surowce wtórne są nośnikami energii - po przeróbce odpadów odzyskiwana jest energia użyta do wytworzenia materiałów począwszy od wydobycia surowców i składników).

Proces konstrukcji i użytkowania budynków przyczynia się do wykorzystania prawie 50 % całkowitego zapotrzebowania na energię. Dla działalności industrialnej energia w różnej postaci jest niezbędna niczym krew dla

[147] Z końcem lat 90. XX w. Edward Mazria sformułował teorię nowego typu odpowiedzialnej środowiskowo architektury jako systemu tworzonego na podobieństwo organizmów żywych. Wg architekta większość współczesnych budynków można przyrównać do maszyn. Dla ich działalności niezbędna jest energia, którą importują, przekształcają, a następnie trwonią pozostałości. Funkcjonując bez interakcji z otoczeniem tworzą wyizolowane, sztuczne środowisko. Mazria proponuje architekturę naśladującą naturę. Żywe organizmy funkcjonują zupełnie inaczej – ciągły przepływ i wymiana materii oraz energii pomiędzy nimi a środowiskiem utrzymuje je przy życiu. W procesach metabolizmu przetwarzają substancje, są dynamiczne, adaptują się do zmian. Podstawą ich jakości jest zdolność do adaptacji i samoutrzymania w nieustannie zmieniających się warunkach środowiska. STEELE J., *Ecological...*, s. 159; http://www.mazria.com.

[148] Dotyczy to głównie zasobów nieodnawialnych tj. paliw kopalnych. Redukcja ich zużycia to jednocześnie mniejsze emisje do atmosfery, mniej zanieczyszczeń i odpadów. Do tego dochodzi kwestia dewastacji środowiska wskutek ludzkiej działalności.

organizmu – jej zużycie na potrzeby produkcji sięga w krajach rozwiniętych ~30 % rocznej konsumpcji. Skoro energia jest kluczowym składnikiem działalności ekonomicznej, a sektor budowlany tak znacząco eksploatuje zarówno energię, jak i surowce, łącząc oba fakty można śmiało stwierdzić, że redukcja i racjonalizacja zużycia energii w budownictwie industrialnym może mieć szczególną wartość.

Efektywność energetyczna obejmuje różne etapy cyklu życia budynku. Przede wszystkim istotne jest ograniczenie ilości energii wbudowanej (*ang. embodied energy)* oraz operacyjnej (*ang. operating energy*).

Energia wbudowana dotyczy procesów związanych z wytworzeniem produktu, czyli budynku i jego komponentów (od wydobycia surowców naturalnych, przez transport, przetworzenie aż do konstrukcji, konserwacji materiałów, modernizacji, naprawy). Ograniczenie jej ilości wiąże się zatem z odpowiednim wyborem materiałów budowlanych oraz metod konstrukcyjnych. Projektowane obiekty i ich komponenty powinny być trwałe i adaptacyjne.

W fazie użytkowania w budynkach zużywane są bardzo duże ilości energii (energia operacyjna) do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, oświetlenia, zasilania urządzeń, maszyn, itd. Zdecydowanie najwięcej, bo co najmniej 2/3 całkowitej konsumpcji energii na potrzeby działalności budynku pokrywa zazwyczaj elektryczność[149]. Do jej generowania wykorzystuje się nadal ogromne ilości paliw kopalnych tj. węgiel, gaz ziemny czy ropę naftową. Proces ich spalania wywiera negatywny wpływ na stan środowiska naturalnego, a wskutek destrukcyjnej eksploatacji nieodnawialne surowce mogą się wyczerpać. W efekcie działań polityczno-ekonomicznych rosną też ceny i zależność od obcych rynków zaopatrzeniowych. Działania na rzecz zwiększenia efektywności energii polegają w tym wypadku na minimalizacji zużycia energii w ogóle oraz wprowadzeniu czystych metod jej produkcji, np. poprzez wykorzystanie technologii alternatywnych (OZE).

W czasach, gdy światowa konsumpcja energii wzrasta o kilka procent rocznie i według wszelkich prognoz tendencja wzrostowa będzie się utrzymywać, poprawa efektywności energetycznej i racjonalizacja zużycia energii na poziomie użytkownika należą do priorytetowych potrzeb. Realizacja tego leży w rękach zarówno naukowców, inżynierów czy wynalazców, jak i projektantów oraz użytkowników budynków[150].

ŚRODOWISKO I KOMFORT

Dla minimalizacji negatywnych oddziaływań na środowisko jedną z zasadniczych kwestii jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (tj. CO_2),

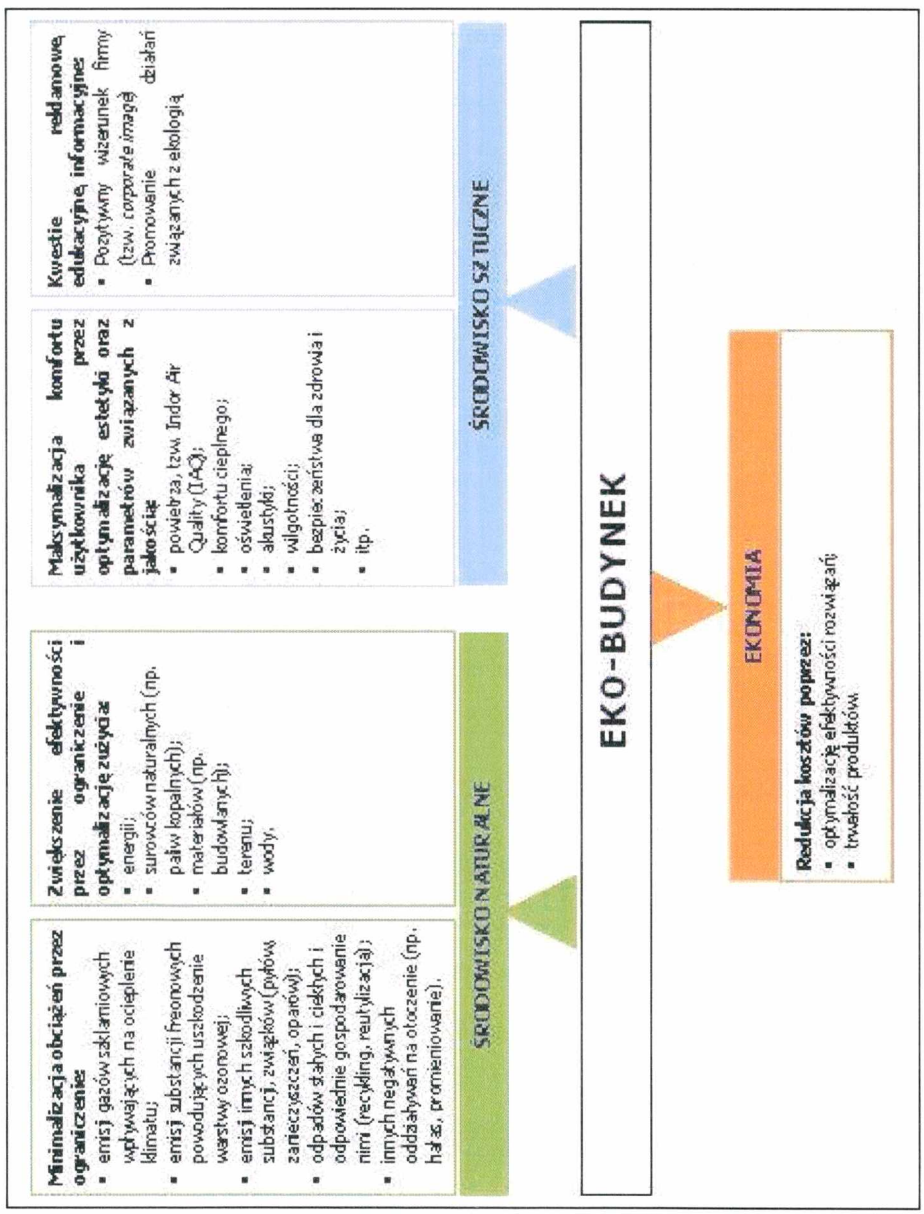
[149] Od lat 70. XX w. zużycie elektryczności w sektorze produkcyjnym rośnie najbardziej ze wszystkich - o 3% rocznie. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Oil, Crises & Climate Challenges. 30 years of energy use in IEA countries,* OECD/IEA, Paris 2004.

[150] Zwiększeniu efektywnego zużycia energii służyć ma m.in. uchwalona Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Przestrzeganie jej przepisów ma doprowadzić do oszczędności 40 Mtoe do 2020 r.

które przyczyniają się do zmian klimatu. W latach 1970-90 bezpośrednie emisje gazów cieplarnianych z budynków wzrosły o 26%[151], co wynika przede wszystkim z bardzo wysokiego udziału sektora budowlanego w konsumpcji energii elektrycznej[152]. Szkodliwe emisje można ograniczyć poprzez: zmniejszenie konsumpcji energii (dotyczy także energii wbudowanej), przejście na czyste technologie (tj. OZE) oraz kontrolę emisji.

Reasumując, główne elementy architektury proekologicznej to:

- **Efektywność zasobów** (surowców, materiałów, energii, procesów)[153];
- **Przyjazność wobec środowiska naturalnego** (minimalizacja negatywnych wpływów, m.in. ochrona zasobów, klimatu);
- **Przyjazność wobec użytkownika** (optymalizacja komfortu).



Rys. 12. Główne aspekty budownictwa o charakterze proekologicznym.

[151] http://www.ipcc.ch.

[152] Energia elektryczna generowana jest głównie w wyniku spalania nieodnawialnych paliw kopalnych.

[153] Autorzy raportu pt. *„Mnożnik cztery"* dowodzą, iż już dziś istnieją rozwiązania oraz technologie umożliwiające czterokrotnie większą efektywność gospodarowania zasobami niż dzieje się to przy wykorzystaniu tradycyjnych metod. Wśród przykładów przedstawiają innowacje w architekturze i budownictwie. WEIZSÄCKER E. U. VON, LOVINS A. B., LOVINS L. H., *Mnożnik...*

2.2.4.
STAN RZECZYWISTY

Architekci coraz częściej kierują się w stronę eko-designu, poszukują nowoczesnych materiałów i rozwiązań. Z jakim skutkiem? Póki co, większość budynków osiągających dobry poziom wydajności energetycznej to wciąż tylko *„pseudo-eko".* Dobre wyniki osiągane są wciąż mniej lub bardziej bezpośrednio za pomocą produktów bazujących na spalaniu paliw kopalnych, które wydzielają szkodliwe emisje, nie ulegają biodegradacji i zanieczyszczają atmosferę. Duża część nowoczesnych materiałów budowlanych stosowanych w architekturze przemysłowej (np. prefabrykaty) bazuje na klejach i innych materiałach syntetycznych, które są toksyczne i nierozkładalne. Jednocześnie, skupiając się na budowaniu nowych obiektów często zapomina się poświęcić więcej uwagi budynkom już istniejącym, które należałoby poddać renowacji lub rekonwersji.

Niektórzy przekonują, że każda, nawet najmniejsza działalność na rzecz środowiska ma wielkie znaczenie, np. zgodnie z teorią chaosu. Sceptycy zarzucają z kolei uległość wobec panującej aktualnie mody na wszystko, co *ekologiczne*, zwracają też uwagę na nadużywanie przez projektantów określeń takich jak *zrównoważony* czy *zielony* wobec budynków, materiałów, technologii i różnych proponowanych przez nich rozwiązań. Obecnie z czysto marketingowych pobudek promuje się je właśnie ten sposób. Wg słów Ralpha Erskine'a „(...) *dziś nasza profesja jako całość nie jest w czołówce walki o ekologiczny model życia. Część architektów robi po prostu modną architekturę, zaspakajającą komercyjne zachcianki. Intelektualnie zdajemy sobie sprawę, że niszczymy tę planetę, lecz nie reagujemy stosownie do tego*"[154].

Czy musimy zatem zużywać tak dużo energii i materiałów i czy jest w ogóle możliwy dalszy rozwój budownictwa i przemysłu bez negatywnego wpływu na otoczenie? Kilka dekad temu Pier Luigi Nervi twierdził optymistycznie, że *„można naprawdę wyobrazić sobie cywilizację jutra obsługiwaną i kierowaną przez technologię, która nie będzie wyłącznie środkiem pozyskiwania bogactw przez pojedynczych lub wybranych ludzi, lub, co gorsze nieludzką, pragnącą wojny destrukcyjną siłą, lecz będzie oznaczała inteligentne wykorzystanie energii i zasobów fizycznego świata, a przede wszystkim będzie przyczyną i konsekwencją coraz większego zbliżenia człowieka do boskiej mądrości tworzenia".*

Niezależnie od rodzaju i skutków podejmowanych prób, powszechnie uważa się, że konstrukcje ekologiczne nie powinny być dostępne tylko dla inwestorów motywowanych działaniem prestiżowym i modelowym, ale wprowadzane do codziennego życia jako norma.

[154] BARANOWSKI A., *Projektowanie...*, s. 28.

II.
NOWE TENDENCJE W KSZTAŁTOWANIU ELEWACJI BUDYNKÓW PRZEMYSŁOWYCH

1.
ZMIANA ROLI I CHARAKTERU ELEWACJI

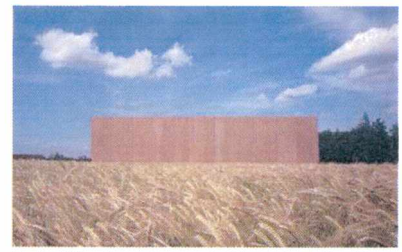
W nowoczesnych strategiach projektowania zewnętrzne przegrody budynków, a ściślej elewacje/fasady odgrywają szczególną rolę. Także w obiektach przemysłowych, w wielu przypadkach kwestia ich ukształtowania sięga już dalej niż problem powiązania pragmatyzmu z użytecznością, ekonomią, a nawet i pięknem. Najnowsze tendencje kierują się w stronę coraz bardziej kompleksowych rozwiązań – elewacja staje się złożonym systemem funkcjonującym w sieci rozmaitych powiązań. Holistyczne podejście obejmuje m.in. kwestie związane z oddziaływaniem (człowieka, budynku, działalności) na środowisko, zarządzaniem i organizacją miejsca pracy, marketingiem, itd. Poparte nowoczesną techniką i technologią nowe koncepcje funkcjonalno-użytkowe i proekologiczne mają też swoje implikacje przestrzenno-estetyczne.

1.1.
FORMA I STRUKTURA

„To, co inżynier postrzega jako konstrukcję, architekt widzi jako rzeźbę. W rzeczywistości, jest to jednym i drugim" (Ove Arup)

Charakter zewnętrznych przegród w budynkach przemysłowych nieustannie ewoluuje. Proste, pionowe ściany wykonane z modularnych elementów są wciąż najbardziej powszechne, co wiąże się bezpośrednio z niegasnącą popularnością tzw. „pudełek" (fot. 30). Obok nich pojawiają się też bardziej wyszukane rozwiązania. Przegrody poddawane licznym transformacjom i eksperymentom niejednokrotnie osiągają w rezultacie zaskakujące kształty, daleko odbiegające od konwencjonalnych. Dziś w przemyśle już niekoniecznie *„forma podąża za funkcją"* – coraz częściej forma podąża za fantazją i nowoczesne budynki wyglądają wówczas niczym dzieła sztuki. Liczne realizacje udowodniły w praktyce, że architekturę industrialną można kształtować całkowicie odmiennie od przyjętych konwencji bez straty tak istotnej w jej wypadku funkcjonalności. Również i wcale nie wbrew prawom fizyki, choć tak by się mogło wydawać patrząc na niejedną realizację sprawiającą wrażenie katastrofy budowlanej (fot. 31).

Tradycyjny podział na cztery elewacje i dach (zwany też piątą elewacją) już nie zawsze jest możliwy. Rosnące uniezależnienie zewnętrznego po-



Fot. 30. Braut- und Abendmode Baudisch, Gunskirchen (arch. Andreas Heidl, 2002).

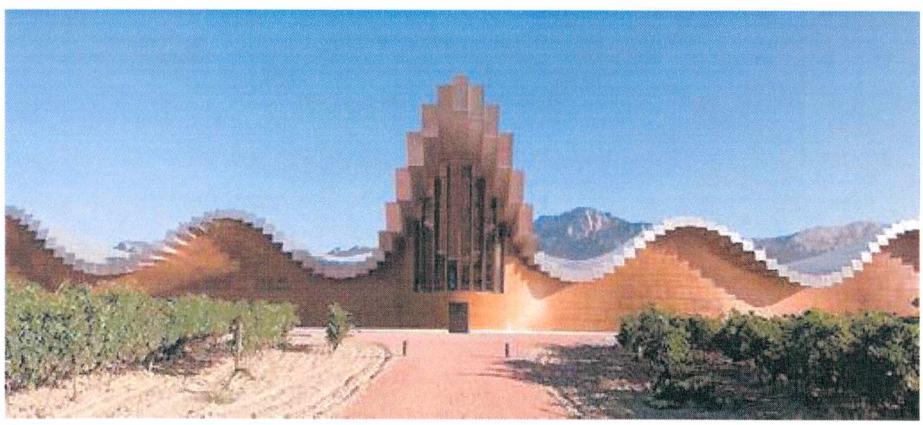


Fot. 31. Instytut Hysolar, Stuttgart (arch. Behnish and Partners, 1987). W elewacjach połączono chaotycznie różne tworzywa, tj. stal, blachę falistą, drewno, szkło i beton. Dynamizm „uporządkowanego bałaganu" oddaje charakter prowadzonych wewnątrz badań eksperymentalnych z dziedziny energetyki solarnej.

krycia od konstrukcji nośnej[155] prowadzi do wytworzenia zupełnie nowych form i struktur, w których granice pomiędzy ścianą a dachem są płynne, lub wręcz zacierają się. Coraz częściej zewnętrzne przegrody postrzegane są jako jedna powłoka/skóra łącząca w sobie różnorodne elementy i funkcje. Z tego względu dalsza analiza przeprowadzona w pracy obejmuje nie tylko tradycyjnie pojmowane elewacje/ściany, ale również kompleksowo ujętą powłokę/skórę, w skład której mogą wchodzić zarówno przegrody pionowe (o funkcji wyłącznie elewacji/fasady), jak i ukośne, zakrzywione (o funkcji elewacji/fasady i/lub dachu) oraz częściowo horyzontalne (o funkcji dachu).

Silnie nastawiony na efekt, nowy sposób postrzegania i kształtowania formy wynika jednocześnie ze względów pragmatycznych. W epoce konkurencji wygląd budynku staje się ważnym elementem w strategii marketingowej przedsiębiorstwa. Dla nowoczesnej działalności, charakteryzującej się nieustającymi zmianami, szybkością i nieznajomością przyszłości potrzebne są wysoce adaptacyjne, wielofunkcyjne przestrzenie, które można pokryć np. jedną, fleksybilną powłoką.

Jak twierdzi Spiridonidis współczesna forma fabryki jest pełna paradoksów. W modernizmie stanowiła ona jedynie pudełko dla produkcji, podstawą jakości architektonicznej była manifestacja funkcjonalności[156]. Obecnie, coraz bardziej autonomiczna w stosunku do funkcji, forma stała się motorem obrazu firmy. Z początku, gdy przemysł był w miastach, od budynków nie wymagano wysokiej jakości estetycznej. Gdy wyszedł poza, architektura stała się jednym z podstawowych środków komunikacji - identyfikuje przedsiębiorstwo, dynamikę produkcji, zaawansowany poziom technologiczny, rezultaty. *„Pojęcia takie jak stechnicyzowanie, produktywność, fleksybilność, dynamizm, ewolucja stały się celem zewnętrznej formy budynku"*[157].



Fot. 32. Bodegas Ysios, Laguardia, Álava (arch. Santiago Calatrava, 1998-2000). Sinusoidalne elewacje winiarni nawiązują do falistego ukształtowania terenu. Sprawiają, że ten wyjątkowy budynek - ikona doskonale wpisuje się w krajobraz jednocześnie wyglądając niczym wyróżniająca się w otoczeniu, zupełnie autonomiczna rzeźba. Dwie betonowe ściany nośne ukształtowane są sinusoidalnie zarówno w elewacji jak planie. Południowa fasada obłożona w kierunku horyzontalnym listwami cedrowymi, odbija się w przylegających doń basenach.

[155] Pierwsze prawdziwe uwolnienie elewacji od struktury nośnej pojawiło się w architekturze przemysłowej na początku XX wieku – w fabryce zabawek Margarete Steiff (1903) i Fagus (1910). Dalej rozwijało się wraz z upowszechnieniem hal typu „skóra i kości", ze stalowym szkieletem i obudową w postaci lekkich ścian osłonowych z prefabrykowanych paneli i innych modularnych elementów.

[156] SPIRIDONIDIS C., *Conceptions, démarches et representations dans le projet architectural des lieux de production*, s. 41-47, in: EVETTE T., LAUTIER F. (eds.), De l'atelier au territoire. La travail en quête d'espaces, L'Harmattan, Paris 1994.

[157] Ibid. s. 46.

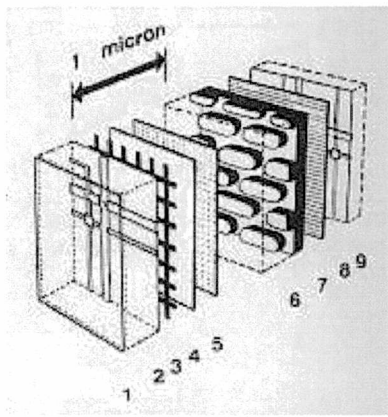
1.2.
INTERAKCJA I WIELOFUNKCYJNOŚĆ

„Przegrody zewnętrzne budynku w ramach przenikalności dla światła, ciepła, powietrza, a także widoczności muszą być podatne na zmiany i docelowo być sterowalne, aby móc reagować na zmieniające się warunki klimatu lokalnego". (Europejska Karta Energii Słonecznej)

W realizacjach ostatniej dekady można zauważyć istotną zmianę. Zewnętrzna przegroda ewoluowała z roli statycznej, izolującej granicy pomiędzy dwoma środowiskami do zdecydowanie bardziej kompleksowej i interaktywnej struktury, będącej jednocześnie granicą i interfejsem. Ujmując to w inny sposób: zewnętrzna przegroda (elewacja/powłoka) budynku jako granica nie jest tylko fizyczną, materialną powierzchnią, ale systemem o charakterze dynamicznym, w którym zachodzą zmiany[158].

Idea „super fasady"[159] – wielofunkcyjnej, dynamicznie reagującej i dostosowującej się do zmiennych warunków i potrzeb - jest od lat przedmiotem dążeń projektantów. Wizja wszechstronnej struktury spopularyzowana przez Mike'a Daviesa w 1981 wciąż służy im za model[160] (rys. 13). Idealna koncepcja nie została jeszcze zrealizowana. Gdy wyobraźnia projektantów poparta została nowoczesną techniką, zewnętrzne przegrody zaczęły jednak coraz aktywniej uczestniczyć w przepływie energii pomiędzy różnymi środowiskami. Stały się w ten sposób pewnego rodzaju filtrem, zdolnym odpowiednio wykorzystać, a nawet regulować zmieniające się warunki i parametry. Analogicznie do skóry żywego organizmu, skóra budynku zaczęła reagować na zmiany. Dzięki temu, jak ujął to Daniels: budynek oddycha – adaptuje się do zmian, wykorzystuje naturę i lokalne surowce, konsumuje mniej zasobów[161].

Mazria twierdzi, iż zdolność adaptacyjna architektury świadczy o jej jakości[162]. We współczesnej architekturze przemysłowej coraz bardziej potrzebne są rozwiązania o zmiennych parametrach, które ze sobą nie kolidują, tylko współpracują, dostosowując się do zmieniających się nieustannie warunków – parametrów środowiska i potrzeb użytkownika. Kryterium wielofunkcyjności i fleksybilności to też charakterystyczny trend naszych czasów, w których zdolność do szybkiej transformacji i adaptacji jest wyznacznikiem sukcesu, a często wręcz kwestią „być albo nie być".



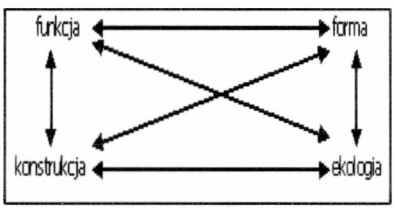
Rys. 13. Polyvalent wall (Mike Davies, 1981). Koncepcja wielowarstwowej, wielofunkcyjnej ściany - aktywnej energetycznie i zdolnej samoczynnie dostosowywać parametry do zmieniających się wymagań.
1 - silikat – nośnik warstw i ochrona klimatyczna,
2 – sensor i zewnętrzny system sterowania,
3 – ruszt fotoelektryczny,
4 – warstwa termoemisyjna – selektywny absorbent,
5 – warstwa elektrorefleksyjna,
6 – warstwa mikroporowata przepuszczająca gaz,
7 – warstwa elektrorefleksyjna,
8 – sensor i wewnętrzny system sterowania,
9 – silikat – nośnik warstw.
(Na podst. CELADYN W.)

[158] ADDINGTON M., SCHODEK D., *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*, Architectural Press, Elsevier 2005.
[159] Ibid. s. 7.
[160] Ibid. s. 166.
[161] DANIELS K., *Low-Tech, Light-Tech, High-Tech. Building in the Information Age*, Birkhäuser Publishers, Basel 1998, s. 105.
[162] http://www.mazria.com.

Reasumując, nowoczesna elewacja/powłoka powinna charakteryzować się jednocześnie:

- **Aktywnością** - stworzenie opakowania gwarantującego ergonomię przestrzeni, użyteczność, komfort, elastyczność;
- **Reaktywnością** – zdolność reakcji na zmiany i potrzeby użytkownika, działalności, otoczenia;
- **Interaktywnością** - zdolność do relacji, wymiany, zmiany, wzajemnych powiązań, współpracy.

1.3.
NOWE ELEMENTY W PROCESIE PROJEKTOWANIA



Rys. 14. Główne elementy kształtujące nowoczesną powłokę budynku. (Na podst. SCHITTICH C.)

Do tej pory w procesie projektowania zewnętrznych przegród budynku istotne były 3 główne elementy: funkcja, forma i konstrukcja. Z końcem XX wieku wraz ze świadomością problemów środowiskowych pojawił się nowy, dodatkowy aspekt do wzięcia pod uwagę. Elewacja stała się złożonym systemem 4 wzajemnie zależnych, oddziaływujących na siebie elementów, takich jak: forma, funkcja, konstrukcja oraz ekologia (rys. 14)[163].

Stworzenie mniej lub bardziej komfortowego i estetycznego pokrycia/ochrony dla wewnętrznej działalności jest nadal celem podstawowym, jednak coraz częściej zewnętrzne przegrody biorą przy tym aktywny udział w rozwiązywaniu problemów środowiska. Odpowiednio ukształtowane elewacje mogą znacząco przyczynić się do realizacji postulatów proekologicznej architektury[164]. Idealny projekt powinien zatem łączyć funkcjonalność i estetykę z efektywnym zarządzaniem zasobami (materiałów i energii), minimalizacją wpływów środowiskowych i optymalizacją samopoczucia pracowników, a wszystko to przy minimalnych kosztach[165].

Zmienia się nie tylko rola i wygląd, inaczej również powinien przebiegać sam proces kształtowania. Naukowcy i projektanci[166] podkreślają konieczność szerokiego, wieloaspektowego podejścia. Powłoka fabryki nie może być zwyczajnym nałożeniem niezależnych elementów takich jak mury, dach, stropy, okna, drzwi, itd. Już od momentu koncepcji powinna być zintegrowanym systemem o charakterze wielofunkcyjnym, ewolucyjnym i adaptacyjnym. Kompleksowa, zaawansowana technologicznie skóra stanowi podzespół w holistycznej koncepcji budynku.

---

[163] SCHITTICH C. (ed.), *Building...*, s. 29.

[164] Patrz rozdz. II/3.

[165] Efektywność ekonomiczna powinna być elementem badanym w całym cyklu istnienia budynku. Dlatego dodatkowe koszty związane z zastosowaniem wyszukanych rozwiązań materiałowych czy drogich technologii w budowie powłoki mogą być kompensowane późniejszymi zyskami – np. mniejszym zużyciem energii w trakcie użytkowania obiektu, odzyskiem energii wbudowanej dzięki recyklingowi materiału, itd.

[166] W projektowaniu takiej powłoki muszą brać udział współpracujący ze sobą specjaliści różnych dziedzin – w ostatnich latach pojawiły się nawet nowe profesje, jak projektant energii, oświetlenia fasady, itp.

Nowatorskie i innowacyjne rozwiązania techniczne widoczne w fasadach, to nie jedyny kierunek poszukiwań ich twórców. Działalność industrialna uważana jest powszechnie za szkodliwą, brudną, niekorzystnie ingerującą w krajobraz naturalny. Odpowiednie podejście projektantów pokazuje, że poprzez dobrą architekturę można zmienić ten obraz na bardziej pozytywny (dotyczy to zarówno budynku jak i samej działalności) i harmonijnie współistniejący z naturalnym otoczeniem zgodnie z postulatami ekorozwoju. Przyjazna dla środowiska i człowieka, estetyczna, czysta, przyciągająca wzrok elewacja sprawia, że architektura przemysłowa staje się efektowna. W ten sposób reklamuje przedsiębiorstwo i bierze dalszy udział w propagowaniu kwestii środowiskowych.

2.
ASPEKTY PROEKOLOGICZNE

„Wszystko jest powiązane ze wszystkim"
(Leonardo da Vinci)

Zewnętrzne przegrody są przedmiotem szczególnego zainteresowania ze strony projektantów nowoczesnej architektury i specjalistów wdrażających mniej lub bardziej *zielone* rozwiązania. Elewacje, czy to w postaci typowych ścian, czy kompleksowo ujętej zewnętrznej powłoki/skóry stanowią pierwszy, najbardziej rzucający się w oczy i dostępny dla wszystkich element architektury. Ich ukształtowanie wywiera wpływ zarówno na środowisko naturalne, jak i sztuczne, stworzone przez człowieka wewnątrz budynku, dlatego należą one do najważniejszych komponentów każdego obiektu.

Odpowiednie opracowanie elewacji budynku przemysłowego odgrywa silną rolę zarówno w realizacji postulatów wysokiej jakości i humanizacji miejsca pracy, jak i szeroko pojętych działań architektonicznych o charakterze proekologicznym.

2.1.
EFEKTYWNOŚĆ, ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ, KOMFORT

„W jaki sposób możemy podnieść efektywność? Jak uzyskać więcej pieniędzy, zużywać mniej materiałów i mniej czasu dla zaspokojenia naszych podstawowych potrzeb? Czego potrzebujemy?" (Richard Buckminster Fuller)

Ukształtowanie elewacji/powłoki jest ważnym czynnikiem determinującym rodzaj i poziom oddziaływania budynku na środowisko, jego bilans energetyczny i komfort wewnętrzny. W praktyce obejmuje to szeroki zakres działań podejmowanych przez projektantów (z mniej lub bardziej korzystnym rezultatem końcowym), których celem jest, jak już wspomniano w rozdziale I/3.2:

- **Efektywność** - surowców, materiałów, energii, procesów;
- **Przyjazność wobec środowiska naturalnego** - minimalizacja negatywnych wpływów, tj. emisji, zanieczyszczeń, odpadów itp., ochrona zasobów, klimatu;
- **Przyjazność wobec użytkownika** - optymalizacja komfortu.

Przyjęte strategie, które jednocześnie powinny cechować się ekonomicznością, w niektórych wypadkach nie są fizycznie zauważalne na zewnątrz budynku, w innych natomiast wychodzą wręcz na pierwszy plan.

Charakterystyka energetyczna zewnętrznych przegród budynku jest jednym z podstawowych kryteriów jego oceny[167]. Działania zmierzające do efektywnej eksploatacji energii[168] wynikają z rosnącej świadomości zagrożeń środowiska. Z punktu widzenia inwestora przekładają się bezpośrednio na obniżenie kosztów.

W architekturze energooszczędnej powłoka budynku ma szczególne znaczenie[169], jej ukształtowanie wywiera bowiem duży wpływ na zużycie energii w ciągu całego cyklu jego życia. Główna uwaga przykładana jest zazwyczaj do energii operacyjnej, czyli wykorzystywanej na potrzeby funkcjonowania obiektu i pod tym kątem optymalizowane są parametry efektywności energetycznej zewnętrznej przegrody. Holistyczne podejście do kwestii zarządzania energią wymaga znacznie szerszego ujęcia – m.in. wzięcia pod uwagę energii wbudowanej, która ma znaczący udział w całkowitym bilansie energetycznym.

Jej poziom można zredukować m.in. poprzez odpowiedni dobór materiałów budowlanych oraz technologii konstrukcyjnych[170]. Choć wydawałoby się, że materiały, których produkcja wymaga dużych nakładów energii należy po prostu zastąpić innymi o niskiej energochłonności, kompleksowe ujęcie tematu pokazuje, że nie zawsze będzie to najlepsze rozwiązanie. Wybór materiału wiąże się bowiem także z konserwacją w trakcie użytkowania, ewentualną naprawą, modernizacją czy wymianą, dlatego ważna jest jego trwałość i adaptacyjność.

Trzeba też podkreślić kwestię odpowiedniego zagospodarowania materiałów po zakończeniu ich eksploatacji – w tym wypadku chodzi o zdolność do ponownego wykorzystania lub odzysku surowców z odpadów i dalszej przeróbki[171]. Wybór materiału o niskiej energii wbudowanej może w końcowym rezultacie nie być korzystny, jeśli nie będzie on mógł być poddany recyklingowi[172]. Recykling pozwala odzyskać nie tylko surowce, ale i znaczną część energii użytej do wytworzenia produktu[173]. W przypadku, gdy odpady

Redukcja

Reutylizacja

Recykling

[167] Energooszczędność jest jednym z wymagań obowiązujących we współczesnej architekturze. Od 4 stycznia 2006 w krajach UE każdy budynek, także produkcyjny i użyteczności publicznej musi posiadać świadectwo energetyczne – tzw. paszport energetyczny, wskazujący klasę energetyczną określającą jego energochłonność. Jest to efekt wdrożenia w życie dyrektywy UE 2002/91/WE, która zobowiązuje państwa członkowskie do działań mających na celu poprawę standardu energetycznego budynków, które są jednym z największych konsumentów energii.

[168] Dotyczy to przede wszystkim energii pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych.

[169] CELADYN W., *Przegrody...*, s. 7.

[170] Systemy mocowania mogą tu odegrać bardzo istotną rolę. STOREY J. B., BAIRD G., *Sustainable...*

[171] Istotna jest łatwość demontażu, oddzielenia komponentów, wymiany, przeróbki.

[172] Wg Klausa Danielsa recykling materiałów budowlanych jest podstawą dla rozwoju inteligentnej ekonomii w sektorze budowlanym. DANIELS K., *Low-Tech...*, s. 23.

[173] Przykładowo drewno jest z pewnością mniej energochłonnym produktem budowlanym niż najbardziej powszechne w budynkach przemysłowych materiały metalowe, jak stal czy aluminium. Choć aluminium ma bardzo wysoki poziom energii wbudowanej, recykling pozwala odzyskać z niego aż 95% energii wbudowanej, podczas gdy w przypadku szkła będzie to jedynie 20%.

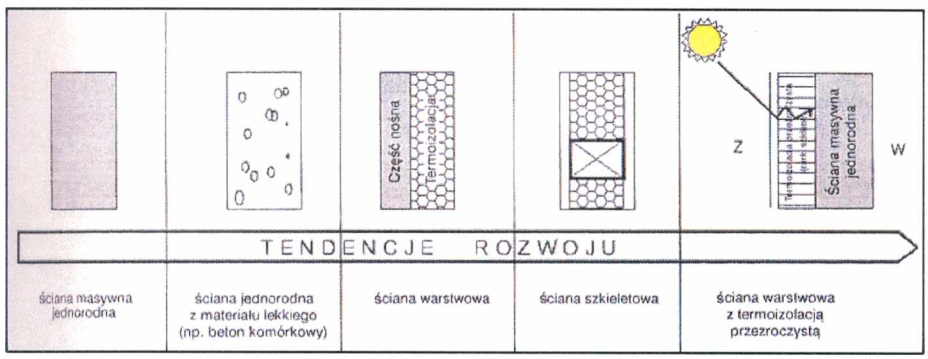
pozostaną niezagospodarowane, energia będzie stracona, środowisko zanieczyszczone. Podejście projektanta musi być zatem kompleksowe i obejmować różne etapy cyklu życia budynku oraz jego komponentów.

Na etapie użytkowania dąży się do obniżenia zapotrzebowania na energię wytwarzaną tradycyjnymi metodami poprzez redukcję konsumpcji w ogóle oraz przejście do czystych technologii jej generacji[174]. Strategie na rzecz poprawy efektywności energetycznej obejmują w tym wypadku szereg wzajemnie powiązanych działań związanych z:

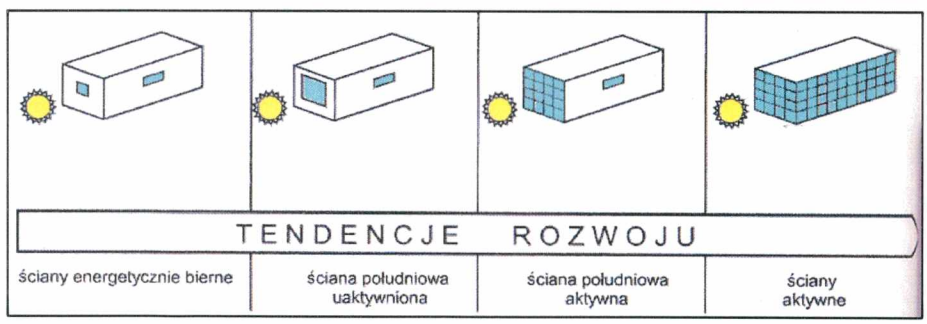
- **minimalizacją strat energii w budynku,**
- **maksymalizacją zysków energii ze źródeł odnawialnych,**
- **optymalizacją komfortu wewnętrznego**[175].

Straty energii spowodowane są głównie ucieczką ciepła przez przegrody, dlatego efektywność termalna powłoki jest jedną z najważniejszych kwestii[176]. Uzależniona jest ona od wielu czynników tj. poziomu izolacyjności ścian (okien, drzwi), mostków termicznych, kondensacji, współczynnika wymiany powietrza, szczelności, różnic temperatur czy systemów mechanicznych (wentylacja).

Przemiany zewnętrznych przegród podążały najpierw w kierunku rozwoju struktur wielowarstwowych o wysokich parametrach termoizolacyjności, a z czasem także ich uaktywnienia energetycznego[177] (rys. 15, 16).



Rys. 15. Ewolucja termoizolacji przegród energetycznie biernych. (Na podst. CELADYN W.)



Rys. 16. Ewolucja przegród w kierunku uaktywnienia energetycznego. (Na podst. CELADYN W.)

Wraz ze wzrostem zainteresowania problemem kontroli przepływu energii przez powłoki budynku, przemysł budowlany wprowadza coraz bar-

[174] Wg IPCC (2007) w nowych budynkach możliwe jest osiągnięcie co najmniej 75% energooszczędności w stosunku do dotychczasowych praktyk przy małych lub zerowych kosztach dodatkowych. Wymaga to integracji działań specjalistów różnych dziedzin - architektów, konstruktorów, inżynierów, ale też inwestorów, wykonawców oraz użytkowników. http://www.ipcc.ch.

[175] CELADYN W., *Przegrody...*, s. 15.

[176] Dążenie do ograniczenia strat termicznych jest szczególnie ważne dla poprawy efektywności energetycznej budynków, wiąże się bowiem z redukcją zużycia energii na potrzeby grzewcze.

[177] Ibid.

dziej wyszukane produkty. W rezultacie, równocześnie ze zwiększeniem parametrów termoizolacyjnych przegroda zyskuje możliwość zysków ciepła z przechodzącej przez nią energii słonecznej[178].

Zyski energii z naturalnego środowiska, czyli ze źródeł odnawialnych wiążą się przede wszystkim z wykorzystaniem przez przegrodę naturalnej energii promieniowania słonecznego. W ten sposób można istotnie ograniczyć konsumpcję energii generowanej metodami konwencjonalnymi (co z kolei korzystnie wpływa na stan środowiska), optymalizować komfort wnętrza i zredukować koszty. W praktyce zastosowanie odpowiednich metod łączących różne techniki alternatywnej generacji energii pozwoliło już zrealizować w architekturze industrialnej budynki zeroemisyjne, zeroenergetyczne, a nawet energetycznie dodatnie[179].

Eksploatacja energii solarnej obejmuje wykorzystanie:

- energii cieplnej,
- światła[180],
- oraz jej użycie w celu konwersji w inną formę energii (np. elektryczność)[181].

W nowoczesnych koncepcjach elewacje/powłoki uczestniczą w przepływie energii coraz bardziej aktywnie. Już nie tylko zdolność do kontroli i regulowania przepływu energii, ale też możliwość stania się jej generatorem może znacząco obniżyć zapotrzebowanie na energię konwencjonalną (kopalną) zużywaną na potrzeby eksploatacji budynku (do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, oświetlenia, itp.)[182]. Odpowiednio zaprojektowane[183] mogą wykorzystywać energię Słońca na wiele sposobów - bezpośrednio, metodami znanymi i stosowanymi w architekturze od wieków, lub pośrednio za pomocą nowoczesnych, specjalistycznych urządzeń[184]. Najbardziej optymalne będzie połączenie obu sposobów.

W budownictwie przyjaznym wobec środowiska wybory rozwiązań dokonywane przez projektantów, inwestorów i użytkowników budynków po-

---

[178] Przykładowo transparentne izolacje łączą w jednym elemencie cechy materiału o wysokiej przepuszczalności optycznej oraz izolacyjności termicznej. Izolacje o strukturze rurek kapilarnych (równolegle umieszczonych w stosunku do powierzchni przegrody lub "plastra miodu" z kanałami prostopadłymi) czy też postaci granulatów aerożelu charakteryzują się zmiennymi właściwościami przepuszczania promieniowania słonecznego. Dokładniej w: COMPAGNO A., *Intelligente Glasfassaden. Material. Anwendung. Gestaltung*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1995, s. 66-68. Zwiększone użycie szkła w konstrukcji fasad także wymaga odpowiednich rozwiązań. Dla optymalizacji parametrów stosuje się więc szkło pokrywane różnymi powłokami (np. niskoemisyjnymi), struktury wielowarstwowe szyb zespolonych z pustką wypełnioną specjalnym gazem, itd.

[179] Budynek nazywany fabryką watów (Wattwerk) generuje rocznie ponad dwa razy więcej energii niż jest w nim zużywane (łącznie dla ogrzewania, oświetlenia, podgrzewania wody, wyposażenia, urządzeń elektronicznych). Patrz rozdz. V, budynek 025.

[180] Poprzez zastosowanie odpowiednich technik można zredukować zużycie energii do oświetlenia o 30-60%. Badania IPCC (2007) pokazują, że efektywne technologie oświetlenia mają jeden z największych potencjałów w redukcji emisji gazów cieplarnianych przez budynek. http://www.ipcc.ch.

[181] Patrz rozdz. III, IV.

[182] Wg IEA efektywność energetyczna (związana z systemami ogrzewania, oświetlenia, chłodzenia, itd.) osiągnięta dzięki przejściu do OZE może zrewolucjonizować środowisko budowlane. Budynki przyszłości powinny być same źródłem energii – czystej, zintegrowanej w większą sieć. http://www.iea.org.

[183] Lokalizacja, usytuowanie i budowa przegrody (struktura, forma, komponenty, itd.) są ściśle powiązane ze sposobem wykorzystania przez nią energii odnawialnej i efektywnością zastosowanego rozwiązania.

[184] Patrz rozdz. III, IV.

winny opierać się na użyciu nieszkodliwych, nietoksycznych materiałów i czystych technologiach.

Rola elewacji budynku w aspekcie proekologicznym sięga jeszcze dalej. Parafrazując ideę Hundertwassera, wg którego powłoka budynku jest trzecią skórą człowieka[185] analogicznie do dwóch pierwszych skór (biologicznej i ubrania), jej podstawowym zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej ochrony i komfortu. W tym celu fluktuacje zewnętrznych warunków (np. klimatycznych) są redukowane przy pomocy poszczególnych warstw.

W budynku optymalne warunki środowiska wewnętrznego zwane komfortem determinuje szereg powiązanych ze sobą, wzajemnie zależnych i policzalnych parametrów[186] takich jak:

- Temperatura wnętrza - rodzaj przegrody wpływa na temperaturę powietrza w pomieszczeniu. Jako system pozwalający na przepływ energii może ona izolować lub przepuszczać w pewnym stopniu energię cieplną;
- Temperatura powierzchni zewnętrznej przegrody - struktura przegrody i materiały z jakich jest wykonana, powinny mieć na całej powierzchni podobną temperaturę (dopuszczalne odchylenie pomiędzy poszczególnymi fragmentami nie powinno przekraczać 4° C)[187];
- Ruch i wymiana powietrza, wilgotność względna - utrzymanie odpowiedniej wilgotności oraz ruchu powietrza jest bardzo istotne dla komfortu wnętrza. Zdolność do przepuszczania powietrza jest ważna, ponieważ zapobiega kondensacji pary wodnej. W wielu nowoczesnych rozwiązaniach przegród nadmierna szczelność ogranicza przewietrzanie, co pociąga za sobą konieczność zastosowania energochłonnych systemów wentylacji (klimatyzacji) mechanicznej;
- Intensywność i jakość oświetlenia naturalnego[188] – w przypadku budynków o charakterze industrialnym kwestia oświetlenia miejsca pracy jest sprawą złożoną, rozpatrywaną indywidualnie w zależności od specyfiki i profilu działalności. Światło naturalne charakteryzuje się przede wszystkim dużą zmiennością, dlatego jego użycie nie zawsze będzie pożądane, a czasami wręcz niemożliwe – pewne procesy laboratoryjne, produkcyjne, czy przechowywanie określonych produktów wymagają światła o określonym, stałym natężeniu. Światło dzienne jest jednak najlepszym źródłem światła dla komfortu psychofizycznego człowieka, dlatego wszędzie tam, gdzie jest to możliwe na-

[185] Patrz rozdz. I.
[186] Więcej na temat m.in. w: CELADYN W., *Przegrody...;* COMPAGNO A., *Intelligente...;* SCHITTICH C. (ed.), *Building...*
[187] CELADYN W., *Przegrody...*, s. 17.
[188] W latach 1960-70 elewacje odseparowywały wnętrze budynku od otoczenia, nie przykładano więc dużej wagi lub wręcz ignorowano potrzebę oświetlenia dziennego. Obecnym trendem w projektowaniu miejsca pracy jest świadomy powrót do integracji naturalnego oświetlenia z koncepcją powłoki budynku. DANIELS K., *Low-Tech...*, s. 74.

leży je efektywnie wykorzystać, również z uwagi na redukcję zależności od sztucznego oświetlenia. Efektywniejsze zarządzanie światłem umożliwiają m.in. systemy kontroli, czujniki, sensory;

- Widoczność - umożliwienie kontaktu wzrokowego pomiędzy dwiema strefami, zewnętrzną i wewnętrzną, jest jednym z elementów wpływających na komfort i samopoczucie człowieka w miejscu pracy;
- Izolacja akustyczna, itd.

Zewnętrzne przegrody, niezależnie czy to w postaci zwykłych ścian, czy też wieloelementowej powłoki, poprzez swoje ukształtowanie i funkcjonowanie wpływają na każdy z owych parametrów. Posiadają również zdolność ich kontroli i regulacji odpowiednio do potrzeb i wymagań.

Nowoczesna struktura musi reagować dynamicznie. Jej efektywność będzie zależała od wielu różnorodnych czynników m.in. od powiązań z innymi systemami budynku (tj. systemami mechanicznymi typu ogrzewanie, wentylacja, chłodzenie, klimatyzacja, oświetlenie). Powinna z nimi współpracować, lub być zintegrowana nawet na takim poziomie, że sama stanie się ich częścią[189].

Należy również podkreślić bardzo istotną rolę użytkowników budynku dla skuteczności przyjętych rozwiązań. Muszą oni mieć świadomość wagi swoich zachowań[190] i przyzwyczajeń. Przede wszystkim zaś skuteczność podjętych działań wymaga holistycznego spojrzenia na budynek jako interaktywną sieć rozmaitych powiązań.

2.2.
WIZERUNEK FIRMY

„Ludzie lubią robić interesy z dobrze ubraną fabryką, tak samo jak wolą robić interesy z dobrze ubranym człowiekiem" (Albert Kahn)

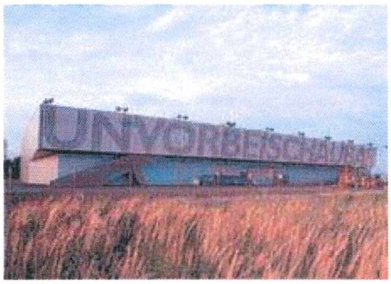
Z końcem XX wieku, w dobie silnie wzrastającej konkurencyjności, w przemyśle zwrócono uwagę na znaczącą rolę architektury jako jednego z ważniejszych czynników marketingowych. Dobrze widoczne z arterii komunikacyjnych budynki stają się pierwszym symbolem, wizytówką przedsiębiorstwa. Elewacje jako pierwsze zwracają w nich uwagę, dzięki czemu są ich własnym, wyjątkowo skutecznym oknem wystawowym. Odpowiednio zapro-

[189] Nowoczesne technologie instalacyjne często dodawane są do budynku bez związku z projektem fasady, i odwrotnie, fasady projektowane są bez wystarczających powiązań z systemami mechanicznymi. Możliwości ich współpracy lub bezpośredniego połączenia jest wiele, a zasadność takiego działania jest niezaprzeczalna. Energetyczne systemy zintegrowane z budynkiem to systemy wykorzystujące dostępne na miejscu źródło energii w taki sposób, aby minimalizować potrzebę zakupu konwencjonalnej energii a przy tym utrzymują zadowalające warunki klimatu wnętrza. WACHENFELDT B. J., BELL D., *Building Integrated Photovoltaics in Smart Energy Efficient-Buildings, A State-of-the-Art*, Report SINTEF, STF22 A04503, Trondheim 2003.

[190] http://www.ipcc.ch.

jektowane mogą być doskonałą metaforą obrazującą działalność firmy, jej filozofię i siłę marki. Pełnią rolę komunikatu zarówno na temat produktu, jak i statusu projektanta, inwestora, a nawet użytkownika.

Corporate identity bywa demonstrowane na zewnątrz budynku w sposób dyskretny lub całkiem jawnymi sygnałami. Nie tylko kolorowe napisy, neony reklamowe, ale cała architektura zwraca uwagę. *„Nie do pominięcia"* głosi slogan reklamowy na fasadzie zakładu należącego do firmy Trevision (fot. 33). Europejski lider wielkoformatowych obrazów wprowadził swoje nowoczesne produkty do architektury, przez co elewacje budynku stały się wielkoformatową reklamą.



Fot. 33. Trevision, Grosshöflein (arch. Querkraft Architekten, 2002). Materiał z napisem *„Unvorbeischaubar"* - sloganem reklamowym firmy - jednocześnie chroni fasadę od słońca. Inna ze ścian jest permanentną wystawą prezentującą oświetlane od tyłu obrazy artystów.

Potencjał architektury wykorzystywany jest też w rozwoju szeroko pojętej świadomości ekologicznej. Aktywność przyjazna środowisku (działalność, użyte technologie, itd.) wywiera wpływ na architekturę zakładu przemysłowego i vice versa – odpowiednia architektura może być narzędziem w proekologicznej działalności. Zgodnie z obecnymi trendami i modą wiele przedsiębiorstw reklamuje swoją działalność oraz produkty jako przyjazne wobec środowiska. Wg niektórych, taki obraz marki będzie wiarygodny tylko wtedy, gdy związki z naturą pokazane zostaną nie w samych reklamach (np. telewizyjnych), ale też i w budynkach produkcyjnych[191]. Projektanci zmagają się więc na różne sposoby i z różnym efektem z nowymi problemami, takimi jak ekorozwój czy technologie przyjazne dla środowiska, próbując przekształcić to wszystko w sztukę[192].



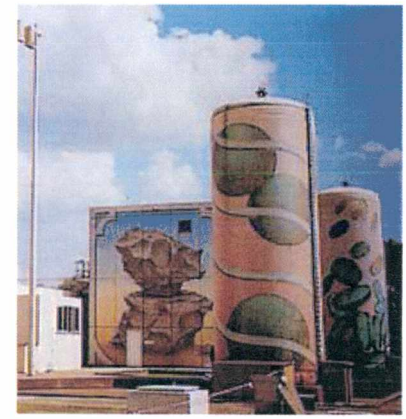
Fot. 34. ThyssenKrupp Stahl, Duisburg (arch. H. Gunia, A. Kollek, N. Schallenberg, 2002). Kolorystyka elewacji wg projektu Friedricha Ernsta von Garnier (paleta ReflectionsOne®).

Friedrich Ernst von Garnier uważa, że można pogodzić naturalny krajobraz z przemysłem i technologią za pomocą koloru. Niemiecki artysta opracował specjalnie dla stalowych budynków industrialnych paletę barw o nazwie ReflectionsOne®. Spektrum bliskich naturze kolorów zdominowane jest odcieniami niebieskiego i zielonego dla lepszej integracji budynków z krajobrazem. Kolorowe hale przemysłowe, takie jak liczne budynki firmy ThyssenKrupp w zagłębiu Ruhry (fot. 34, V/021), stanowią wizualny symbol przyjaznej dla środowiska fabryki. Fuzję sztuki z funkcjonalnością Garnier nazywa *„ekologią dla oczu"*[193].

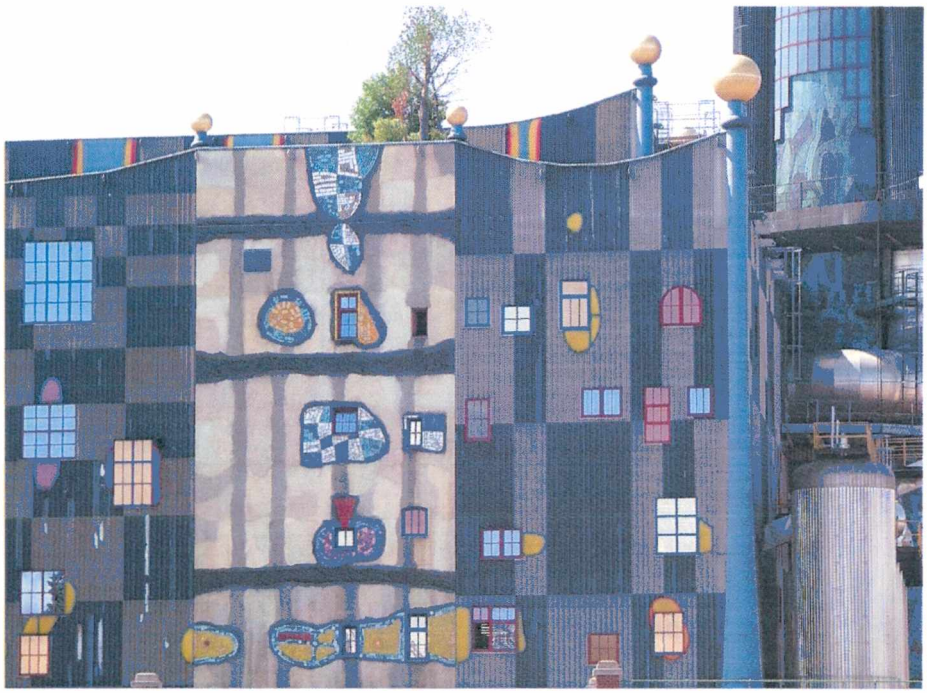
Charakterystycznym przykładem jest rozwijający się w ostatnich latach przemysł wspomagający ochronę środowiska. Stacje uzdatniania wody, oczyszczalnie ścieków, zakłady segregacji i spalarnie śmieci gwałtownie wkroczyły do świata architektury w drugiej połowie XX wieku. Użyteczne i potrzebne, a od pewnego momentu już niezbędne, znalazły się w połowie drogi pomiędzy działalnością przemysłową, a sektorem usługowym. Skrywając w środku najbardziej zaawansowane technologie i skomplikowane urządzenia, budynki przemysłu ochrony środowiska to w gruncie rzeczy wielkie

[191] http://www.thyssenkrupp-stahl.com.
[192] WINES J., *Green*....
[193] http://www.thyssenkrupp-stahl.com.

maszyny, a w każdym razie miejsca pracy w większym stopniu dla nich niż dla ludzi. Integracja takich obiektów w krajobraz czy to naturalny, czy miejski, wywoływała od początku (i wywołuje nadal) obawy. Ich rola w ochronie środowiska jest niezaprzeczalna, ale jak połączyć działalność kojarzoną np. z kubłem na śmieci ze sztuką architektury? Zmiana złych skojarzeń nie była łatwa. Podporządkowane prymatowi funkcjonalności i techniki budynki pod względem architektonicznym z początku były zdecydowanie niskiej jakości. W projektowaniu nastawionym na rentowność i utylitarność rzadko kiedy brali udział architekci, sami zresztą nie byli tym specjalnie zainteresowani. Realizacje z ostatnich lat pokazują jednak, że paradoksalnie udaje się powiązać „brudną" działalność z ochroną środowiska, ekonomię z ekologią, a nowoczesne techniki i technologie nawet ze sztuką.



Fot. 35. Stacja uzdatniania wody SAGEP, Orly (arch. Michel Luyckx, 1969). Freski w temacie wody i natury będące dziełem malarza Gerarda Pestmala ubarwiają i ożywiają elewacje budynków, silosy oraz urządzenia techniczne.



Fot. 36. Spalarnia śmieci/miejska ciepłownia Spittelau, Wiedeń (proj. elewacji Hundertwasser, 1988-92). W elewacji zastosowano m.in.: 6100 m^2 kolorowych paneli z blachy trapezowej, 1100 m^2 lakierowanych paneli o różnych kształtach w 4 kolorach, ponad 200 różnych okien, 34 złote kule średnicy od 800-2000 mm. W największej z nich umieszczonej na wysokiej wieży znajdują się mechanizmy pomiarowe. Biało-czarna szachownica w elewacji symbolizuje kontrast pomiędzy spalaniem, brudem a czystością, nowoczesną technologią. Wszystkie elementy skierowane ku górze pomalowano na niebiesko jako symbol nieba, czystości wody i powietrza. Kolor złoty symbolizuje przyszłość opartą na pokoju i harmonii z naturą. http://www.art.unt.edu/)

Dla słynnego Hundertwassera walka o naturę zagrożoną destrukcyjną działalnością człowieka była bardzo ważną kwestią, a jego główną bronią - sztuka. Zaprojektowane przez niego fasady spalarni śmieci we Wiedniu (fot. 36) i Osace łączą przemysłowe materiały budowlane tj. żelbet, stal, szkło z artystyczną fantazją. W wiedeńskim budynku[194] wszystkie elementy starannie dobrano, kształty i kolory symbolizują konkretne idee związane z miastem i ekologią. Niczym u Gaudiego, połamane kawałki ceramiki tworzą wielokolorowe akcenty, które w tym wypadku reprezentują skłębione kawałki śmieci. W tak artystyczny sposób przekazywany jest na zewnątrz obraz tego, co dzieje się w środku. Charakterystyczne, nieregularne i zaskakujące zestawienia kształtów i kolorów tworzą rozpoznawalny, bajkowy wręcz widok wśród otaczających budynków. Daleka od konwencjonalnych metod koncep-

[194] Gdy burmistrz zaproponował mu zaprojektowanie fasad dla odbudowywanego po pożarze budynku, przeciwny „brudnej" wg niego działalności, odmówił. Przekonały go konsultacje z inżynierami środowiska i gwarancja, że w budynku zastosowane zostaną technologie przeciwdziałające szkodliwym emisjom.

cja ostro krytykowana jest przez tradycjonalistów, architektura budynku zwraca uwagę i przyciąga rzesze turystów z całego świata, co było zamierzeniem projektanta[195].



Fot. 37. Zakłady przetwarzania odpadów SYCTOM, Ivry (arch. S'PACE, 1993-97). Zwracające uwagę, ożywiane nieustanną grą światła ślepe fasady masywnej bryły fabryki wyglądają jak pokryte metalową teksturą.

Jednym z modelowych przykładów synergii procesu przemysłowego z nowoczesną i estetyczną strukturą, a także integracji industrialnej działalności z krajobrazem miejskim poprzez odpowiednią architekturę są podparyskie zakłady przetwarzania odpadów SYCTOM (fot. 37). W trakcie modernizacji, obiekty z 1969 pokryto nowoczesnymi okładzinami m.in. panelami z motywami geometrycznymi inspirowanymi zgniecionym sreberkiem z czekolady.

Tego typu obiekty, ale też niejednokrotnie budynki industrialne w ogóle, często wywołują sprzeciw lokalnych społeczności. Wysoka jakość architektury odgrywa dużą rolę w zwiększeniu akceptacji dla nich. Wg projektantów Henry i Triaud: *„fabryka musi być piękna, ponieważ stanowi dowód na to, że przedsiębiorstwo dba o ciebie. Obrazowanie przemysłowej funkcji już nie jest konieczne, odkąd posiada ona zaawansowaną technologicznie naturę. Sportowy samochód pokazuje stylową linię, nie silnik"*[196].



Fot. 38. Spalarnia śmieci, Calce (arch. Luc Arsène Henry Jr., Alain Triaud). Fabrykowane na wymiar blachy tworzą na elewacjach łuskę odbijającą światło i kolory. Wg projektantów budynek - dzieło sztuki ze stali - wydaje się być *„kształtowany przez wiatr"*.

Architektura przemysłowa w pewien sposób zdegenerowana ekonomicznymi i powtarzalnymi rozwiązaniami, które nadały jej etykietę blaszanego pudełka, po dziś dzień w powszechnym mniemaniu uznawana jest często za drugorzędną. Jednak kwestia waloryzacji obrazu fabryki poprzez jej architekturę odnawia się. Inwestorzy odwołują się coraz częściej do znanych nazwisk, co Georges Benko nazywa *„systemem gwiazd"*[197]. Słynni projektanci coraz częściej firmują projekty w przemyśle. Wnoszą wyszukane rozwiązania materiałowe, rozwijają nowe technologie, kreują kolejne trendy. Ich realizacje niejednokrotnie porównywane są do wielkich dzieł architektury, np. uży-

[195] Taki sam cel przyświecał realizacji projektu Hundertwassera w Osace, gdzie charakterystyczna kakofonia nieregularnych kształtów i kolorów miała zaciekawić i zwracać uwagę na Maishina Island w razie organizacji igrzysk olimpijskich. Koncepcja elewacji, tak jak w poprzednim przypadku wynikała z intencji harmonijnego połączenia architektury, zaawansowanych technologii i natury.

[196] http://www.euro-inox.org.

[197] BENKO G., *Geografia technopolii*, PWN, Warszawa 1993, s. 207.

teczności publicznej. Interesująca architektura i wielkie nazwiska nie tylko przyciągają potencjalnych nabywców. Powodują też, że generowana jest cała masa publikacji m.in. w specjalistycznych pismach, gdzie zdjęcie budynku staje się darmową reklamą dla przedsiębiorstwa.

Odpowiednio ukształtowana architektura odzwierciedla otwarcie firmy w stronę klienta. Budynki przemysłowe stają się miejscem także dla publiczności – dziś fabrykę można często zwiedzać niczym muzeum. Potencjalny współczesny nabywca, „osaczany" mnogością ofert jest coraz bardziej wymagający, chce wiedzieć jak powstają produkty i jakiej są jakości. W elewacjach odbija się to m.in. w postaci dużych przeszkleń, które umożliwiając wgląd do wewnątrz symbolicznie ukazują dostępność i otwartość zakładu.

Cannon Avent – wytwórca wysokojakościowych, innowacyjnych produktów dla dzieci – uznał pokazywanie procesu produkcyjnego za główny element strategii marketingowej istotny w rozwoju firmy. Duże przeszklenie elewacji od strony północnej pokazuje przestrzeń produkcyjną jednocześnie eksponując nowoczesną strukturę (fot. 39).



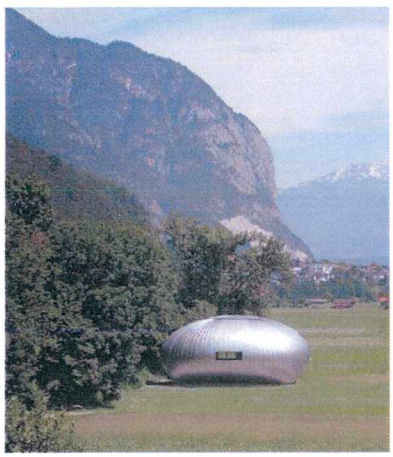
Fot. 39. Cannon Avent, Glemsford (arch. Fletcher Priest Architects, 2000).

Autor galerii MoMa w Nowym Jorku Yoshio Taniguchi zaprojektował spalarnię śmieci w Hiroszimie, którą nazywa swoim *„muzeum śmieci"*[198]. Stalowo szklany budynek stał się czymś w rodzaju muzeum naukowego w czasie rzeczywistym. Tak jak wiele innych nowoczesnych zakładów przemysłowych, spalarnia otwarta jest dla publiczności. Główną ideą koncepcji architektonicznej było uzmysłowienie ludziom ile odpadów produkują. Szklane ściany pokazują, co dzieje się wewnątrz - być może taka świadomość zmotywuje ich do mniejszej konsumpcji. Wysokiej jakości, minimalistyczna architektura i biało-srebrne elewacje uszlachetniają „nieczystą" operację. O sa-

[198] http://www.floornature.com/articoli/articolo.php/id607/sez1/en.



Fot. 40. Central Waste Incineration Plant, Hiroszima (arch. Yoshio Taniguchi, 2004). Budynek usytuowano na przecięciu z miejskim bulwarem spacerowym, który przechodzi korytarzem „ECORIUM" (ecology + atrium) oraz stalowo-szklaną kładką przez wnętrze. W ten sposób nawet przypadkowy obserwator widzi przez przeszklone ściany cały proces zachodzący we wnętrzu spalarni.



Fot. 41. Elektrownia wodna Power Plobb, Zirl am Inn (arch. Michael Prachensky, 2003). Zlokalizowany w naturalnym krajobrazie obiekt o symbolicznej formie kropli wody.

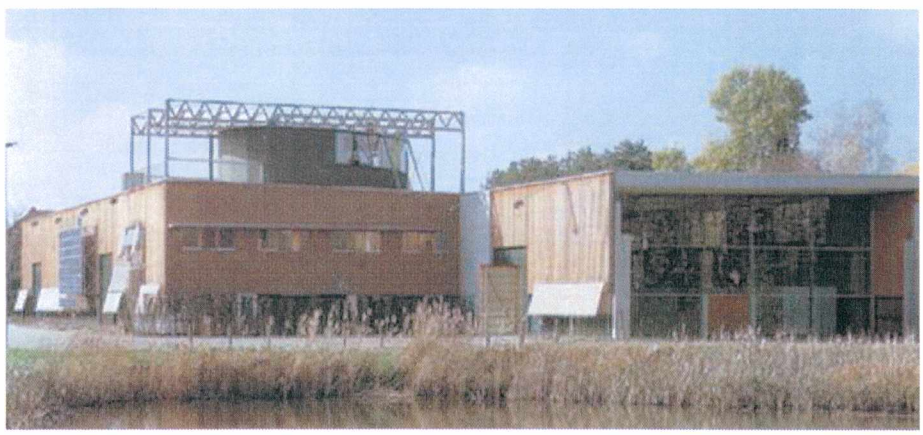
mym budynku mówi się, że jest tak czysty, że *„można w nim jeść z podłogi"*[199] (fot. 40).

Kwestia „czystości" budynku wyrażona najczęściej poprzez odpowiednie ukształtowanie zewnętrznej powłoki z wysokiej jakości materiałów takich jak metal czy szkło, pojawia się coraz częściej we współczesnych realizacjach przemysłowych. W ten sposób wzbudzane jest zaufanie do negatywnie kojarzonej, „brudnej" działalności. „Czysty" w wyglądzie budynek staje się nie tylko pozytywnym wizualnie elementem krajobrazu, ale symbolicznie reprezentuje cechy przyjazności wobec środowiska i człowieka (fot. 41).

W przemyśle zmieniły się zarówno relacje klient – przedsiębiorca, jak i pomiędzy samymi pracownikami. Nowoczesna firma poprzez architekturę odzwierciedla aktualne tendencje, np. w kwestii zarządzania przedsiębiorstwem. Stąd m.in. wielofunkcyjne powłoki, które obejmując elastyczny pod względem funkcjonalnym budynek niczym skóra, pozwalają zatracić tradycyjny, hierarchiczny podział na strefy tzw. „białych i niebieskich kołnierzyków". Jednocześnie nowatorska forma i użyte materiały symbolizują elastyczność i nowoczesność.

We współczesnych budynkach, które muszą spełniać coraz większe wymagania funkcjonalno-użytkowe i techniczne, elewacje wykorzystuje się do pokazania na zewnątrz nowoczesnego wyposażenia i technologicznych rozwiązań[200]. W epoce high-tech były to nieosłonięte rury, elementy instalacji HVAC, czy nowoczesne rozwiązania strukturalne takie jak maszty i stalowe cięgna. Dziś są to coraz częściej techniki i technologie o charakterze proekologicznym.

W austriackim Ecoparku pokazano szereg rozwiązań w postaci rozmaitych materiałów budowlanych, technologii solarnych, itd. (fot. 42). Elewacje stały się laboratorium doświadczalnym i permanentną ekspozycją. Niektóre elementy ulegają zmianom, dzięki czemu budynek dodatkowo zyskuje intrygujący i dynamiczny, eksperymentalny charakter.



Fot. 42. Budynek solarny, Ecopark, Hartberg (arch. Konrad Frey, 2002). Na pierwszy rzut oka banalny budynek stanowi połączenie prostych form i konstrukcji z szeregiem mniej lub bardziej innowacyjnych technik i technologii proekologicznej architektury.

[199] Ibid.
[200] Np. wytwarzanych wewnątrz produktów czy rozwiązań użytych na potrzeby funkcjonowania obiektu.

3.
NOWOCZESNE TECHNOLOGIE

„Technologia jest czymś więcej niż metodą,
jest światem sama w sobie"
(Mies van der Rohe)

3.1.
ZASADNOŚĆ UŻYCIA

W dzisiejszych czasach powłoki budynków przemysłowych mają być jednocześnie proste, tanie i wyrafinowane. Powinny m.in. chronić wnętrze, zapobiegać ucieczce ciepła i zapewniać wymaganą szczelność. Jednocześnie spełniać wymagania estetyczne i przyczyniać się do tego, żeby obiekt dobrze wpisywał się w otaczające go środowisko i nie obciążał natury. Projektować powłokę budynku w obliczu obecnych, w dodatku nieustannie zmieniających się wymagań z pewnością nie jest łatwo.

Jednym z kluczowych czynników w wysiłkach projektantów jest integracja zaawansowanych technologii. Coraz większa dostępność i prawie nieograniczone możliwości dają ogromną wolność projektową, ale zasadność ich użycia pozostaje wciąż kwestią dyskusyjną. Choć wymagania w stosunku do nowoczesnej architektury przemysłowej są coraz wyższe i bardziej kompleksowe, nadal wyrastają one przede wszystkim ze względów funkcjonalnych i ekonomicznych. W praktyce, zastosowanie nowoczesnych technologii zależy głównie od możliwości finansowych inwestora, motywowane jest względami prestiżowymi, marketingowymi.

Obok kwestii opłacalności pojawia się też pytanie: czy takie działanie jest kompatybilne z celami ochrony środowiska? Podobnie jak niegdyś, w okresie ewolucji architektury *high-tech* i opozycyjnego *low-tech*, ścierają się przeciwstawne racje[201]. Zwolennicy powrotu do natury są przeciwni wykorzystywaniu zaawansowanych technologii, uważają bowiem, że przynoszą one więcej szkody niż pożytku. Powszechnie krytykuje się je za zbyt wysokie koszty, w praktyce wiele z nich okazuje się też mało skuteczne. Wg Baranowskiego: *„nie w technologii należy upatrywać przezwyciężenia kryzysu. Niezbędna jest zasadnicza zmiana systemu wartości i ludzkich postaw wobec środowiska i – szerzej – wobec rzeczywistości"*[202].

Z drugiej strony, w przypadku architektury industrialnej wykorzystanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych wydaje się jak najbardziej logiczne, ma zresztą długą tradycję. Przez cały okres jej ewolucji postęp technicz-

[201] BRZEZICKI M., *Zastosowanie...*, s. 13.
[202] BARANOWSKI A., *Projektowanie...*, s. 35.

ny i różnego typu innowacje wywierały silny wpływ na ukształtowanie elewacji/powłok budynków. Nowoczesne technologie (materiały, systemy konstrukcyjne, nowe źródła energii, itp.), które początkowo wywoływały duże obawy, z czasem, powszechnie zaakceptowane stawały się normą[203]. Wówczas na ich miejsce pojawiały się kolejne, awangardowe rozwiązania.

Budynki przemysłowe od samego początku były miejscem powstawania licznych wynalazków i stanowiły dla nich doskonałe pole doświadczalne. Dziś także, podczas gdy wewnątrz obiektów wytwarzane są zaawansowane produkty, opracowywane nowe rozwiązania, na zewnątrz elewacje oferują dla nich od razu praktyczne laboratorium badawcze *in situ*[204].

Brak informacji, niewystarczająca dostępność i zdecydowanie zbyt wysokie koszty wielu nowoczesnych technologii stanowią z pewnością realne i poważne bariery, ale cóż innego jak nie kontynuacja działań na rzecz dalszego postępu i rozwoju mogą przyczynić się do ich pokonania? Oczywiste jest, że *„nie wszystkie innowacje kończą się sukcesem. Ale bez pomysłów nowatorskich, śmiałych, nawet utopijnych, nie byłoby postępu w architekturze ani w innych dziedzinach"*[205].

Wg Hardina Tibbsa technologii trzeba używać i nie należy uważać ich za coś nienaturalnego. Stanowią one bowiem ekspresję ludzkiej ciekawości i pomysłowości, przez co nie są czymś bardziej nienaturalnym niż sam człowiek. Problem polega tylko na tym, żeby wszelkich technologii i innowacji używać w odpowiedni, jak najbardziej korzystny dla środowiska i człowieka sposób. A zatem używając słów jednego ze współczesnych architektów holenderskich: *„Jak bardzo szalonymi powinniśmy się stać? Nie za bardzo – nasze kosztowne produkty powinny być użyteczne. Ale też nie za mało – bądźmy w przyszłości mniej nudni!"*[206].

3.2.
PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

„Technika dostarcza niezbędnych środków i umożliwia tworzenie form pełnych ekspresji"
(Mies van der Rohe)

W kształtowaniu nowoczesnych elewacji/powłok budynków przemysłowych wykorzystywane są zarówno znane i sprawdzone, jak i całkowicie innowacyjne technologie, które (przynajmniej teoretycznie) mają sprawić, że budynek nie będzie oddziaływał tak negatywnie na środowisko. Podejście

[203] Często ze znacznym przesunięciem czasu - np. innowacyjną ideę standaryzacji, jaką zaproponował Paxton w Crystal Palace doceniono w pełni dopiero 100 lat później.
[204] Np. dla instalacji solarnych takich jak kolektory termalne, fotowoltaika.
[205] Wacław Ostrowski.
[206] Ben van Berkel.

projektantów bywa bardzo różne, tak samo zresztą jak i skuteczność proponowanych przez nich rozwiązań[207].

W niektórych realizacjach zastosowanie w elewacji tradycyjnych, naturalnych materiałów budowlanych takich jak drewno od razu sugeruje bliskość z naturą. Jednocześnie pokazuje możliwość stworzenia ambitnej pod względem estetycznym i energetycznym architektury odchodzącej od powszechnie obowiązującego, mechaniczno-metalicznego obrazu budynku industrialnego (fot. 43).

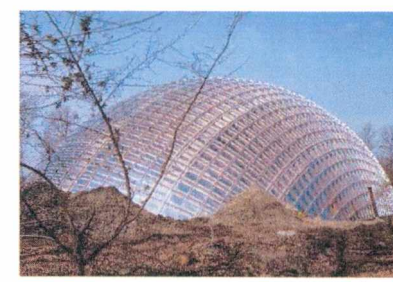


Fot. 43. Fabryka Hübner, Kassel (arch. Joachim Eble, 1998). Elewacje zaprojektowano jako wielowarstwowe, wentylowane struktury z izolacją z materiałów pochodzących z odzysku i drewnianym pokryciem. Poza użyciem naturalnym materiałów na pozytywny bilans energetyczny budynku wpłynęło wykorzystanie światła dziennego oraz systemy wentylacji z odzyskiem ciepła. Projekt powstał w bardzo krótkim czasie i po niewielkich kosztach.

Słynący z eksperymentalnych rozwiązań energooszczędnych Thomas Herzog połączył tradycję z nowoczesnością. W elewacjach fabryki Wilkhahn (V/004) naturalne materiały dobrze współgrają z typowo industrialnymi i zaawansowanymi technologicznie elementami, jak prototypowa instalacja fotowoltaiczna[208]. Elewacje od strony północnej i południowej pokryto szkłem oraz izolowanymi panelami w obudowie z desek modrzewiowych. Od strony zachodniej i wschodniej przeszklono prostokątnymi panelami z podwójnego szkła wypełnionego transparentną izolacją termiczną, która przepuszcza naturalne światło dzienne, chroniąc jednocześnie od przegrzania i oślepiania.

Integracja mniej lub bardziej zaawansowanych technik i technologii w niektórych przypadkach mało widoczna na zewnątrz budynku, w innych wychodzi na pierwszy plan. Jawną manifestacją możliwości ekologicznego projektowania i różnorodności dostępnych metod są obiekty znajdujące się w austriackim Ecoparku (fot. 42). W prototypowym budynku zaprojektowanym przez Konrada Freya, na fasadach zademonstrowano zupełnie skrajne rozwiązania. Na zasadzie kontrastu zestawiono szereg technologii: od bliższych naturze materiałów jak drewno czy włókno kokosowe, przez ekrany materiałowe, aż do zaawansowanych technologii solarnych, takich jak fotowoltaika.

Propozycja architektów Samyn & Partners w centrum leśnym Marche-en-Famenne to przykład nowoczesnej powłoki jako wielofunkcyjnej, architektonicznej skóry (fot. 44). Usytuowana w naturalnym krajobrazie transparentna kopuła jest najbardziej charakterystycznym elementem projektu. Efektywnie połączono tu zaawansowane technologicznie materiały takie jak: szkło, aluminium, drewno klejone. To ostatnie, gięte metodą prototypową, wykorzystano w konstrukcji szkieletu nośnego. Zewnętrzne pokrycie tworzy 1691 tafli szkła refleksyjnego[209], mocowanego w aluminiowych profilach z silikonowymi spoinami. Skóra budynku funkcjonuje niczym filtr regulujący przepływ światła naturalnego i ciepłego powietrza. Częściowo chroni przed



Fot. 44. Forestry Branch, Marche-en-Famenne (arch. SAMYN & PARTNERS, 1992-95). Szklana „bańka" z drewnianym szkieletem wg projektantów harmonijnie wtapia się w otoczenie porośnięte 200-letnim dębowym lasem.

[207] Wg Ryńskiej można wyróżnić trzy główne kierunki projektowania: proekologiczny (odpowiednie kształtowanie form, energooszczędne rozwiązania materiałowe i technologiczne), proenergetyczny (redukcja konsumpcji energii, generowanie własnej energii, wykorzystanie warunków środowiska) oraz introwersyjny (odseparowanie od otoczenia, minimalizacja wpływu środowiska sztucznego na naturalne). RYŃSKA E. D., *Architekt...*, s. 147-148.

[208] W czasach realizacji budynku prototypowa instalacja fotowoltaiczna z krzemu amorficznego była jednym z pierwszych praktycznych zastosowań tego materiału poza warunkami laboratoryjnymi.

[209] SAMYN & PARTNERS, *Récents projets industriels*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 156.

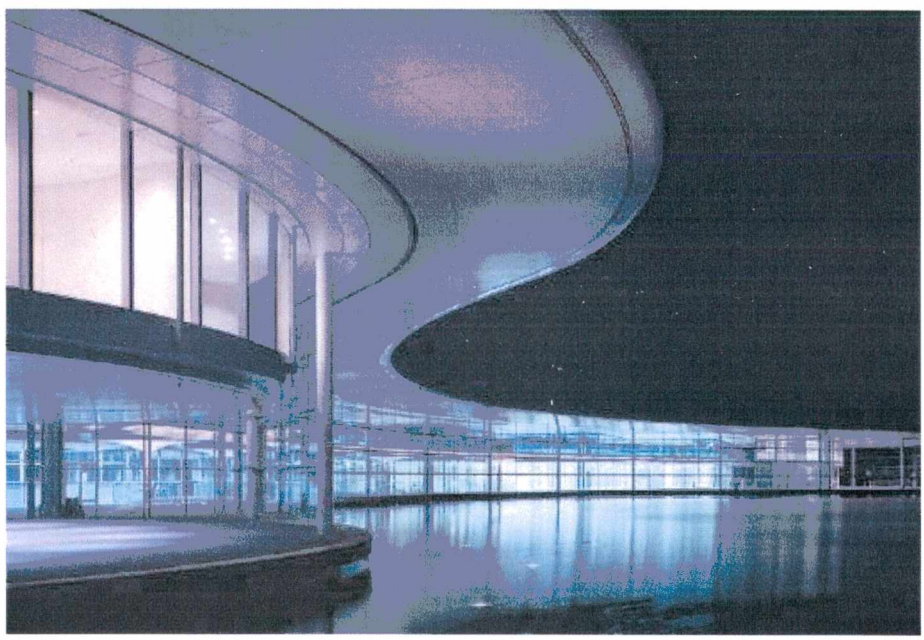
nadmiarem promieniowania słonecznego, choć latem przed przegrzaniem budynek zabezpiecza dodatkowo wydajna wentylacja mechaniczna. Zlokalizowane u podstawy kopuły nawiewy zapewniają dostęp świeżego powietrza.

Dobre wpisanie w kontekst naturalny jest istotną cechą wielu nowoczesnych projektów. Zaawansowane technicznie rozwiązania elewacji mają łączyć budynek ze środowiskiem zarówno pod względem wizualnym, jak i funkcjonalnym.

Współpraca Fostera z Schüco International i inżynierami McLarena zaowocowała realizacją szklanej fasady wykorzystującej zaawansowane technologie Formuły I (fot. 45). Ważnym elementem projektu jest relacja budynku z jeziorem – innowacyjna technologia podwieszanej fasady, o miękkiej i zakrzywionej linii zapewnia transparentność i widok na otoczenie. Jak w chińskim symbolu Yin-Yang oba elementy – szklana ściana i jezioro - są współzależne i nierozłączne (fot. 46). Woda jako integralny element architektury jest jednocześnie systemem chłodzącym dla ogromnej szklanej powierzchni. Projekt obrazuje nowoczesny charakter miejsca pracy na miarę XXI wieku i wdrażanie przez firmę najnowszych technologii.



Fot. 45. Centrum Technologiczne McLaren, Woking (arch. Foster + Partners, 1998-2004). Obciążenia od parcia wiatru absorbowane są przez 12 m długości, komputerowo cięte aluminiowe „pióra" połączone za pomocą specjalnego kołnierza z kolumnami. Ich kształt inspirowany był tylnym spojlerem pojazdu, który wygrał wyścig Le Mans24 w 1995. Pionowe obciążenia przenoszone są przez 5 mm stalowe pręty, takie same jak używane do stężenia kabin w samochodach wyścigowych teamu McLarena.



Fot. 46. Centrum technologiczne McLaren, Woking (arch. Foster + Partners, 1998-2004). Redefinicja miejsca pracy produkcyjnej w XXI wieku. Różne funkcje połączono pod jednym dachem w budynku w kształcie nerki, w którą wcina się jezioro.

Symbolika transparentnej fabryki była obecna w architekturze, odkąd tylko rozwinięto techniki kształtowania szklanych fasad dużej powierzchni. Współczesne możliwości technologiczne, tj. nowe metody mocowania czy materiały budowlane (szkło, plastik), umożliwiają realizację kolejnych, coraz bardziej wyszukanych projektów. Zaawansowane technologie w połączeniu z chęcią eksperymentowania zarówno ze strony klientów, jak i architektów stworzyły doskonałe warunki do odnowy architektury industrialnej. Szczególna w tym zasługa rozwoju technik komputerowych, które umożliwiły realizację coraz bardziej wyszukanych pomysłów. Szeroki wachlarz możliwości i coraz mniejsze ograniczenia znacznie pobudziły kreatywność projektantów.

Angażowanie nowoczesnych technik przyczynia się m.in. do powstania różnorodnych form w architekturze industrialnej. Odkąd można już pokryć tak samo zewnętrzne ściany i dach, rozróżnienie pomiędzy strukturą a skórą budynku stało się coraz mniej jasne. Zewnętrzne przegrody stają się zaawansowanymi technologicznie, kompleksowymi skórami o wielu funkcjach i intrygującym wyglądzie.

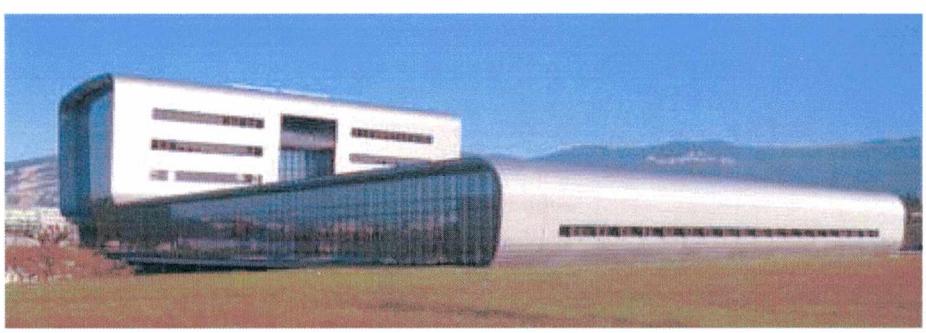
Wzrastająca siła ekspresji powłoki uzyskiwana poprzez wyszukane struktury i materiały jest ucieleśnieniem symbiozy pomiędzy architekturą a technologią[210]. Wielodyscyplinarna praca projektantów łączy ich wiedzę i doświadczenia, popierana technikami komputerowych symulacji, bez których niemożliwa byłaby realizacja niejednej koncepcji. Liczne realizacje, gdzie głównym celem jest najczęściej uzyskanie optymalnej przestrzeni integrującej pod jednym przekryciem wszystkie etapy pracy pokazują, że można połączyć przemysłową funkcjonalność z najnowszymi osiągnięciami techniki i chęcią architektonicznego eksperymentowania. Przy obecnych możliwościach budynek przemysłowy nie jest już wyłącznie „dobrze naoliwioną maszyną", ale zbliża się coraz bardziej do prawdziwego dzieła sztuki.

Przykład Fabryki Eksperymentalnej (fot. 47) architektów Sauerbruch Hutton to *„brak jakiejkolwiek rewerencji dla zwykłych, przyjętych, poprawnych i śmiertelnie nudnych, a szalenie funkcjonalnych wzorów architektury przemysłowej"*[211]. Pokrycie różnych funkcji budynku kolorową powłoką zaciera tradycyjny podział na zwyczajnie pojmowane elewacje i dach.

Podobną koncepcję zaproponował Tschumi dla Vacheron Constantin, zamierzając stworzyć ponadczasową formę łączącą technologie XXI wieku z tradycjami sięgającymi Oświecenia[212]. Koncepcja bazuje na idei cienkiej, fleksybilnej powłoki z metalu i drewna rozwiniętej nad pionowymi, szklanymi ścianami (fot. 48). Zapewniając funkcjonalną i wizualną spójność symbolizuje ona nieustanny rozwój firmy oraz płynność relacji między poszczególnymi departamentami budynku[213].



Fot. 47. Experimentelle Fabrik, Magdeburg (arch. Sauerbruch Hutton Architects, 2001). Boczne ściany całkowicie przeszklono, przez co „miękka" powłoka z blachy pełniąca jednocześnie funkcję dachu i fasady wydaje się pływać w powietrzu. Blaszany „kocyk", jak nazywają go projektanci, wykonano z konstrukcji stalowo-aluminiowej pokrytej z zewnątrz aluminiową, natryskiwaną blachą łączoną na zaciski.

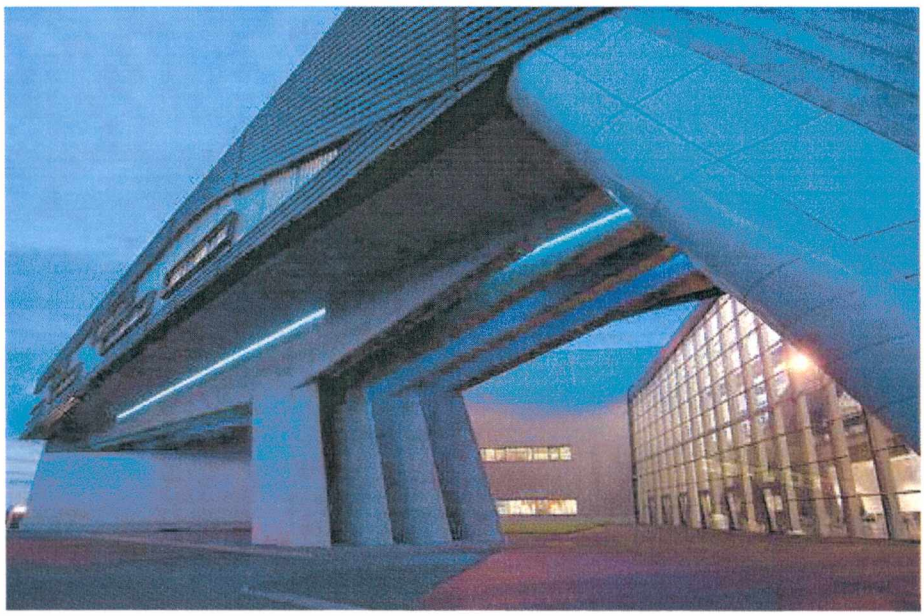


Fot. 48. Manufaktura Vacheron Constantin, Plan-les-Ouates, Genewa (arch. Bernard Tschumi Architectes, 2001-03). Połączenie pionowych ścian z zakrzywioną powłoką płynnie przechodzącą z dachu w elewację. Przeszklenia od strony północnej doświetlają wnętrze, od południowej filtrują promieniowanie.

W realizacjach Zahy Hadid kontrolowane cyfrowo techniki produkcji elementów budowlanych umożliwiają proces formalnych wariacji. Charakte-

[210] SLESSOR C., Eco-Tech. *Sustainable...*, s. 8.
[211] URBAŃSKA M. A., *Eksperymentalna fabryka lekkości*, in: A&B 5/2002, s. 27.
[212] Szwajcarska firma z wielkimi tradycjami funkcjonuje nieprzerwanie od roku 1775.
[213] http://worldtempus.com/wt/1/7093b.a

rystyczna morfologia będąca kompleksową syntezą różnorodnych form, kierunków, materiałów zapewnia architekturze dynamizm i niepowtarzalność (fot. 49). Wg projektantki powstaje w rezultacie organiczna, zdolna do adaptacji architektura zbliżona do piękna żyjących organizmów.



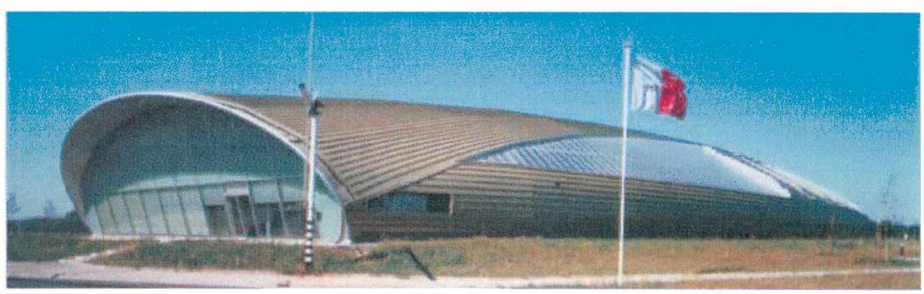
Fot. 49. Fabryka BMW, Lipsk (arch. Zaha Hadid, 2005). Do grona architektów poszukujących odpowiedniego połączenia funkcji i formy w architekturze przemysłowej dołączyła w ostatnich latach Zaha Hadid, o której mówi się, że zapomniała, iż istnieje zjawisko grawitacji. W fabryce BMW, która z założenia miała się wyróżniać spośród otaczającej zabudowy, projektantce udało się, jak sama twierdzi *„obrazowo przedstawić właściwości i charakter ruchu"*. Wysoka jakość architektoniczna odpowiada filozofii marki, która w sloganach reklamowych podkreśla jednocześnie rolę dynamizmu, szybkości i agresji.



Fot. 50. Spalarnia śmieci AviTwente – The Hulk, Hengelo (arch. Maurice Nio, 1993-97). Struktura budynku, a także jego detale zaprojektowano na podobieństwo insektów.

Niektóre budynki rzeczywiście zaczynają w pewnym sensie przypominać żywe organizmy - zarówno pod względem wizualnym jak i funkcjonalnym. *„Co zrobisz, gdy ktoś da ci zlecenie zaprojektowania budynku dla maszyn? Nie budynku dla ludzi i ich aktywności, ale fabryki, która zamienia śmieci w użyteczny produkt? (...) Jak wiele koszmarów, jak wiele książek i filmów opowiada o zawładnięciu świata przez maszyny?..."*[214] Takie pytania zadawał holenderski architekt Maurice Nio, gdy postawiono przed nim zadanie zaprojektowania spalarni avi-Twente. Zrealizowany przez niego budynek przywołuje na myśl insekta, metalicznego chrabąszcza żywiącego się odpadami (fot. 50). Inspiracją był charakter zachodzących we wnętrzu procesów, płynnie następujących po sobie transformacji analogicznych do trawienia[215].

Podobną koncepcję zrealizowano w zakładzie przetwarzania odpadów w Zenderen (fot. 51). Kas Oosterhuis schował wszystkie „brudne" funkcje budynku pod jedną powłoką, której kształt inspirowany był formą żyjącego organizmu. Stalowa struktura pokryta aluminiową, obłą skórą dobrze wpisuje się w krajobraz, wyglądając niczym wielki, pełzający stwór.



Fot. 51. Zakład przetwarzania odpadów, Zenderen (arch. Kas Oosterhuis, 1995). Koncepcję jednoprzestrzennej stalowej struktury pokrytej aluminiową skórą zrealizowano dzięki modelowaniu 3D. Niezwykle funkcjonalny i adaptacyjny obiekt odniósł duży sukces.

[214] SEREDYN A., *Mechaniczna pomarańcza*, in: A&B 11/2005, s. 47.
[215] NIO M., *The Quality of Dirt, the Poetry of Factories*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 113-114.

Pod względem estetyki eko-budynki nie są w sumie ani całkowicie wewnątrz, ani poza obowiązującym trendami w architekturze. Typowo dla przełomu wieku wykorzystywane są elementy z poprzedniej stylistyki, ale projektanci dążą też do opracowania nowych propozycji. Obok poszukiwania awangardowych form, nowatorskich materiałów i energooszczędnych struktur, przedmiotem rosnącego zainteresowania staje się w ostatnich latach eksploatacja odnawialnych źródeł energii (OZE)[216]. Wykorzystanie warunków naturalnego środowiska poprzez zaawansowane technologie energetyczne może mieć jednocześnie interesujące implikacje przestrzenne i estetyczne.

W budynkach firmy Tobias Grau (fot. 52, V/009) przy pomocy innowacyjnych rozwiązań dobrze wykorzystano promieniowanie słoneczne redukując zużycie energii elektrycznej. Naturalne światło dzienne penetruje głęboko do wnętrza przez szklane fasady. Tam, gdzie jest to potrzebne transparentną strukturę chronią od przegrzewania zaawansowane systemy wygiętych szklanych lameli, indywidualnie regulowane w zależności od kąta padania promieni. Od południa ze szklanymi fasadami zintegrowano nowoczesną instalację solarną. Częściowo transparentne moduły fotowoltaiczne generują zieloną energię elektryczną i regulują przepływ światła do wnętrza budynku.



Fot. 52. Tobias Grau, Rellingen (arch. BRT Architekten, 1998-2001). Rurowe w kształcie budynki pokryto nowoczesną aluminiowo-szklaną skórą zacierając granice pomiędzy elewacją a dachem.

W hiszpańskiej fabryce Isofotón (fot. 53, V/028) zrealizowanej wg zasad architektury bioklimatycznej w elewacjach pokazano możliwość zastosowania rozmaitych innowacyjnych rozwiązań powiązanych z systemami solarnymi tj. fotowoltaiki i kolektorów termalnych. Zastosowanie w jednym miejscu różnego rodzaju technologii pozwala na prowadzenie praktycznych doświadczeń na miejscu. Instalacje są cały czas monitorowane, dane analizowane dla celów B&R.



Fot. 53. Isofotón, Malaga (arch. J. Vega, F. Arribas, I. Eyras, 2005). W elewacjach zastosowano trzy rodzaje systemów fotowoltaicznych.

[216] BARANOWSKI A., *Projektowanie...*, s. 64.

Dzięki zaawansowanym technologiom współczesne elewacje budynków przemysłowych jako aktywne (reaktywne i interaktywne[217]) systemy wykonane z nowoczesnych materiałów mogą wchodzić w interakcję z użytkownikiem zarówno na poziomie estetycznym jak i funkcjonalnym[218]. Przystosowując się do dynamicznych zmian światła i pogody zmieniać się, regulować warunki termiczne, oświetlenie i komfort spełniając różne wymagania użytkownika. Jednocześnie, poprzez wykorzystanie źródeł natury, takich jak promieniowanie słoneczne, biorą istotny udział w ochronie środowiska.

Wg IEA idealnym budynkiem przyszłości będzie obiekt posiadający zaawansowaną, *inteligentną* powłokę. Jej komponenty takie jak zintegrowane ogniwa fotowoltaiczne, materiały selektywnie transmitujące energię światła i ciepła, itp., polegając na ultraefektywnych rozwiązaniach i nowoczesnych technologiach pozwolą optymalizować konsumpcję energii oraz generować ją na miejscu[219].

3.3.
MATERIAŁY INTELIGENTNE

„Myślę, że można połączyć teorię z tworzeniem architektury, która ma coś z magii. Trzeba tylko przemyśleć, czym jest fasada, czym jest wejście i jak stosować materiały." (Ben van Berkel)

Ewolucja elewacji we współczesnej architekturze prowadzi w kierunku kolejnej generacji zaawansowanej technologicznie powłoki/skóry – wielofunkcyjnej, elastycznej, zdolnej do fluktuacji i adaptacji. Tak kompleksowym wymaganiom nie sposób sprostać bez nieustannych inwencji i innowacji. W tej sytuacji logiczny wydaje się rozwój technologii materiałowych w kierunku bardziej selektywnych i wyspecjalizowanych produktów. Takich, których właściwości dostosować można do projektu, zamiast dopasowywać projekt do statycznych cech materiału. A więc idąc dalej, materiałów dynamicznych i zdolnych reagować na zmienne potrzeby[220].

Tego typu produkty są już dostępne w postaci zaawansowanych, inżynierskich materiałów zwanych *inteligentnymi*. Nauka i postęp w ciągu niecałych dwóch ostatnich dekad poszły tak bardzo naprzód, że dla architektów nie są już one wyłącznie futurystycznym marzeniem, ale rzeczywistością. Dziś projektanci mogą używać w praktyce tego, co do niedawna było zarezerwowane wyłącznie dla wojska czy NASA.

---

[217] Patrz rozdz. II/1.2.
[218] Takie rozwiązania nabrały szczególnego znaczenia pod względem ekonomicznym i ekologicznym w przypadku budynków przeszklonych.
[219] http://www.iea.org.
[220] ADDINGTON M., SCHODEK D., *Smart...*

Materiały *inteligentne*[221] charakteryzują się zmiennymi właściwościami. Pod wpływem bodźca zewnętrznego w sposób bezpośredni i odwracalny mogą zmieniać np. swój kolor, kształt, wielkość, temperaturę. W grupie nowoczesnych produktów znajdują się również materiały zdolne przekształcać w sposób bezpośredni energię z jednej formy do drugiej[222].

W obliczu aktualnych problemów ekologicznych zastosowanie tych ostatnich wydaje się szczególnie zasadne. Wielu naukowców i projektantów uważa, że zamiast ograniczać zużycie nieodnawialnych paliw dla stopniowego zmniejszania szkód dla środowiska, lepiej projektować budynki, które opierając się na odnawialnych źródłach energii wyprodukują swoją własną energię, nie emitując przy tym zanieczyszczeń do otoczenia. Za szczególnie istotne i dobrze rokujące na przyszłość uznaje się w tym przypadku technologie solarne. Wśród nich, jednym z rozwiązań, które można już praktycznie i skutecznie wykorzystać w procesie kształtowania powłoki budynku jest zastosowanie materiałów fotowoltaicznych. **Fotowoltaika to *„prawdziwie elegancka metoda"*[223] generowania energii elektrycznej na miejscu, bezpośrednio ze Słońca i bez szkody dla środowiska.**

[221] Zainteresowanie materiałami określanymi jako *inteligentne* rozpoczęło się w latach 80. XX wieku. Dekadę później nastąpił silny rozwój badań naukowych w tej dziedzinie. Pomimo licznych publikacji w specjalistycznych czasopismach, pojawienia się opracowań encyklopedycznych, jak do tej pory nie ma jednej, powszechnie zaakceptowanej definicji materiałów *inteligentnych*. Szczególne dyskusje wywołuje ustalenie odpowiedniej terminologii. W literaturze anglojęzycznej spotyka się zróżnicowane nazewnictwo – *intelligent materials, smart materials, adaptive materials czy multifunctional materials*. Często nazwy te stosowane są wymiennie, co prowadzi do wielu nieścisłości. Niektórzy wprowadzają rozróżnienie pomiędzy terminem *smart* i *intelligent* (w języku polskim nie ma jednoznacznych odpowiedników):

- Wg NASA materiał *smart „*zapamiętuje" konfiguracje i może dostosować się do nich pod wpływem określonego bodźca, np. odpowiadać na zmiany pola elektrycznego, ciepła, fal magnetycznych. (http://virtualskies.arc.nasa.gov/research/youDecide/smartMaterials.html).
- Dla Takagiego materiał *smart* ogranicza się do uzyskania efektu zmiany właściwości pod wpływem zewnętrznych bodźców w sposób przewidywalny i w czasie rzeczywistym (lub zbliżonym do rzeczywistego). Materiał inteligentny (*intelligent*) definiuje on jako zdolny do reakcji na bodźce zewnętrzne poprzez istotną zmianę swoich właściwości dla pożądanego i skutecznego odpowiedzenia na te bodźce. Taki materiał jednocześnie powinien spełniać funkcję sensora, procesora i urządzenia uruchamiającego, a jego właściwości muszą wykazywać cechy sprzężenia zwrotnego, przy czym wszystkie warunki muszą być spełnione jednocześnie. (WOJCIECHOWSKI S., *Materiały inteligentne. Stan zagadnienia 2003*, in: Inżynieria Materiałowa, nr 2/2004, s. 59-61).

[222] Wg klasyfikacji Addington i Schodek materiały inteligentne dla zastosowań architektonicznych można podzielić na dwie grupy: pierwszą stanowią materiały, w których bezpośrednio i odwracalnie zachodzą zmiany jednej lub większej liczby właściwości (np. materiały termochromowe, zapamiętujące kształt, itd.), do drugiej grupy należą te, które przekształcają energię z jednej formy w drugą (np. materiały piezoelektryczne, fotowoltaiczne, fotoluminescencyjne itd.). ADDINGTON M., SCHODEK D., *Smart...*

[223] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing with solar power. A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*, Images Publishing, Mulgrave, Earthscan, London, Sterling 2005.

III.
FOTOWOLTAIKA
- ELEKTRYCZNOŚĆ ZE SŁOŃCA

1.
PROBLEM ENERGII – W POSZUKIWANIU ALTERNATYWY

„XXI wiek - wiek odnawialnych energii, wiek Słońca. Miejmy nadzieję".
(TENESOL)

Bez wątpienia świat musi przejść znaczącą transformację w kwestii zaopatrzenia w energię, sposobów jej generowania i wykorzystania. Kończy się era taniej ropy, kurczą się zasoby wykorzystywanych na wielką skalę surowców naturalnych, spalanie paliw kopalnych degraduje środowisko. Dla kontynuacji ludzkiej działalności, w tym budownictwa, trzeba rozwinąć nowe opcje. Sytuacja wymaga m.in. reorientacji sposobu myślenia projektantów i planistów. *„Jeżeli XIX wiek był epoką węgla, a XX ropy naftowej, to XXI wiek będzie epoką Słońca"*[224]. Eksploatacja jego energii może być jedną z odpowiedzi na liczne problemy, jakim trzeba stawić czoła.

1.1.
EKSPLOATACJA ENERGII SŁOŃCA

„Pewnego dnia zaprzęgniemy do pracy przypływy i odpływy, uwięzimy promienie Słońca".
(Thomas Edison)

Wykorzystanie właściwości promieni słonecznych w architekturze (tzw. architektura solarna) uznawane jest obecnie za jeden z najlepszych sposobów na zastąpienie konwencjonalnych źródeł energii i rozwiązanie problemu energooszczędności. Architektura solarna jest również sztuką budowania w zgodzie i harmonii z naturą, dlatego stanowi tak ważny element silnie akcentowanych w XXI wieku tendencji proekologicznych.

Sam fakt wykorzystania Słońca jako elementu projektowania ma swoje źródła w historii sięgającej kilku tysięcy lat wstecz. Oczywiście inne były wówczas motywacje i sposoby takiego działania, niemniej jednak podstawy były niezmienne – „chwytano" promienie słoneczne dla ich ciepła i światła[225]. Z czasem, głównym celem stał się nowy element - zredukowanie potrzeb

[224] FORDHAM M. & PARTNERS (eds.), *Photovoltaics in Buildings - A Design Guide*, ETSU S/P2/00282/REP, 1999.

[225] Ludzie od wieków próbowali zrozumieć naturę Słońca. Wszechpotężną, życiodajną siłę czczono w wielu miejscach starożytnego świata, co znalazło odbicie w sposobie kształtowania ówczesnych miast i budowli. Egipskie piramidy - *„skamieniałe promienie Słońca"* - były jednym z bardziej spektakularnych symboli.
Ideę budynku chłodnego latem i ciepłego zimą wspominano w starożytnych traktatach. Pierwsza znana rada dla architektów w sprawie inżynierii solarnej pochodzi od greckiego historyka Xenophona (430-354 p.n.e.) – *„Powinniśmy budować wyższą południową stronę domów, żeby łapać zimowe słońce"*. SABADY P. R., *The Solar House. A guide to solar energy utilization in domestic, industrial and commercial building*, Newnes-Butterworths, London, Boston 1978, s. 14.

energetycznych budynku i ochrona naturalnego środowiska. Od tej pory szukano możliwości przekształcenia energii solarnej w najbardziej użyteczną dla budynku formę - wizjonerzy pisali futurystyczne prace, inżynierowie i naukowcy rozwijali sieć innowacyjnych technologii.

Co ciekawe, w historii technik solarnych przez cały czas następowały na zmianę charakterystyczne cykle wzlotów i upadków. Po okresach fascynacji potencjałem światła słonecznego powszechne zainteresowanie zanikało, wypierane innymi, zazwyczaj bardziej konwencjonalnymi rozwiązaniami[226].

W ostatnich latach zabiegi mające na celu ochronę naszej planety zwiększyły zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Współcześni naukowcy i projektanci ponownie zwrócili się więc w kierunku Słońca, dochodząc do wniosku, że wykorzystanie jego promieni jest nie tylko możliwe, praktyczne, ale i przyjazne dla środowiska, a także coraz bardziej opłacalne. W odpowiedzi na mnożące się nieustannie problemy ekologiczno-energetyczne wydaje się to całkiem oczywistą i słuszną reakcją. W XXI wieku wprowadzenie zaawansowanych technologii wspomagających wykorzystania energii solarnej jest logicznym krokiem w dalszym rozwoju i postępie cywilizacji. Różnorodność możliwości i technik stanowi o ich wysokiej atrakcyjności. Czy zatem energia Słońca stanie się powszechnie dostępnym i akceptowalnym źródłem energetycznym, czy też historia znów się powtórzy i technologie solarne zostaną wyparte po raz kolejny przez konwencjonalne, lub być może nieznane nam jeszcze rozwiązania? Jedynie czas pokaże, choć niektórzy przekonują, że w architekturze *„projektowanie z energią solarną stanie się normą przyszłości"* [227].

Dla potrzeb budynku energię solarną można wykorzystać bezpośrednio (systemy pasywne) lub w sposób pośredni (systemy aktywne) za pomocą specjalistycznej technologii[228]. Aktualnie projektanci najczęściej łączą oba systemy w celu optymalizacji ich efektywności.

Energię solarną można pozyskać znanymi i od wieków stosowanymi w architekturze metodami pasywnymi poprzez odpowiednie ustawienie powłoki względem Słońca, dobór jej struktury, kształtu, wielkości, nachylenia i materiałów, z jakich będzie wykonana. Odpowiednio zaprojektowana przegroda pozwala na penetrację promieni słonecznych i „łapie", magazynuje oraz dystrybuuje energię w postaci ciepła i światła dla wspomagania ogrzewania, naturalnej wentylacji i klimatyzacji, a także zapewnienia we wnętrzu budynku światła dziennego[229]. Jest to najprostsza i najtańsza metoda wykorzystania Słońca na potrzeby funkcjonalne obiektu.

---

[226] Patrz rozdz. III/2.
[227] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 10.
[228] Oba sposoby stosowane są we współczesnej architekturze industrialnej.
[229] Pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego odbywa się dzięki naturalnym zjawiskom wymiany ciepła i masy. Przy trudniejszych warunkach klimatycznych wykorzystanie energii może być wspomagane urządzeniami mechanicznymi np. wentylatorami, pompami ciepła.

W rozwiązaniach aktywnych zastosowanie specjalistycznych technologii i urządzeń technicznych umożliwia konwersję energii słonecznej do odpowiedniej, użytecznej dla budynku formy, tzn. energii cieplnej lub elektrycznej. Metod jest wiele[230], w obszarze działalności industrialnej można zawęzić podział do trzech podstawowych sposobów:

- Konwersja fototermiczna (energia cieplna);
- **Konwersja fotowoltaiczna (energia elektryczna);**
- Konwersja fototermoelektryczna (energia elektryczna).

Dotychczasowa praktyka w tej dziedzinie wraz z szybkim postępem i rozwojem wiedzy naukowej umożliwiły efektywną integrację technologii solarnej ze środowiskiem budowlanym. Rynek rozwija się dziś coraz szybciej i oferuje zarówno projektantom, jak i użytkownikom budynków całą gamę interesujących i stale ulepszanych rozwiązań. Do tej pory najbardziej powszechną w środowisku budowlanym technologią solarną były systemy konwersji światła słonecznego w ciepło, tzw. kolektory solarne. W ostatnich latach za obiecującą uznano technologię fotowoltaiczną.

1.2.
FOTOWOLTAIKA – ZIELONA ELEKTRYCZNOŚĆ

„Energia elektryczna jest wszechobecna w nieograniczonych ilościach i może zasilać maszynerię świata bez potrzeby węgla, gazu czy innych paliw." (Nikola Tesla)

Najbardziej powszechnym nośnikiem energii jest dziś elektryczność[231]. Wykorzystujemy ją do tak licznych celów, że bez niej trudno byłoby sobie wyobrazić dalsze funkcjonowanie współczesnej cywilizacji. *„Zbudowaliśmy sobie całkiem przyjemny świat, w którym na pstryknięcie staje się ciepło i jasno"*[232] - energia elektryczna uruchamia maszyny i urządzenia, zasila sprzęt komputerowy, umożliwia oświetlenie, ogrzewanie, chłodzenie i klimatyzację.

W budynkach przemysłowych, gdzie energię zużywa się w różnej postaci (termalnej, elektrycznej, mechanicznej), elektryczność stanowi znaczną część całkowitej konsumpcji. Mimo iż tak łatwa i wygodna w użyciu, jako pochodne źródło energii generowana jest pośrednio poprzez przetworzenie innego nośnika. Od czasów powszechnej industrializacji, węgiel pozostaje nadal podstawowym paliwem w produkcji energii elektrycznej, czego efek-

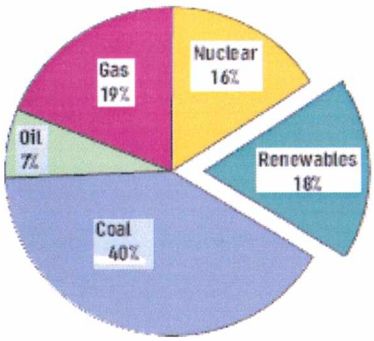
[230] Sposoby przetworzenia energii solarnej to m.in.: konwersja fotowoltaiczna, fototermoelektryczna, biologiczna, elektrochemiczna, fototermiczna, energia wykorzystana dzięki spadkowi wód, czerpana z oceanicznych gradientów temperatury, wiatru. Dokładna analiza w: JARZĘBSKI Z. M., *Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1990.

[231] W globalnym zużyciu energii od 1973 konsumpcja elektryczności osiągnęła największy wzrost. Związane jest to z coraz większą ilością urządzeń elektrycznych i mniej efektywnym zużyciem energii. Przyzwyczailiśmy się bowiem do niskich cen energii, łatwości użytkowania i przesyłania na odległość.

[232] http://www.gazetawyborcza.pl/1,75476,3331386.html.

tem jest aż 37 % emisji CO_2 przedostającego się do atmosfery[233]. Nie dość więc, że proces spalania paliw kopalnych wywiera negatywny wpływ na środowisko, a wskutek destrukcyjnej eksploatacji nieodnawialne surowce mogą być trudno dostępne dla przyszłych pokoleń, w efekcie działań polityczno-ekonomicznych rosną również ceny, oraz zależność od obcych rynków i problemy z zaopatrzeniem.

Nieustanny wzrost zapotrzebowania na energię i surowce oraz powiązana z tym degradacja środowiska sprawiły, że przejście do zrównoważonego systemu energetycznego stało się jednym z największych wyzwań XXI wieku. Potrzebujemy dużych ilości taniej, pewnej, bezpiecznej i czystej energii. Konwencjonalne rozwiązania nie spełniają tych wymagań - *„węgiel był pierwszym paliwem ery przemysłowej, ale jego czas już się kończy"*[234]. Ogromny potencjał leży natomiast w silnie faworyzowanych obecnie źródłach energii odnawialnych (OZE)[235].



Rys. 17. Procentowy udział źródeł energii w generacji energii elektrycznej. Węgiel – 40%, gaz – 19%, OZE – 18%, energia nuklearna – 16%, ropa – 7%. Dane: IEA (2003).

Tzw. zielona elektryczność[236] generowana na bazie biomasy, naturalnej energii Słońca lub wiatru jest energią czystą – emisja CO_2 w takim procesie produkcji jest bliska zeru. Przyjazność wobec środowiska połączona z bezpieczeństwem zaopatrzenia spowodowała, że promocja zielonej energii stała się jednym z priorytetów w procesie transformacji sektora energetycznego[237] i szeroko pojętych działaniach na rzecz ekorozwoju. Dysponujemy dziś szeregiem sprawdzonych i nieustannie ulepszanych technologii. Najbardziej powszechna obecnie metoda generowania zielonej elektryczności bazuje na energii wiatrowej. W dłuższej perspektywie większy potencjał oferuje **fotowoltaika**, przez licznych specjalistów uznawana za *„jedną z kluczowych technologii energetycznych tego wieku"*[238].

Fotowoltaika (ang. *photovoltaic*):

„photo" – z greckiego „światło"
„voltaic" – ogniwo, woltaż, elektryczność, od włoskiego naukowca Alessandro Volta, pioniera w dziedzinie badań elektryczności.

Fotowoltaika (PV) to innowacyjna technologia umożliwiająca bezpośrednią konwersję światła słonecznego w energię elektryczną. 30 lat temu w magazynie Science napisano: *"jeżeli istnieje technologia marzeń, jest nią fotowoltaika - ogniwa słoneczne... cudo epoki kosmosu i elektroniki, jednocześnie najbardziej wyszukana technologia solarna i najprostsze, najbardziej przyjazne środowisku źródło elektryczności dotychczas wymyślone"* [239].

[233] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Renewables...*
[234] *PowerSwitch! Od węgla do czystej energii. W kierunku sektora energetycznego wolnego od CO_2*, WWF International, Gland 2003.
[235] Udział OZE w bilansie energetycznym w porównaniu do dostępnego potencjału technologicznego jest wciąż zbyt mały ze względu na bariery ekonomiczne, polityczne, prawne, itd.
[236] Wg danych IEA (2003) udział OZE w generacji elektryczności wynosi ~18%. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Renewables...*
[237] Gwałtowny rozwój rynku i podpisanie protokołu z Kioto w 1997 sprawiły, że OZE weszły w nową fazę rozwoju przyśpieszając inwestowanie w technologie solarne. Wszystkie Państwa Członkowskie UE zobowiązały się do kontynuowania działań w kierunku rozwoju i zwieszenia udziału takich form energii, które nie powodują emisji gazów cieplarnianych, w tym m.in. „zielonej" energii elektrycznej. UE założyła ambitny cel zwiększenia udziału zielonej elektryczności w miksie energetycznym z 14 % do 21 % w roku 2010.
[238] EPIA Roadmap - http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/EPIAroadmap.PDF.
[239] HAMMOND A., *Photovoltaics: The Semiconductor Revolution Comes to Solar*, Science 197 (29 July 1977), za: PERLIN J., *From space...*, s. 13.

1.2.1.
ZASTOSOWANIE

Wachlarz zastosowań solarnej elektryczności jest bardzo duży i stale poszerzany. Fotowoltaika zasila wiele urządzeń powszechnego użytku, uruchamia telefony, systemy alarmowe, pompy wodne, sztuczne satelity a nawet pojazdy. Zapewnia światło i elektryczność w miejscach oddalonych od sieci energetycznej, pozbawionych możliwości dostawy prądu lub tam, gdzie byłoby to nieopłacalne. Na obszarach niezurbanizowanych, a także w krajach rozwijających się jest to doskonałe rozwiązanie, zresztą często jedyne możliwe. Zielona elektryczność może być też swobodnie wytwarzana i wykorzystywana wszędzie tam, gdzie wymagane są systemy ciche i czyste. Systemy podłączone do sieci mogą wspomagać energooszczędność budynków, lub zapewnić bezpieczeństwo dostawy elektryczności w razie awarii.

Fotowoltaika staje się także elementem strategii projektowania nowoczesnych eko-budynków. Wyraźny rozwój proekologicznych tendencji w architekturze ostatniej dekady zachęca projektantów, konstruktorów, producentów i naukowców do dalszego zwiększania efektywności energetycznej oraz rozwoju i praktycznego zastosowania nowoczesnych technologii. Technologie te wprowadzane w środowisko budynku (rozumianego w przypadku fabryki jako miejsce pracy i działalności gospodarczej) muszą być nie tylko efektywne i jak najmniej szkodliwe dla natury, ale dodatkowo też stymulować rozwój ekonomiczny i przyczyniać się do wzrostu komfortu użytkownika[240]. Wg Stevena J. Stronga, jednego z największych autorytetów w dziedzinie architektury solarnej, zamiast zużywać mniej nieodnawialnych paliw i tworzyć mniej zanieczyszczeń, budynki XXI wieku powinny opierać się na OZE i produkować własną energię. Jedną z opcji może być wykorzystanie technologii fotowoltaicznej.

1.2.2.
ZALETY I WADY

Dynamicznie rozwijająca się technologia fotowoltaiczna odznacza się licznymi zaletami. Główną zaletą jest samo źródło energii – światło słoneczne - darmowe, obfite, w skali ludzkiej niewyczerpywalne[241] i dostępne w każdym miejscu na Ziemi.

---

[240] *„Środki służące dalszej poprawie charakterystyki energetycznej budynków, powinny uwzględniać warunki klimatyczne i lokalne oraz wewnętrzne środowisko klimatyczne, a także opłacalność. Nie powinny one naruszać innych wymagań podstawowych dotyczących budynków, takich jak dostępność, ekonomia i zamierzone przeznaczenie budynku"* – Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

[241] Wg obliczeń astronomów z roku 1993 w każdej sekundzie 4 miliony ton masy Słońca przeobrażają się w energię, co oznacza, że proces ten nie zakończy się wcześniej niż za 6,3 miliarda lat. www.wiw.pl/astronomia/.

Proces generowania elektryczności jest pewny, całkowicie cichy i bezpieczny dla środowiska[242]. W zależności od potrzeb energię można produkować w skali od mikrowatów do megawatów. Korzystny jest również fakt, iż elektryczność może być wytwarzana bezpośrednio w miejscu użytkowania lub blisko odbiorcy. Taki sposób produkcji to wielki potencjał oszczędności pozwalający uniknąć znacznych strat typowych dla konwencjonalnych procesów elektroenergetycznych[243]. W kontekście przejścia w kierunku zrównoważonego systemu globalnej energetyki, fotowoltaika jako forma zdecentralizowana, może okazać się szczególnie istotna[244].

Proste w instalacji i łatwe w obsłudze systemy PV nie posiadają skomplikowanych, ruchomych elementów. Dzięki modularności i różnorodności rozwiązań technicznych mogą być instalowane w wielu miejscach – na gruncie, na obiekcie, a nawet jako integralny element konstrukcji budynku.

Najbardziej niekorzystne cechy fotowoltaiki jako źródła energetycznego związane są z wciąż wysokimi kosztami inwestycyjnymi oraz uzależnieniem od zmiennych warunków nasłonecznienia. Promieniowanie zmienia się w cyklu dobowym i sezonowym, nie zawsze też jest wystarczające dla generowania odpowiedniej ilości energii.

ZALETY TECHNOLOGII FOTOWOLTAICZNEJ	WADY TECHNOLOGII FOTOWOLTAICZNEJ
▪ Przyjazność wobec środowiska (brak szkodliwych emisji, zanieczyszczeń w trakcie funkcjonowania) ▪ Zróżnicowana skala systemów i możliwości rozwiązań w zależności od potrzeb ▪ Modularność systemu (dotyczy zarówno urządzeń jak i ilości generowanej energii) ▪ Różne możliwości instalacji ▪ Brak hałasu w trakcie funkcjonowania ▪ Brak ruchomych elementów ▪ Pozytywny wpływ na rozwój lokalny i regionalny, nowe miejsca pracy ▪ Prosta obsługa ▪ Pewna metoda zaopatrzenia w energię ▪ Koszty porównywalne do innych technologii OZE ▪ Brak strat związanych z transmisją i dystrybucją ▪ Bezpieczeństwo zaopatrzenia, niezależność od importu ▪ 20-30 lat trwałości elementów ▪ Wykorzystanie darmowego, niewyczerpalnego w skali ludzkiej źródła energii ▪ Brak paliwa i surowców podczas fazy użytkowania ▪ Krótki czas zwrotu energii ▪ Wartościowy nośnik energii ▪ Masowa produkcja elementów	▪ Duży koszt inwestycji ▪ Uzależnienie od promieniowania solarnego - źródło energii rozproszone i zmienne (cykle dzień/noc, zachmurzenia, cienie) ▪ Gorsza trwałość elementów dodatkowych, instalacji elektrycznej ▪ Ewentualne koszty magazynowania energii ▪ Generacja prądu stałego (DC) – przekształcenie w prąd przemienny (AC) wymaga falownika, (wzrost kosztów) ▪ Narażenie na wandalizm i zniszczenie komponentów systemu

Tab. 2. Podstawowe zalety i wady technologii PV.

[242] Fotowoltaika uznawana jest za najbardziej ekologiczną technologię OZE. Konwersja fotowoltaiczna zachodzi na poziomie elektronowym bez zmian chemicznych, dzięki czemu nie powoduje szkodliwych emisji, ani zanieczyszczeń. Choć sam proces jest czysty, pozostaje kwestia produkcji poszczególnych elementów systemu, oraz ich wykorzystanie na końcu cyklu życia. Dokładne omówienie zagadnienia w rozdz. IV/4.

[243] Straty energii, jakie mają miejsce podczas produkcji elektryczności metodą tradycyjną sięgają nawet 25-66%. Przekazywanie energii kablami do odbiorców wiąże się z dalszymi kosztami i stratami wytworzonej energii, poza tym w tradycyjnych elektrowniach scentralizowanych ciepło wytwarzane w procesie spalania paliw jest tracone. Cykl skojarzony jest efektywniejszy - w elektrociepłowniach sprawność sięga 80 %, a ciepło wykorzystuje się np. do ogrzewania budynków lub wody dla procesów przemysłowych.

[244] Dyrektywa 2003/54/WE zachęca państwa członkowskie UE do wspierania rozproszonej produkcji.

2.
EWOLUCJA TECHNOLOGII

„Zasadnicze elementy zjawiska najlepiej zrozumieć badając je od samego początku".
(Arystoteles)

W początkach XX wieku znano w zasadzie wszystkie możliwości konwersji promieniowania słonecznego, jednak mimo licznych osiągnięć technicznych eksploatacja energii Słońca nie została spopularyzowana równie silnie, co tradycyjne metody zaopatrzenia w energię bazujące na spalaniu paliw kopalnych. Dlatego też dziś wiele osób mylnie uważa technologię fotowoltaiczną za nowatorski produkt ostatnich lat, co prawda atrakcyjny i intrygujący, ale dla powszechnego zastosowania wciąż jeszcze bardziej futurystyczny niż realny. W rzeczywistości, choć wprowadzenie fotowoltaiki w środowisko architektoniczno-budowlane nastąpiło dopiero w latach 1970-80 XX wieku, możliwość bezpośredniej konwersji światła słonecznego w elektryczność, choć jeszcze nie do końca zrozumiała, znana była już z końcem dziewiętnastego stulecia.

Naturalne właściwości energii słonecznej próbowano przekształcać na różne sposoby już w czasach antycznych. Wraz z odpowiednią orientacją budynków w kierunku Słońca, zastosowaniem szkła jako kolektora ciepła, starożytni w wielu miejscach świata stosowali techniki koncentracji promieni na dany obiekt za pomocą krzywych luster na bazie złota, brązu czy miedzi.

Pracownik Akademii Platońskiej w Aleksandrii Euklides (~300 p.n.e.) opisał w swojej pracy teorię sferycznych reflektorów, którą uznać można za jedną z pierwszych wzmianek o technikach energii solarnej.

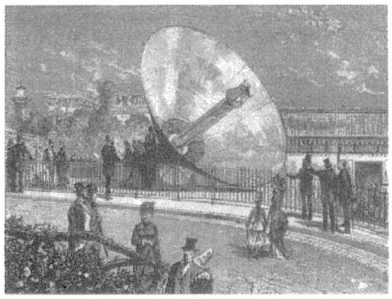
Archimedes (287-212 p.n.e.) opracował teorię i uzyskał wiele rezultatów praktycznych. Wg legendy użył luster skupiających promienie słoneczne do spalenia statków rzymskich w Syrakuzach.

Starożytni Rzymianie rozwinęli techniki solarne w obliczu kryzysu zasobów węgla drzewnego.

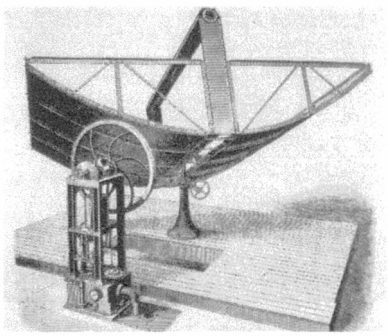
Tak jak w przypadku wielu wynalazków wiedza dotycząca wykorzystania energii solarnej zanikła w czasach średniowiecza, aby odnowić się dopiero w okresie fascynacji nauką w XVII wieku. Rozpoczęto wówczas szereg badań dotyczących akumulowania promieni słonecznych za pomocą materiałów szklanych, eksperymentowano z lustrami, opracowano bazę podstawowych zasad technicznych i geometrycznych. Poza sferą naukowo-badawczą w praktycznej eksploatacji energii solarnej nie uzyskano jednak specjalnych rezultatów. Z czasem, dostęp do tańszych surowców energetycznych stał się bardziej powszechny i zainteresowanie energią Słońca zmalało.

Gdy ponownie zwrócono się w kierunku technologii solarnych w wieku XIX, paradoksalnie miało to miejsce w czasach największej ekspansji Rewolucji Przemysłowej i obietnic niewyczerpywalnych zasobów paliw kopalnych. Bezprecedensowy postęp związany z zastąpieniem energii ludzi, zwierząt i sił natury energią mechaniczną, miał jak się okazało drugie oblicze.

Naukowcy zakwestionowali zasady ekonomii przemysłowej bazującej na nieodnawialnych źródłach energii, obawiając się kryzysu energetycznego



Rys. 18. Maszyna solarna zaprezentowana na Światowej Wystawie w Paryżu (Augustine Mouchot, 1878). Wg słów samego Mouchot: „(...) *pod Słońcem lekko zachmurzonym, lecz nadal świecącym, byłem zdolny podnieść ciśnienie w kotle do 6,2 atmosfer... I mimo pewnego paradoksu udało się wykorzystać promienie Słońca do wytworzenia lodu*". VÁZQUEZ ESPÍ M., *Una brevísima...*



Rys. 19. Maszyna solarna (John Ericsson). Szwedzki inżynier, który uważał, że jedynie rozwój energii solarnej może zapobiec generalnemu kryzysowi energii, szybko ostudził swój zapał: *„chociaż ciepło otrzymywane jest z niczego, urządzenie koncentrujące jest tak rozległe, kosztowne i kompleksowe, że jest zupełnie nieopłacalne w porównaniu do silników na węgiel"*. PERLIN J., *From space...*, s. 6.

spowodowanego ich wyczerpaniem[245]. Bazując na doświadczeniach poprzedników[246] rozpoczęli eksperymenty z wynalazkami prezentując z dużym zaangażowaniem zalety energii solarnej w porównaniu do tradycyjnych metod, co wynikało zarówno z ciekawości naukowej, jak i świadomości wagi problemu. Za pierwszy cel praktycznego wykorzystania energii solarnej uznali skonstruowanie urządzenia, które zastąpiłoby tradycyjne metody spalania węgla w maszynach parowych zasilających fabryki.

Podstawy dla współczesnych sposobów konwersji promieniowania solarnego w mechaniczną energię pary opracował Augustine Mouchot. Autor patentu na pierwszy motor solarny, pełen wiary w potencjał technologii solarnej po wielu obliczeniach i analizach zdał sobie sprawę z tego, że urządzenie zdolne do wyprodukowania wystarczającej ilości energii nie będzie opłacalne[247]. Jego wynalazki używane do różnych przemysłowych celów takich jak destylacja, drukowanie, nawadnianie, a nawet wytwarzanie lodu (rys. 18), wywołały żywą debatę – jedni przekonywali, że technologie solarne zapewnią możliwość produkcji nieograniczonej ilości energii bez specjalnych kosztów, inni uważali je za fanaberię i zabawę. Specjalna komisja powołana do zbadania tematu stwierdziła, że w klimacie umiarkowanym ilość energii promieniowania jest zbyt mała do zastosowań przemysłowych[248].

Ostatecznie próba komercjalizacji technologii solarnych jako alternatywy dla słynnej maszyny parowej nie powiodła się, ale kolejni pasjonaci kontynuowali eksperymenty (rys. 19). Frank Shuman, założyciel Sun Power Company, nie tracił nadziei - *„jednej rzeczy jestem pewien - rasa ludzka musi użyć energię solarną, albo wróci do czasów barbarzyństwa"*[249].

XIX wiek był jednocześnie okresem gwałtownego rozwoju badań zjawisk elektrycznych. Nową wiedzę szybko wykorzystano w praktyce – silnik

---

[245] Fizyk Rudolf Clausius pisał: „(...) *dzięki konwersji węgla w energię mechaniczną żyjemy w cudownych czasach... Ale generalnie w relacjach ekonomicznych podstawową zasadą jest, iż każdą rzecz można zużyć tylko wtedy, gdy w tym samym czasie może ona zostać od nowa wyprodukowana. Dlatego, jako materiału opałowego powinno się używać tylko taką jego ilość, która jest na nowo generowana poprzez wzrost drzew. W rzeczywistości zachowujemy się całkiem inaczej. Odkryliśmy, że pod ziemią znajduje się rezerwa węgla z czasów antycznych, utworzona z roślin składowanych w okresie tak długim, iż w porównaniu z tym czasy historyczne wydają się wyjątkowo krótkie. Niszczymy je teraz zachowując się jak szczęśliwi spadkobiercy konsumujący bogate dziedzictwo. Wydobywa się z ziemi wszystko, na co pozwala ludzka siła i możliwości techniczne i wykorzystuje tak, jakby było niewyczerpywalne. Pociągi, statki czy fabryki z maszynami parowymi wykorzystują tak zaskakującą ilość węgla, że patrząc w przyszłość nie jest wcale kaprysem zastanawiać się, co będzie, gdy zasoby węgla się skończą. Niektórzy podważają taką ewentualność mówiąc, że nie warto się tym przejmować, bowiem zanim wyczerpią się pokłady węgla kamiennego, od dawna będą już istniały nowe sposoby produkcji ciepła*". VÁZQUEZ ESPÍ M., *Una brevísima historia de la arquitectura solar*, in: Boletín CF+S 9/1999, Por una arquitectura y un urbanismo contemporáneos - http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html.

[246] Pierwsza techniczna literatura na temat praktycznej eksploatacji energii solarnej dotyczyła przemysłowego zastosowania ciepła słonecznego. Autor pionierskiego dzieła - Augustine Mouchot - w 1869 roku pisał: *„pomimo milczenia we współczesnych pismach, nie należy wierzyć, że wykorzystanie ciepła słonecznego do działań mechanicznych jest nowym pomysłem. Przeciwnie, trzeba przyznać, iż jest to bardzo dawna idea, która rozwijając się przez wieki dała początek rozmaitym, ciekawym urządzeniom"*. Ibid.

[247] Poza kwestią wydajności podstawowym problemem były zdecydowanie za duże gabaryty maszyn. Silnik solarny z Tours zajmował powierzchnię 6 x 6 m, a produkował tylko pół konia mocy. Dla silnika o mocy 100 koni mechanicznych trzeba by ustawić 200 maszyn w kilku rzędach i w odpowiedniej odległości, co wymagałoby powierzchni około 9300 m^2. Ibid.

[248] Mimo sukcesów technicznych pozbawiony wsparcia finansowego Mouchot skupił się wyłącznie na badaniach. SMITH C., *History of Solar Energy. Revisiting Solar Power's Past*, Technology Review 5/1995, s. 38-47, za: http://www.solarenergy.com/info_history.html.

[249] VÁZQUEZ ESPÍ M., *Una brevísima...*

elektryczny, prądnica, transformator, żarówka i inne wynalazki spowodowały rozwój nowych gałęzi techniki umożliwiając postęp w wielu dziedzinach. Dla przemysłu wprowadzenie nowego źródła energii w postaci elektryczności okazało się być jednym z najbardziej istotnych procesów innowacyjnych[250].

Podczas gdy rozwijano maszyny solarne wytwarzające energię cieplną, trwały próby generowania solarnej elektryczności. Pośrednie przekształcenie poprzez ciepło nie przynosiło oczekiwanych rezultatów, ale pojawiła się zupełnie nowa możliwość - konwersja bezpośrednia. Ewolucja technologii z wielu względów wyglądała jednak zupełnie inaczej niż historia solarnych maszyn termalnych. Początkowe odkrycia nastąpiły zupełnie przypadkowo i tym razem nie było żadnego odniesienia do już istniejących rozwiązań.

2.1.
ZJAWISKO FOTOELEKTRYCZNE

„Rzadko dochodzi się bezpośrednio do celu podczas genezy wynalazku. Najpierw jest cała seria bazowych doświadczeń podyktowanych ciekawością i przede wszystkim obserwacją niecodziennego zjawiska." (Michael Graetzel)

W 1839 francuski fizyk Alexandre Edmond Becquerel eksperymentując z metalowymi elektrodami zanurzonymi w elektrolicie zaobserwował, że wystawione na działanie światła słonecznego są one w stanie wytworzyć niewielkie dawki prądu elektrycznego.

W latach 70. XIX w. naukowcy skupili swoje zainteresowanie na doświadczeniach z materiałami stałymi. William Grylls Adams i Richard Evans Day - autorzy pierwszego ogniwa selenowego - nazwali prąd generowany pod wpływem działania światła ***fotoelektrycznym***[251].

Problem z powszechną akceptacją solarnej elektryczności okazał się większy niż dla maszyn solarnych produkujących energię cieplną. Przede wszystkim uznanie dla znaczenia efektu fotoelektrycznego było wówczas niewielkie nawet w sferze naukowej, ponieważ przez wiele lat, choć obserwowano pewne zjawiska, nikt nie był w stanie ich wyjaśnić[252]. Potencjał nowej technologii jako alternatywnego źródła energii był kwestionowany przez sporą część naukowców również ze względu na zbyt słabe osiągnięcia.

[250] Elektryfikacja linii produkcyjnej u Forda ~1920 r. zwiększyła produktywność doprowadzając do masowej produkcji. Wpłynęło to na formę zakładów przemysłowych pociągając za sobą nową koncepcję kształtowania ich elewacji.

[251] Charles Fritts skonstruował pierwszy moduł fotoelektryczny, który wg jego słów wytworzył prąd *„ciągły, stały i o znacznej sile... nie tylko podczas ekspozycji na światło słoneczne, ale również wskutek osłabionego, rozproszonego światła dziennego, a nawet i w świetle lampy"*. PERLIN J., *From space...*, s. 17.

[252] Zwykli ludzie urządzenia solarne uznawali wciąż za magiczne lub za *perpetuum mobile*. Gdy Mouchot prezentował swoją pierwszą maszynę solarną wyrażali wielkie zdziwienie: *„silnik funkcjonujący bez paliwa!"*. Technologia fotoelektryczna wydawała się tym bardziej niezwykła, iż urządzenia generujące prąd ani nie konsumowały paliwa, ani nie wytwarzały ciepła. Z kolei naukowcy, którzy uważali efekt fotoelektryczny za zjawisko o wielkim znaczeniu naukowym, nie wiedzieli czy prąd powstaje bezpośrednio pod wpływem promieniowania słonecznego, czy pośrednio wskutek zmian chemicznych w materiale.

Pierwsze ogniwa przekształcały w prąd elektryczny niewielką ilość promieniowania, niewystarczającą do uruchomienia jakiegokolwiek urządzenia.

Matematyk George Minchin uważał, że wyjaśnienie kwestii natury światła pozwoli rozwiązać problem tego zjawiska - *„być może działa ono po prostu jak transformator energii, którą odbiera ze Słońca, a materiał jedynie wykonuje ten proces pozostając bez modyfikacji?"*[253]. W 1905 jego teorię potwierdziła publikacja Alberta Einsteina[254], w której opisał on nieznane wcześniej właściwości światła, za co w 1921 otrzymał nagrodę Nobla.

Proces konwersji światła słonecznego w energię elektryczną nazywany przez XIX-wiecznych naukowców i eksperymentatorów zjawiskiem **fotoelektrycznym,** od roku 1920 określano już terminem **fotowoltaiczny**[255]. Zrozumienie natury światła umożliwiło pokonanie kolejnej bariery i choć upłynęło jeszcze trochę czasu zanim metoda konwersji światła słonecznego w elektryczność zastosowana została praktycznie, postęp w nauce zwiększył nadzieje i plany entuzjastów technologii. Dzięki ich zaangażowaniu jak przewidział już w 1931 Bruno Lange: *„w niedalekiej przyszłości wielkie zakłady zastosują tysiące takich płytek przekształcających światło słoneczne w energię elektryczną, które będą mogły konkurować z hydroelektrycznymi i parowymi generatorami do zasilania fabryk i oświetlenia domów"*[256].

2.2.
REWOLUCJA W TECHNOLOGII SOLARNEJ

„Dla mnie było to jasne, gdy zobaczyłem obie technologie [reflektory solarne i fotowoltaikę]. Zdałem sobie sprawę z tego, że fotoogniwa są czymś nowym, czymś specjalnym. Przekonałem się, że mamy do czynienia z rewolucją w generacji energii" (Marcus Real)

W pierwszej połowie XX wieku energię solarną można było teoretycznie wykorzystać w każdej formie wymaganej przez przemysł, ale w praktyce było to zbyt kosztowne, mało efektywne i zbyt skomplikowane. Gdy elektryczność stała się powszechnie wykorzystywanym źródłem energetycznym i z roku na rok rosła jej konsumpcja, silniej skupiono się na znalezieniu metody na efektywną i opłacalną konwersję promieniowania słonecznego[257].

---

[253] Ibid. s. 19.

[254] Od XVII wieku trwał spór o naturę światła. Wg teorii korpuskularnej Newtona światło było strumieniem cząstek, Huygens natomiast głosił teorię falową, według której światło polegało na ruchu rozchodzących się fal niosących energię. Dopiero wg teorii Einsteina opublikowanej w 1905 falowe i korpuskularne właściwości światła okazały się być ze sobą ściśle powiązane, co oznaczało, że światło ma dwoistą naturę.

[255] Ibid.

[256] Ibid. s. 20.

[257] Nadal próbowano generować elektryczność ze Słońca pośrednio poprzez energię cieplną. Jedną z testowanych opcji była wieża solarna wykorzystująca dobrze znane już metody koncentracji promieni za pomocą luster. Ponieważ wymagało to bardzo dużej powierzchni, możliwości zastosowania okazały się ograniczone do nasłonecznionych, rozległych i niezabudowanych obszarów takich jak pustynie.

2.2.1.
PIERWSZE PANELE FOTOWOLTAICZNE

„Żeby cos wynaleźć, wystarczy odrobina wyobraźni i sterta złomu". (Thomas Edison)

Naukowe zrozumienie zjawiska światła pociągnęło za sobą intensywne badania laboratoryjne. Pomimo pracy nad rozwojem technologii przez długi czas fotoogniwa pozostawały bezużyteczne – zbyt słabe, przetwarzały jedynie około 0,5 % promieniowania. Oczywiste było, iż *„ogniwo fotowoltaiczne nie będzie miało praktycznego zastosowania w inżynierii, dokąd jego sprawność nie wzrośnie przynajmniej 50 razy"*[258]. W gronie naukowym wiele osób wiązało z fotowoltaiką wielkie nadzieje. Urzeczywistniły się one dzięki badaniom prowadzonym w Bell Laboratories w latach 50. Gerald Pearson stworzył ogniwo krzemowe, które okazało się o wiele efektywniejsze od wszystkich, jakie do tej pory powstały.

W tym samym czasie Ameryka lansowała program *„Atoms for Peace"* promując konkurencyjną dla solarnej energię nuklearną, co pobudziło naukowców do zwiększonego wysiłku[259]. Wkrótce jedno z nowo wyprodukowanych przez trio Chapin, Fuller, Pearson fotoogniw osiągnęło sprawność 6 %. Tym samym stało się zdolne wytworzyć wystarczającą ilość energii do zasilenia zwykłego wyposażenia elektrycznego (fot. 55).

W kwietniu 1954 roku zorganizowano demonstrację nowego wynalazku o nazwie *„Bell Solar Battery"* (fot. 56). Panel, składający się z połączonych w serie fotoogniw, uruchomił na konferencji prasowej przekaźnik radiowy. Niewiele wynalazków w historii Bell Laboratories spowodowało tak silne zainteresowanie mediów i publiki. New York Times ogłosił na pierwszej stronie *„początek nowej ery, która doprowadzi ostatecznie do spełnienia jednego z największych ludzkich marzeń - wykorzystania nieograniczonej energii Słońca na potrzeby cywilizacji"*[260]. U.S. News & World Report spekulował, iż pewnego dnia krzemowe płytki *„będą mogły zapewnić więcej energii niż całe ziemskie zasoby węgla, ropy i uranu"*[261].

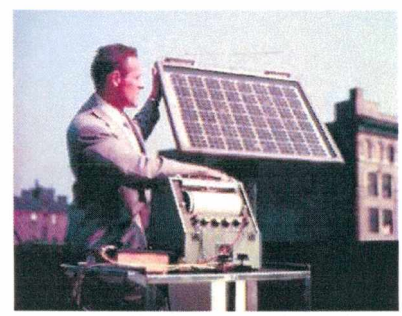
Tak jak w przypadku każdego wynalazku do pełnego sukcesu nie wystarczyło określenie możliwości teoretycznych i pokonanie barier technicznych. W następnym etapie konieczne było rozwiązanie kwestii ekonomicznych i socjalnych. Ogromne koszty przez długi czas stanowiły barierę nie do pokonania, z ceną zaś ściśle wiązało się praktyczne zastosowanie fotowoltaiki i jej akceptacja społeczna[262].



Fot. 54. Jan Czochralski (1885-1953) – odkrywca metody wzrostu monokryształu. Technika wynaleziona w roku 1916 znalazła zastosowanie dopiero w latach 50., gdy naukowcy z Bell Laboratories wykorzystali ją do wytworzenia kryształu krzemu. Tzw. „metoda Czochralskiego" polegająca na wyciąganiu monokryształu z fazy ciekłej po dziś dzień stosowana jest w procesie produkcji krzemowych płytek, z których wytwarzane są ogniwa fotowoltaiczne.



Fot. 55. Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller z Bell Telephone Laboratories (1954). Wynalazcy pierwszego skutecznego fotoogniwa krzemowego mierzą energię elektryczną wyprodukowaną przez jedno ze swoich urządzeń.



Fot. 56. *„Bell Solar Battery"* (1954).

[258] Ibid.
[259] PERLIN J., *The Silicon Solar Cell Turns 50*, National Renewable Energy Laboratory, BR-520-33947, 2004.
[260] Ibid.
[261] Ibid.
[262] Gdy komercyjna energia elektryczna kosztowała ~1-2 centów za kW/h, cena energii PV sięgała 144 $. PERLIN J., *From space...*, s. 38.



Something New Under the Sun. It's the Bell Solar Battery, made of thin discs of specially treated silicon, an ingredient of common sand. It converts the sun's rays directly into usable amounts of electricity. Simple and trouble-free. (The storage batteries beside the solar battery store up its electricity for night use.)

Bell System Solar Battery Converts Sun's Rays into Electricity!

Bell Telephone Laboratories invention has great possibilities for telephone service and for all mankind

Ever since Archimedes, men have been searching for the secret of the sun.

For it is known that the same kindly rays that help the flowers and the grains and the fruits to grow also send us almost limitless power. It is nearly as much every three days as in all known reserves of coal, oil and uranium.

If this energy could be put to use—there would be enough to turn every wheel and light every lamp that mankind would ever need.

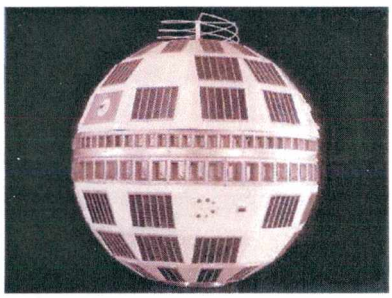
The dream of ages has been brought closer by the Bell System Solar Battery. It was invented at the Bell Telephone Laboratories after long research and first announced in 1954. Since then its efficiency has been doubled and its usefulness extended.

There's still much to be done before the battery's possibilities in telephony and for other uses are fully developed. But a good and pioneering start has been made.

The progress so far is like the opening of a door through which we can glimpse exciting new things for the future. Great benefits for telephone users and for all mankind may come from this forward step in putting the energy of the sun to practical use.

BELL TELEPHONE SYSTEM

Rys. 20. *„Coś nowego pod Słońcem"* - reklama Bell Solar Battery w Look Magazine (1956).



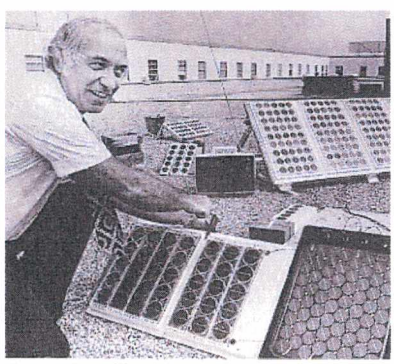
Fot. 57. Telstar I. W 1962 pierwszego telekomunikacyjnego satelitę zasiliło 3600 fotoogniw.

W celu popularyzacji i rozwoju technologii solarnych w 1954 założono stowarzyszenie Association for Applied Solar Energy. Na pierwszej konferencji zorganizowanej w Arizonie spotkali się zaangażowani w badania naukowcy, przedstawiciele przemysłu, finansów i edukacji, w komitecie zasiadł również słynny architekt Frank Lloyd Wright. Jednym z głównych celów było zainteresowanie prywatnego kapitału, zastanawiano się też nad możliwościami praktycznej aplikacji w budownictwie i przemyśle[263].

Pierwszą próbę wprowadzenia ogniw solarnych na rynek komercyjny podjęto z końcem lat 50. rozpoczynając kampanię reklamową promującą ich zastosowanie w małych przedmiotach powszechnego użytku typu radia i zabawki[264]. Niedługo potem, parafrazując słowa Perlina, technologia fotowoltaiczna została uratowana przez kosmos - armia USA uznała fotoogniwa za dobre źródło energii dla sztucznych satelit (fot. 57). Wg Hansa Zieglera wszelkie odkrycia, jakich dokonano w kosmosie bez fotowoltaiki byłyby zupełnie niemożliwe[265]. „Kosmiczny" sukces nie od razu przerodził się jednak w sukces na Ziemi. Co prawda wzrost zapotrzebowania na ogniwa wykorzystywane w eksploracji kosmosu znacznie przyczynił się do większej akceptacji i rozwoju rynku oraz technologii, jednak wysokie koszty długo pozostawały główną barierą.

2.2.2.
Z KOSMOSU NA ZIEMIĘ

„Inżynierowie śnią o elektrowniach z krzemowych płytek. Przyszłość - nieograniczoność". (U.S. News & World Report)



Fot. 58. Elliot Berman testuje panele PV wyprodukowane przez Solar Power Corporation dla ziemskich zastosowań.

We wprowadzenie fotowoltaiki na rynek zaangażowali się pasjonaci i optymiści zafascynowani potencjałem nowoczesnej technologii. Prowadzili badania nad nowymi materiałami oraz metodami produkcji, szukali nowych zastosowań i sposobów na obniżenie ceny (fot. 58). Po rozpoznaniu rynku i określeniu potrzeb potencjalnych odbiorców energii skupili się na wykorzystaniu fotowoltaiki w miejscach oddalonych od sieci lub pozbawionych możliwości podłączenia do niej. Tym razem jednak bliżej niż w przestrzeni kosmicznej - na obszarach wiejskich, w górach i w krajach rozwijających się.

Na większą skalę praktyczne ziemskie zastosowanie rozpoczęto od zasilenia w prąd elektryczny urządzeń nawigacyjnych, inne przeznaczenie fotoogniwa znalazły wkrótce w sektorze telekomunikacji, umożliwiając uruchomienie radia, telefonu i przekaźników w każdym w zasadzie miejscu na

---

[263] *Proceedings of the World Symposium on Applied Solar Energy*, Phoenix, Arizona, 1955, Stanford Research Institute 1956.

[264] Dziennikarz Reader's Digest stwierdził wówczas: *„widziane w świetle światowych potrzeb na energię te gadżety są tylko zabawkami, podobnie było jednak z pierwszym silnikiem parowym zbudowanym przez Michaela Faradaya ponad wiek temu, a spłodził on ostatecznie cały gigantyczny przemysł elektryczny".* PERLIN J., *From space...*, s. 38.

[265] Ibid. s. 46.

Ziemi. W krajach rozwijających się technologia solarna okazała się zbawienna dla tysięcy ludzi (fot. 59). Np. w Afryce, czyli paradoksalnie tam, gdzie Słońce najbardziej wysuszało ziemię, można było dzięki niemu dostarczyć wody i chłodzić lekarstwa.

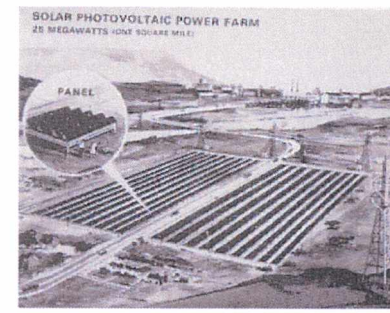
W latach 70. fotowoltaika okazała się dobrym źródłem energii dla urządzeń chroniących od korozji podziemne rurociągi naftowe i gazowe oraz urządzeń stosowanych do wykrywania złóż tradycyjnych paliw kopalnych. Ponieważ zbiegło się to w czasie z kryzysem paliwowym, wielkie koncerny (np. Shell, BP) zdały sobie sprawę z potencjału fotowoltaiki oraz tego, że pewnego dnia tradycyjne źródła energii zostaną przez nią zastąpione. Zainwestowały wówczas ogromne pieniądze w badania naukowe, dzięki czemu przemysł elektryczności słonecznej rozwinął się jak nigdy dotąd.

Uświadamiając powszechnie wagę problemu energetycznego, kryzys paliwowy stworzył doskonałe przedpole dla działań mających na celu dalsze propagowanie i upowszechnianie fotowoltaiki. Rozreklamowanie sukcesów pierwszych realizacji i pokazanie różnorodności zastosowań technologii wzbudziły zainteresowanie na większą skalę, w tym organizacji rządowych do tej pory ignorujących tego typu rozwiązania. W połowie lat 70. w USA, Japonii i Niemczech rozpoczęto pierwsze programy badawczo-rozwojowe i demonstracyjne[266] oraz przyznawanie funduszy na dalszy rozwój technologii.

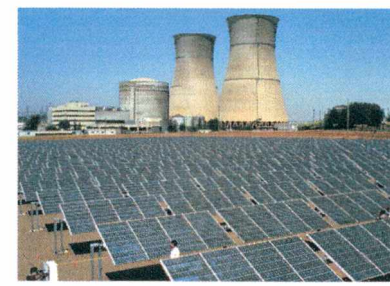
Początkowo, główną tendencją było faworyzowanie wielkich, scentralizowanych elektrowni PV produkujących energię na dużą skalę[267] (rys. 21). Po zbudowaniu kilku zakładów tego typu finansowanych przez rząd (fot. 60), rozwinęła się debata na temat optymalnego zastosowania i sytuowania paneli fotowoltaicznych. Zasugerowano wówczas, iż większą wagę należałoby przyłożyć do instalacji systemów autonomicznych – małych, indywidualnych generatorów energii wykorzystywanej na miejscu (szczególnie dotyczyło to paneli dachowych umieszczonych bezpośrednio na budynkach). W 1978 Shell Oil Company opublikowała publiczny raport, w którym napisano: *„wg naszej opinii rozproszona generacja energii [fotowoltaicznej] – w centrach handlowych, małych budynkach produkcyjnych, domach, kompleksach mieszkalnych – daje najlepsze możliwości wspierania [amerykańskiego] rosnącego zapotrzebowania na energię"*[268].



Fot. 59. System PV na mongolskiej jurcie. Panele fotowoltaiczne są najlepszym sposobem dostępu do energii elektrycznej w wielu oddalonych od sieci energetycznej miejscach świata.



Rys. 21. Wizja wielkiej, scentralizowanej farmy solarnej (1974).



Fot. 60. Rancho Seco, Kalifornia. Elektrownię nuklearną rozbrojono ze względu na zbyt wysokie koszty produkcji energii i zastąpiono efektywniejszą energetycznie metodą fotowoltaiczną.

[266] CRASSARD F., RODE J., *The evolution of building integrated photovoltaics (BIPV) in the German and French technological innovation systems for solar cells,* Master of Science Thesis, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, ESA Report 2007:16, Göteborg 2007, s. 22.

[267] Idea budowania tego rodzaju instalacji pojawiła się nawet jako pomysł na rozwiązanie problemu elektryfikacji w krajach rozwijających się. Faktycznie fotowoltaika była tam w zasadzie jedynym opłacalnym i pewnym źródłem energii, ale, jak zauważył Elliot Berman, nawet gdyby elektrownie wytwarzały energię za bezcen i tak większość użytkowników nie mogłaby z niej korzystać ze względu na koszt dostawy. Ibid. s. 143. Paradoks ten dotyczył zresztą większości miejsc oddalonych od sieci, również w krajach uprzemysłowionych. Sumaryczna cena inwestycji (budowa elektrowni wraz z siecią transmisyjną, stratami związanymi z przesyłem itd.) i ściśle z tym związana ostateczna cena energii, pozostawały na tyle wysokie, że nie było to z pewnością dobre rozwiązanie.

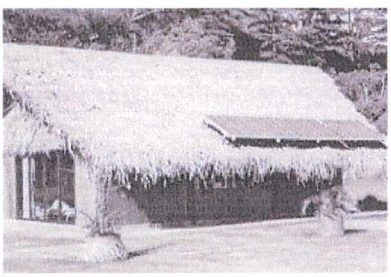
[268] PERLIN J., *From space...*, s. 147-148.

2.3.
FOTOWOLTAIKA W ARCHITEKTURZE

„To na budynku powinno się umieszczać fotowoltaikę." (Markus Real)



Rys. 22. Panele solarne na dachu budynku mieszkalnego oraz instalacja wolnostojąca - ilustracja z francuskiej encyklopedii z roku 1929.



Fot. 61. Autonomiczny, dachowy system PV (Polinezja). Połączenie tradycyjnego budownictwa z nowoczesną technologią solarną.

Gdy w XIX wieku Charles Fritts przewidywał, że systemy solarne będą stanowiły poważną konkurencję dla elektrowni spalających węgiel, miał wówczas na myśli systemy indywidualne, dzięki którym każdy budynek mógłby produkować własną elektryczność[269].

Autonomiczne systemy fotowoltaiczne dla budynków niepodłączonych do sieci zainicjowali dopiero w 1978 Francuzi przeprowadzający w Polinezji próby nuklearne. W ramach usprawiedliwienia, czy raczej odwrócenia uwagi postanowili *„dać mieszkańcom energię elektryczną, żeby byli zadowoleni"*[270]. Po przetestowaniu różnych możliwości, optymalną metodą dla rozrzuconych po oceanie wysp okazała się instalacja na dachach budynków indywidualnych modułów (fot. 61) generujących energię na potrzeby własne użytkowników. Dzięki działaniom informacyjno-badawczym i organizacji centrum szkoleniowego metoda rozpowszechniła się i odniosła sukces.

W wielu innych miejscach rozwijającego się świata indywidualne systemy solarne mogły rozwiązać problem elektryfikacji budynków niepodłączonych do sieci. Dachowe moduły PV pojawiły się w Afryce, w krajach azjatyckich i w Południowej Ameryce. Typowe moduły fotowoltaiczne, które zdominowały wówczas rynek charakteryzowały się niewielkim rozmiarem i mocą generowanej elektryczności. Montowane na dachach modularne panele (o mocy 12–25 W) wystarczały dla niewielkich potrzeb energetycznych. W wielu przypadkach koszty inwestycji i tak przekraczały możliwości finansowe potencjalnych użytkowników[271].

W krajach uprzemysłowionych w wyniku kryzysu paliwowego i rozwoju badań nad środowiskiem przełom lat 1970/80 stał się początkiem ewolucji świadomości ekologicznej. W środowisku architektoniczno-budowlanym pojawiły się koncepcje budynków solarnych i pierwsze próby wdrażania energooszczędnych rozwiązań. Warunki dla popularyzacji fotowoltaiki zarówno wśród „zwykłych ludzi" jak i zwolenników eko-budownictwa były idealne.

W początkach lat 80. szwajcarska firma Alpha Real zainicjowała bezprecedensowy program o nazwie Project Megawatt, który udowodnił dotychczasowym sceptykom zalety rozproszonego systemu generowania energii.

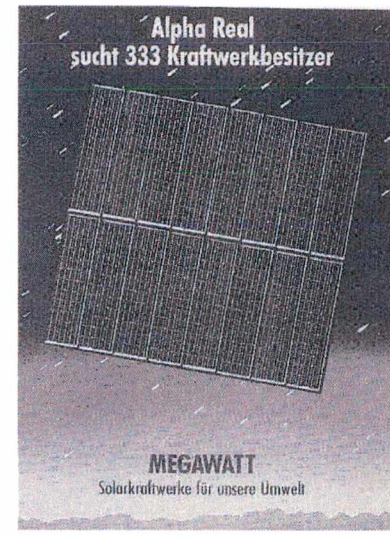
---

[269] Ibid.

[270] Ibid. s. 128.

[271] Poza kwestiami finansowymi istotnym powodem, dla którego upowszechnienie systemów fotowoltaicznych nie nastąpiło tak szybko, jak można by się spodziewać, był brak dostatecznej informacji na temat nieznanej jeszcze wśród społeczeństwa technologii. Dotyczyło to zarówno krajów najbiedniejszych jak i wysoko uprzemysłowionych, gdzie rządy propagowały systemy scentralizowane na wielką skalę, a większe firmy dystrybucyjne nie miały specjalnego interesu w zajmowaniu się działalnością propagandową, skoro i tak posiadały już cenne kontrakty na sprzedaż urządzeń PV dla telekomunikacji i nawigacji.

Na rozpowszechnione w mediach ogłoszenie o poszukiwaniu chętnych do instalacji fotowoltaicznych modułów dachowych (rys. 23) odpowiedziała znacznie większa ilość osób niż się spodziewano. Zaczęto zdawać sobie sprawę z tego, że każdy budynek może być producentem własnej energii. Za takim rozwiązaniem przemawiał dodatkowo istotny dla gęsto zurbanizowanych obszarów argument – indywidualne systemy dachowe eliminowały potrzebę dużej ilości kosztownego terenu. *„To ma sens, absolutny sens"*[272] przekonywał pomysłodawca pionierskiego projektu Marcus Real. Do koncepcji przekonał się nawet znany propagator budowy wielkich scentralizowanych elektrowni David Freeman[273], dzięki któremu wkrótce i w USA rozpoczęto innowacyjny program instalacji modułów PV na dachach budynków.



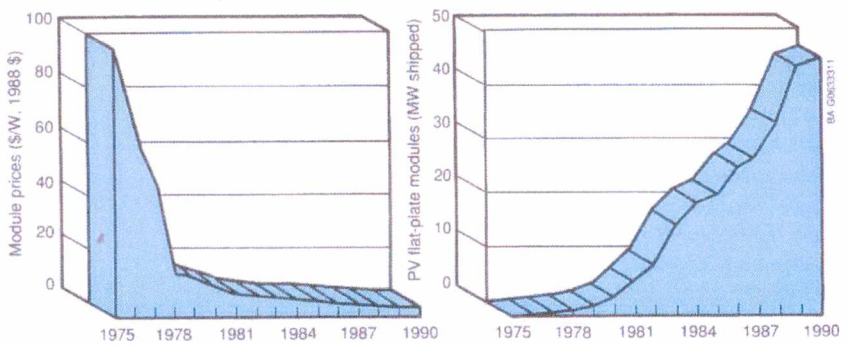
Rys. 23. Ogłoszenie reklamowe firmy Alpha Real.

Do zwolenników zastosowania fotowoltaiki na budynkach dołączyli architekci, m.in. Steven J. Strong z Solar Design Associates (SDA), dziś jeden z największych specjalistów od architektury solarnej. W następujący sposób opisał on wyższość indywidualnych, dachowych systemów nad scentralizowaną formą generowania energii w wielkich elektrowniach: *„musisz kupić teren, wykonać różne prace, wykopać wiele dziur, wylać masę betonu, wykopać rowy, zakopać przewody, zbudować fundamenty i struktury nośne, zakupić wielki inwertor do zmiany generowanego metodą fotowoltaiczną prądu stałego w prąd zmienny, zbudować budynek, w którym ten inwertor umieścisz, zakupić sprzęt łączeniowy, stację rozrządową i transformatory, a ponieważ twoja stacja jest zazwyczaj daleko od miejsca zamieszkanego przez ludzi musisz też wydać pieniądze na linie transmisyjne by dostarczyć prąd tam, gdzie potrzeba. Wydałeś ogromną ilość pieniędzy i musisz teraz kupić jeszcze zwykle fotoogniwo"*[274].

W niedługim czasie z nowego sposobu generowania energii korzystały rozmiate firmy usługowe zapewniając doskonałą reklamę technologii. Fotowoltaika zaczęła być postrzegana jako oznaka przyszłościowego myślenia, symbol nowoczesności i zdolności elastycznego zarządzania przedsiębiorstwem. Urządzenia PV sprzedawały się coraz lepiej, dzięki czemu ceny spadały, a przy okazji zyskiwano większe doświadczenie w praktycznym użytkowaniu systemów. W poszczególnych krajach Europy, a także w USA i Japonii realizowano programy *„dachów solarnych"*, czy *„szkół solarnych"* wspierane finansowo przez organizacje rządowe. O tym, że pionierska idea zaproponowana przez Reala została zaakceptowana, świadczą sukcesy kolejnych, coraz ambitniejszych programów tego typu. Podczas gdy w latach 90. projekty zakładały realizację tysiąca dachów solarnych, obecnie sięgnęły już miliona.

[272] Ibid. s. 150.
[273] David Freeman zasłynął z przeprowadzenia zamknięcia elektrowni nuklearnej Rancho Seco. Za jego kadencji obok dawnych wież chłodniczych zainstalowano system fotowoltaiczny o mocy 2 MW (fot. 60).
[274] Ibid.

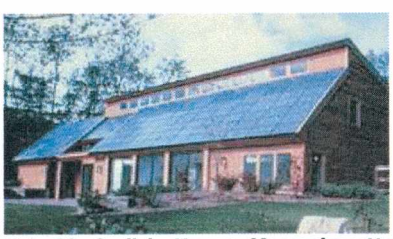
Rozpowszechnienie zastosowania fotowoltaiki w środowisku zurbanizowanym doprowadziło do zrewolucjonizowania systemu energetycznego poprzez wprowadzenie systemu kupna i sprzedaży elektryczności pomiędzy siecią a małymi producentami. W miejscach oddalonych od sieci generowana na budynkach energia elektryczna wykorzystywana była bezpośrednio na miejscu, a ewentualne nadwyżki w miarę możliwości magazynowano za pomocą odpowiednich urządzeń. Natomiast w przypadku obszarów zurbanizowanych gdzie budynki były podłączone do sieci energetycznej, zaistniała możliwość sprzedaży niewykorzystanej energii wygenerowanej w ciągu dnia, aby móc ją później eksploatować podczas nocy czy złej pogody. Początkowo relacje cenowe sprzedaż-kupno kształtowały się bardzo niekorzystnie dla indywidualnych producentów energii PV (elektryczność skupowano kilka razy taniej niż ją odsprzedawano). Pod wpływem silnych protestów sektor publiczny wkrótce ustąpił i w Niemczech, Szwajcarii i niektórych stanach USA ustalono równe koszty kupna i sprzedaży energii do sieci.



Rys. 24. Spadek cen i wzrost rynku modułów PV w latach 1975-1990. Dane: Sandia National Laboratories.

2.3.1.
INTEGRACJA Z BUDYNKIEM

„Instalacje powinny być lepiej zintegrowane z konstrukcją" (Marcus Real)



Fot. 62. Carlisle House, Massachusetts (1980). Pierwszy system PV zintegrowany z budynkiem. W obiekcie wykorzystywano wyłącznie energię elektryczną produkowaną na miejscu. Zastosowano w nim także system pasywnego ogrzewania i chłodzenia, oświetlenia dziennego, zintegrowane z dachem solarne kolektory termalne. Nadwyżkę wyprodukowanej energii eksportowano do lokalnej sieci.

W końcu lat 70. amerykański Departament Energii (DOE) rozpoczął w Massachusetts Institute of Technology (MIT) program mający na celu rozwój technologii PV, który objął projektowanie i demonstracje sposobów zastosowania fotowoltaiki w budownictwie. Analizie poddawano wiele rozwiązań, a trzy z prototypów zademonstrowano w trzech różnych miejscach kraju, dla przetestowania ich w odmiennych warunkach klimatycznych.

Firma projektowa Solar Design Associates (SDA), założona przez architekta Stevena Stronga, skupiła się na *„artystycznej integracji energii solarnej"*[275] w budynkach. Po skonstruowaniu prototypu dachu z pierwszym zintegrowanym systemem fotowoltaicznym MIT upoważniło SDA do realizacji efektywnej energetycznie rezydencji wykorzystującej nowoczesne rozwiązanie. Tak powstał w 1980 tzw. Carlisle House (fot. 62) - pierwszy budynek, w

[275] http://www.solardesign.com.

którym system PV stanowił zaplanowany element architektoniczny. W tym wypadku moduły PV zamocowano nad pokryciem dachu[276]. Trzy lata później Strong zrealizował Solar Electric House w Brooklinie, w którym całkowicie zastąpiono nimi konwencjonalne pokrycie dachu.

Pierwsze rozwiązania polegały na dodawaniu obramowanych modułów fotowoltaicznych do struktury budynku. Umieszczanie ich na specjalnych stojakach lub „półkach" powodowało podwojenie konstrukcji. Dodatkowo, odpowiednie umiejscowienie i zabezpieczenie dużej ilości okablowania było problematyczne. Wyeliminowanie duplikowania konstrukcji poprzez bezpośrednią integrację fotowoltaiki z dachem budynku oraz rozwinięcie poszczególnych komponentów systemu tak, by umożliwiały rutynowy montaż, było więc całkowicie logiczne. Sukces innowacyjnej instalacji pociągnął za sobą kolejne realizacje, wzbudzając zainteresowanie nowoczesną technologią.

Wg National Renewable Energy Laboratory (NREL) we wdrożenie nowatorskiej metody najbardziej zaangażowała się wówczas firma Solarex Corporation produkująca ogniwa solarne. W 1982 zainstalowała na własnym zakładzie produkcyjnym wytwarzane przez siebie moduły PV (fot. 63). Budynek fabryki o powierzchni 10 000 m^2 zaprojektowany został z uwzględnieniem bezpośredniej integracji modułów fotowoltaicznych na całej powierzchni południowego dachu, który nachylono w tym celu pod kątem 45 stopni. System o łącznej mocy 200 kWp pokrył powierzchnię 2600 m^2 zapewniając elektryczność dla zasilenia urządzeń w strefie produkcyjnej, oraz dla innych potrzeb użytkowników fabryki. Instalacja uznana za *„krok milowy w systemach zintegrowanych z budynkiem"*[277] funkcjonuje do dziś przyciągając rzesze zainteresowanych z całego świata[278].



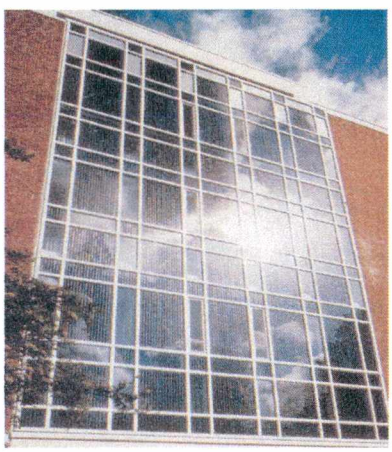
Fot. 63. BP Solar factory (dawny Solarex), Frederick, Maryland – pierwszy zakład przemysłowy zasilany energią fotowoltaiczną (arch. Kiss & Cathcart Architects, 1982). Dla zapewnienia ciągłości zasilenia energetycznego zastosowano duży system magazynujący w postaci baterii. Gdy są one całkowicie naładowane, nadwyżka wyprodukowanej energii dostarczana jest do sieci i może być wykorzystywana dla potrzeb pozostałej części kompleksu. Energooszczędność budynku uzyskano dzięki połączeniu systemu generowania własnej energii z bardzo dobrą izolacją termiczną obiektu oraz wykorzystaniem ciepła produkowanego w strefie produkcyjnej, które rozprowadzane jest do ogrzewania budynku zimą. Latem ciepło jest wyrzucane na zewnątrz. System BIPV składa się z 3120 modułów Solarex o mocy 64 Wp.

W czasach gdy projektowanie architektury solarnej zaczęło wzbudzać coraz większe zainteresowanie, możliwość integracji systemu fotowoltaicznego z budynkiem okazała się wyjątkowo obiecująca. Kwestia energooszczędności nie była w końcu jedynym aspektem branym pod uwagę przez architektów, a jak dotąd realizacje z systemami PV pozostawiały wiele do życzenia pod względem estetycznym. Nakładane na istniejące obiekty dość „toporne" w wyglądzie moduły wraz ze wspierającymi je strukturami i przewodami w pewnym sensie nadawały budynkom charakter zaawansowanej technologicznie maszyny. Wizualnie był to jednak efekt zupełnie przypadkowy, wypadkowa określonego rozwiązania technicznego. Systemy zintegrowane z budynkiem, które nazwano skrótem **BIPV**[279] (*ang.* ***Building Integrated Photovoltaics***) umożliwiły zupełnie inny sposób kształtowania

[276] STRONG S. J, *A new generation of solar electric architecture*, 2nd World Solar Electric Buildings Conference, Sydney 2000.
[277] STRONG S. J. (ed.), *Photovoltaics in the Built Environment. A design guide for architects and engineers*, US DOE/National Renewable Energy Laboratory, NTIS DOE/GO-10097-436, Golden 1997, s. 56.
[278] Ibid.
[279] Patrz rozdz. IV/1.

obiektów - projektanci zyskali kolejne możliwości, a architektura zaawansowanych technologii nowy *image*.

W Europie jednym z pierwszych propagatorów technologii BIPV był Joachim Benemann współpracujący z firmą Flachglas, która poszukując niszowych zastosowań dla fotowoltaiki weszła na rynek budowlanych materiałów szklanych. Wykorzystując do osadzenia ogniw solarnych transparentną żywicę stosowaną w szkleniach dźwiękoszczelnych, firma rozwinęła pierwszy „prawdziwy" materiał BIPV. Jak opisał to Benemann: *„ideą było, [iż] skoro szkło staje się tak bardzo zaawansowanym i innowacyjnym estetycznie materiałem budowlanym o wielu specjalistycznych właściwościach, takich jak odbijanie promieniowania słonecznego, izolacja cieplna, dźwiękowa i kuloodporna, to dlaczego nie miałoby być użyte jako skóra budynku produkująca równocześnie energię elektryczną? Stwierdziliśmy zatem – zamknijmy ogniwa w szkle i zróbmy to w estetyczny wizualnie sposób, aby sprostać wymaganiom architektów i zwiększyć zainteresowanie nową technologią."*[280]



Fot. 64. STAWAG, Aachen (arch. Georg Feinhals, 1991). Pierwsza na świecie fasada BIPV – ogniwa solarne zintegrowane ze szkłem izolacyjnym.

Wkrótce architekci przekonali się, że nowe szkło fotowoltaiczne jest komercyjnym produktem, który można użyć jak zwykły materiał budowlany[281]. W 1991 na południowej ścianie budynku w Aachen zrealizowano fasadową instalację BIPV[282] (fot. 64) – po raz pierwszy szklana ściana budynku zaczęła produkować energię. Na rynku fotowoltaiki otworzyły się nowe możliwości. Estetycznie zintegrowana z architekturą instalacja wywołała duże zainteresowanie[283], a dla przedsiębiorstwa reklamowa funkcja fasady stała się ważniejsza, niż ilość wygenerowanej przez nią energii[284].

Zastosowanie systemów BIPV w nowoczesnej powłoce budynku pozytywnie wpłynęło na kwestie ekonomiczne instalacji PV (przede wszystkim ze względu na brak dodatkowych elementów montażowych). Początkowo potencjalni klienci, zarówno projektanci, inwestorzy, jak i użytkownicy budynków byli jednak pełni obaw wobec nowatorskiej idei. Aby ich przekonać firmy oferowały im szkolenia[285] a także serwis w postaci usług projektowych, finansowego wsparcia, konserwacji systemu oraz ubezpieczenia[286].

Zaangażowanie w dalszy rozwój fotowoltaiki i jej wprowadzenie w środowisko budowlano-architektoniczne w początkach lat 90. XX wieku przyczyniły się do znacznego postępu i rosnącej akceptacji technologii na rynku komercyjnym. W wielu krajach rozpoczęto na dużą skalę badania i wdrażanie różnego rodzaju materiałów projektowanych specjalnie dla bezpośredniej integracji z budynkiem.

---

[280] PERLIN J., *From space...*, s. 157.
[281] Ibid.
[282] BENEMANN J., CHEHAB O., SCHAAR-GABRIEL E., *Building-integrated PV modules*, Solar Energy Materials & Solar Cells 67/2001, Elsevier 2001, s. 345.
[283] PERLIN J., *From space...*, s.159.
[284] CRASSARD F., RODE J., *The evolution...*, s. 36.
[285] Ibid.
[286] PERLIN J., *From space...*, s. 159.

Pierwsza linia produkcyjna modułów fotowoltaicznych wyspecjalizowanych dla bezpośredniej integracji z budynkiem (należąca do firmy Pilkington) rozpoczęła wytwarzanie materiałów BIPV w roku 1993[287].

W Stanach Zjednoczonych w 1992 Departament Energii (DOE) rozpoczął 5-letni program wspierający rozwój systemów BIPV. W jego ramach BP Solarex we współpracy z producentem ścian osłonowych Kawneer rozwinęła linię prefabrykowanych komponentów dla fasad i szklanych struktur o nazwie PowerWall™.

Wraz z dalszym rozwojem technologii, metody architektonicznej integracji fotowoltaiki silnie ewoluowały. W działalność B&R czynnie zaangażowali się architekci, jak amerykanie Kiss i Cathcart i inni. Nowe rozwiązania i materiały zaczęto opracowywać coraz bardziej z myślą o projektantach i użytkownikach budynków, dzięki czemu z czasem komercyjny asortyment produktów poszerzył się i udoskonalił, a ceny powoli zaczęły maleć.

W 1996 w Architectural Record stwierdzono, iż **fasadowe instalacje BIPV *„pomogły przełamać eksperymentalny charakter energii solarnej i stać się efektywną kosztowo, dodatkową opcją energetyczną, którą architekci powinni rutynowo brać pod uwagę."*** [288]

2.3.2.
AKTUALNE TRENDY

> *„Dwie dekady temu zastosowanie PV [fotowoltaiki] na Ziemi było czymś całkowicie nowym dla wszystkiego i wszystkich. Wówczas większość ludzi nie miała nawet pojęcia o tym, że istnieje coś takiego. Teraz przynajmniej jest znana ludziom nauki i inżynierii".*
> *(Bernard McNelis)*

Na przełomie XX/XXI wieku technologie umożliwiające bezpośrednią integrację fotowoltaiki ze skórą budynku uznano za szczególnie obiecujące dla dalszego rozwoju i upowszechnienia solarnej elektryczności. Trend ten jest coraz silniejszy i rynek materiałów **BIPV**, choć wciąż niszowy[289] silnie się rozwija[290].

Propagatorzy integracji technologii fotowoltaicznej z architekturą coraz silniej podkreślają liczne korzyści takiej aplikacji, przede wszystkim ekono-

[287] W ciągu 6 lat zdolność produkcyjna zwiększona została z 5000 m^2 do 50 000 m^2 rocznie. Jednocześnie wzrastała skala realizacji – pierwsze instalacje BIPV miały moc zaledwie kilku kW, obecnie wytwarzają już MW energii elektrycznej. BENEMANN J., CHEHAB O., SCHAAR-GABRIEL E., *Building-integrated...*, s. 345.

[288] Architectural Record 184/1996, za: PERLIN J., *From space...*, s. 160.

[289] BHARGAVA A., *Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Market Outlook 2008 and beyond*, Greentech Media, 2007 – http://www.greentechmedia.com/reports/research-report-intelligence-bipv.html.

[290] We Francji, dla stymulacji słabo rozwiniętego rynku fotowoltaiki w 2006 wprowadzono specjalne taryfy (w systemie skupu i sprzedaży energii PV) promujące systemy BIPV. Wg prawa, poza generowaniem energii elektrycznej muszą one spełniać funkcje techniczne lub architektoniczne istotne dla konstrukcji budynku (estetyka, fizyczna ochrona, regulacja termiczna, itp.). DGEMP, DIDEME, *Critères d'éligibilité des équipements de production d'électricité photovoltaïque pour le bénéfice de la prime d'intégration au bâti.* http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/pdf/. Więcej w: CRASSARD F., RODE J., *The evolution...*

miczne[291] i ekologiczne, popierając to akcjami demonstracyjnymi i marketingowymi. W ramach licznych programów B&R[292] specjaliści na całym świecie pracują nieustannie nad optymalizacją systemów, a architekci zaczynają odkrywać innowacyjną drogę wykorzystania energii solarnej w projektach[293].

Połączenie zaawansowanej technologii energetyki odnawialnej z technologią budowlano-konstrukcyjną staje się tematem coraz większego zainteresowania na polu aktualnej problematyki konserwacji energii i projektowania eko-budynków. Stymuluje to aktywność w różnych dziedzinach przemysłu i nauki, dzięki czemu na rynku pojawiły się w ostatnim czasie produkty, które jeszcze kilka lat temu pozostawały wyłącznie w sferze wyobrażeń.

Nowoczesne urządzenia fotowoltaiczne przestały być wyłącznie generatorem energii elektrycznej - teraz pod postacią coraz bardziej zróżnicowanych, zaawansowanych elementów stają się wielofunkcyjnymi, innowacyjnymi materiałami budowlanymi. W wielu wypadkach są w stanie efektywnie i bez problemu zastąpić konwencjonalne komponenty skóry budynku. Co jest szczególnie istotne dla współczesnej architektury i jej twórców to fakt, iż nowoczesne systemy BIPV wspomagające architekturę przyjazną dla środowiska oferują coraz większe możliwości dla kreowania nowej estetyki.

Przewiduje się, że sukcesywna integracja fotowoltaiki w środowisko budowlane przyczyni się znacząco do dalszego rozwoju technologii i pomoże redukować aktualne problemy i zagrożenia związane z wyczerpywaniem się zasobów naturalnych, brakiem energii oraz zanieczyszczeniem środowiska. W tym celu niezbędne są jednak aktywne, zakrojone na zdecydowanie większą skalę działania w środowisku specjalistów.

W dzisiejszych czasach dla gęsto zabudowanych obszarów Europy, Japonii czy USA, ze względu na problemy z dostępnością terenu dużej skali realizacje instalacji fotowoltaicznych możliwe są jedynie dzięki integracji z budynkami. Liczne programy dachów solarnych (w Japonii 70 000 +, w Europie i USA 1 000 000) ilustrują rosnące zainteresowanie technologią.

W ostatniej dekadzie zrealizowano wiele projektów wykorzystujących różnego rodzaju materiały BIPV. Także w architekturze industrialnej pojawia się coraz więcej instalacji tego typu. Są to najczęściej budynki nowo projektowane, prezentujące zarówno na dachach, jak i coraz częściej na fasadach

---

[291] Gdy energia generowana jest na miejscu nie ma strat związanych z transmisją i dystrybucją. Prawie wszystkie budynki podłączone są do sieci, dzięki czemu energia niewykorzystana może być sprzedana i użyta w innym miejscu. Integracja systemu PV z budynkiem pozwala uniknąć kosztów i materiałów związanych z koniecznością instalacji struktury wspierającej i orientującej dla modułów, w tym wypadku bowiem budynek sam stanowi platformę nośną. Szczególnie korzystne są rozwiązania pozwalające zastąpić konwencjonalne elementy budowlane – wielofunkcyjne materiały BIPV to znacząca oszczędność kosztów, materiałów i energii. Już w pierwszej połowie lat 90. architekci Kiss and Company Architects przeprowadzili badania, które pokazały, że koszty związane z instalacją systemu fotowoltaicznego znacznie maleją przy integracji generatora PV z budynkiem. KISS G., KINKEAD J., *Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-472-20339, Golden 1995, s. 1-2.

[292] Np. program IEA PVPS Task 7 przeprowadzony w latach 1997-2001 z udziałem specjalistów z 14 krajów z całego świata, w celu zwiększenia architektonicznej, technicznej i ekonomicznej jakości systemów PV w środowisku budowlanym oraz zniesienia nie technicznych barier dla ich użycia. http://www.task7.org/.

[293] SICK F., ERGE T. (eds.), *Photovoltaics in Buildings. A Design Handbook for Architects and Engineers*, International Energy Agency IEA, Paris 1996, s. 80.

najnowsze osiągnięcia w dziedzinie energetyki solarnej. Niejednokrotnie odbywa się to w ramach testowania wytwarzanych wewnątrz produktów, należy bowiem podkreślić, iż z roku na rok powstaje coraz więcej zakładów przemysłowych produkujących nowoczesne materiały i urządzenia do konwersji fotowoltaicznej.

W sektorze przemysłowym dla systemów solarnych w szczególności wykorzystywane są płaskie, rozległe powierzchnie dachowe, na których instalowane są nawet dziesiątki tysięcy modułów PV. Nieustannie odnotowywane są kolejne rekordy wielkości systemów – nowe realizacje takie jak np. w japońskim kompleksie industrialnym Sharp w Kameyama (V/027), Michelin Solarpark w Saarland[294] czy kampusie Google'a w USA (fot. 65) generują megawaty zielonej energii.



Fot. 65. Google Campus, Mountainview (2007). System fotowoltaiczny o mocy 1,6 MW składa się z 9212 paneli Sharp Solar. Instalacja pokrywa 1/3 zapotrzebowania na energię elektryczną w kampusie.

Choć jak dotąd wśród instalacji zintegrowanych z budynkiem przeważają systemy dachowe[295], **w ostatnich latach widoczna jest tendencja wzrostu ilości wertykalnych instalacji BIPV (tzn. systemów fasadowych) oraz ich powierzchni.**

Charakterystycznie dla obecnych czasów w wypadku wielu obiektów użyteczności publicznej, fotowoltaika jako nowoczesna technologia przyjazna środowisku może stanowić ważny element w kreowaniu odpowiedniego korporacyjnego *image* - zielonego przedsiębiorstwa idącego „z duchem czasu". Budynki z instalacją BIPV stają się symbolem, nie tylko samej firmy, ale i miasta[296], dlatego coraz większą uwagę przykłada się do ich wyglądu[297].

Sektor industrialny ze względu na swój specyficzny charakter i skalę oferuje szczególny potencjał dla instalacji solarnych. Jednocześnie dzięki innowacyjnym rozwiązaniom materiałowo-konstrukcyjnym i estetycznym w postaci systemów BIPV ta często niedoceniana czy wręcz niezauważana przez niektórych grupa budynków, jakimi są zakłady przemysłowe może zyskać zupełnie nowy, interesujący obraz i charakter. Powstałe realizacje[298] coraz częściej świadczą o tym, że zaawansowana technologia może być użyta w zupełnie nowy sposób z sukcesem przyczyniając się do kreowania zarówno nowej estetyki jak i realizacji założeń ekorozwoju poprzez nowoczesną architekturę przyjazną dla środowiska.

Fotowoltaika staje zatem na progu trzeciego tysiąclecia jako obiecujące i przyszłościowe źródło energii. Wg licznych przewidywań zintegrowane z budynkami fotoogniwa mogą być w niedalekiej przyszłości jednym z charakterystycznych elementów naszego krajobrazu.

---

[294] Dachowy system fotowoltaiczny o mocy 9 MWp składający się z 55 000 modułów pokrywa powierzchnię 200 000 m^2 (40 boisk do piłki nożnej). W ciągu roku instalacja PV pozwala uniknąć emisji 6750 ton CO_2. http://www.epuron.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-94/.

[295] BHARGAVA A., *Building...*

[296] Przykładem może być instalacja CIS na silosie zbożowym w niemieckim Ulm. Patrz V/024.

[297] HUG R., *Building integrated Photovoltaics (BIPV): Solar electric power systems conquer large roofs and façades*, http://www.solarserver.de/solarmagazin/index-e.html.

[298] Patrz rozdz. V.

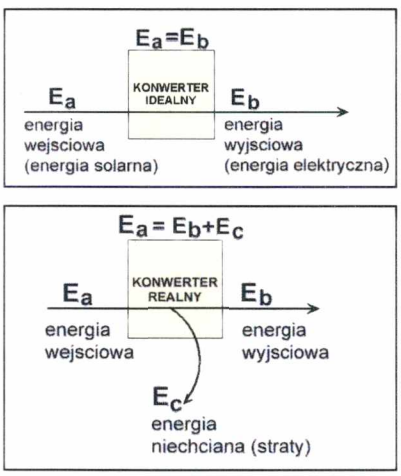
3.
SYSTEM FOTOWOLTAICZNY. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA

„Upewnij się, że znasz budowę wszystkiego, co chcesz przedstawić" (Leonardo Da Vinci)

3.1.
ZJAWISKO FOTOWOLTAICZNE

Wg definicji zjawisko fotowoltaiczne (inaczej efekt fotowoltaiczny) polega na powstaniu siły elektromotorycznej w ciele stałym pod wpływem promieniowania świetlnego[299]. Konwersja fotowoltaiczna jest procesem bezpośredniego przekształcenia energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną przy pomocy specjalnych materiałów półprzewodnikowych. Proces ten zachodzi na poziomie elektronowym[300], bez zmian chemicznych – dzięki temu jest bezpieczny dla środowiska.

Wg praw fizyki energii nie można wytworzyć z niczego, ani nie można jej zniszczyć. Zgodnie z zasadą zachowania energii[301] całkowita jej ilość wewnątrz zamkniętego układu jest stała, jeśli więc znika w jednej postaci, to musi pojawić się w innej. Chociaż każdą energię można przetworzyć w inną jej formę, nie ma jednak w 100% idealnego urządzenia konwertującego, które nie powodowałoby w trakcie procesu strat energetycznych. W przypadku technologii fotowoltaicznej energia solarna przechodzi transformację z jednej formy w drugą, czyli energię elektryczną. Jako produkt uboczny powstaje przy tym jednak zawsze pewna (nieporównywalnie mała) ilość dodatkowej energii w postaci ciepła[302] (rys. 25).



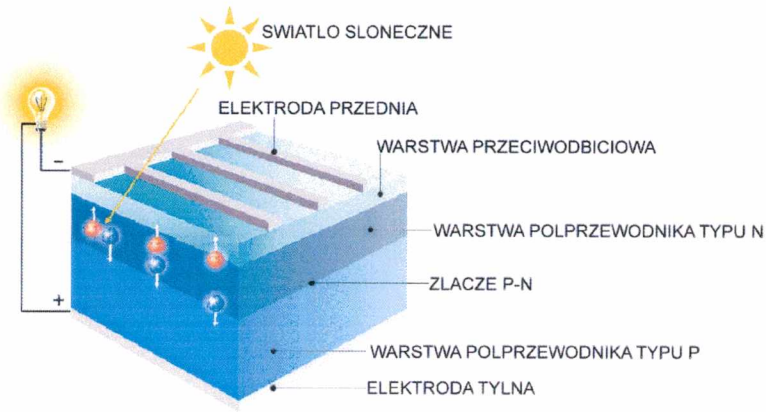
Rys. 25. Schemat porównawczy idealnego i rzeczywistego konwertera energii solarnej.

3.2.
ELEMENTY SKŁADOWE SYSTEMU

Podstawowym i najważniejszym elementem w technologii PV jest wystawione na światło słoneczne urządzenie zwane **ogniwem fotowoltaicznym** (inaczej **fotoogniwo, ogniwo słoneczne**), w którym przemieszczanie się ładunków elektrycznych powoduje pojawienie się napięcia[303]. Fotoogniwo składa się z naładowanych dodatnio i ujemnie warstw półprzewodnika

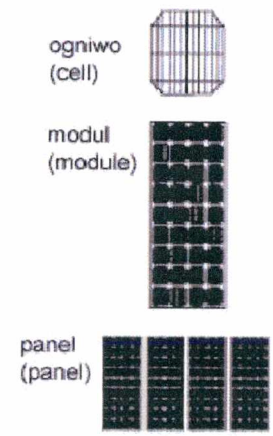
[299] Wg Encyklopedii PWN, http://encyklopedia.pwn.pl/lista.php?co=fotowoltaiczny.
[300] JARZĘBSKI Z. M., *Energia...*, s. 129.
[301] Wg pierwszej zasady termodynamiki.
[302] Energia cieplna jako produkt uboczny może być efektem niekorzystnym lub zostać odpowiednio wykorzystana w celach użytkowych, patrz rozdz. IV.
[303] Szczegóły patrz: JARZĘBSKI Z. M., *Energia...*

(minimum dwóch), złącza p-n, elektrody kontaktowej przedniej i tylnej oraz warstwy przeciwodbiciowej (rys. 26). Całość jest hermetycznie zamknięta w kapsule chroniącej przed uszkodzeniem i korozją.



Rys. 26. Schemat budowy ogniwa fotowoltaicznego.

Pojedyncze ogniwa wytwarzają prąd o niskim napięciu, zdecydowanie zbyt małym dla zastosowań w budynkach. Żeby uzyskać większą moc energii, analogicznie do baterii ogniwa łączy się szeregowo w większe struktury (ciągi ogniw), a następnie równolegle w większe układy[304]. W celu ochrony przed uszkodzeniem mechanicznym, korozją i warunkami atmosferycznymi ogniwa wmontowywane są następnie pomiędzy dwie warstwy materiału ochronnego. W formie hermetycznej kapsuły, określane mianem **modułu fotowoltaicznego**, stanowią bazowy element systemu PV dla zastosowań budowlanych[305].



Rys. 27. Modularna budowa systemu fotowoltaicznego. Ta wielka zaleta pozwala min. pokryć szeroki zakres mocy i wielkości systemu PV.

Moduły połączone ze sobą (także równolegle i/lub szeregowo) w większą ilość tworzą tzw. **panele fotowoltaiczne**. Wraz z dodatkowymi elementami w postaci struktur mocujących oraz komponentów dla transportu i konwersji energii elektrycznej (zwanymi z ang. *Balance of System - BOS)* tworzą one kompletny **system fotowoltaiczny** (generator PV). Do elementów dodatkowych (BOS) zaliczają się:

- Elektryczne skrzynki przyłączowe;
- Okablowanie stałoprądowe (DC) – ogniwa solarne generują prąd stały (DC), który falownik przekształca w prąd zmienny (AC);
- Falowniki (inaczej inwertory, konwertery prądu) – zmieniają napięcie stałe na zmienne. Systemy podłączone do sieci poprzez falownik dostarczają elektryczność do sieci energetycznej;
- Okablowanie zmiennoprądowe (AC) – poprowadzone do instalacji elektrycznej użytkownika;
- Regulator napięcia – dostosowuje napięcie systemu PV do wymagań zasilanego obciążenia.

[304] W celu uzyskania energii o odpowiedniej (większej) mocy ogniwa łączy się w większe struktury: szeregowo (w pasmach ogniw wzrasta napięcie, natężenie prądu pozostaje stałe), równolegle (przy stałym napięciu wzrasta natężenie prądu). W praktyce polega to na równoległym połączeniu kilku szeregów (pasów) ogniw.

[305] Patrz rozdz. IV.

W zależności od typu systemu fotowoltaicznego[306] mogą to być także:

- Akumulatory (baterie) – zapewniają najprostszy sposób magazynowania energii. Naładowany akumulator dostarcza energii do obciążenia, gdy nie ma Słońca (nocą lub gdy warunki atmosferyczne są niesprzyjające);
- Regulatory ładowania akumulatora – chronią akumulator przed przeładowaniem lub zbyt szybkim i głębokim rozładowaniem;
- Struktury wspierające, orientujące na Słońce.

Licznik elektryczny nie stanowi elementu BOS, ponieważ jest komponentem każdego budynku podłączonego do sieci[307].

3.3. PODSTAWOWE CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA PRODUKCJĘ ENERGII

Podstawowe czynniki wywierające wpływ na produkcję energii elektrycznej przez system fotowoltaiczny to:

- Charakterystyka elektrotechniczna urządzeń służących do konwersji światła słonecznego;
- Właściwości promieniowania solarnego[308] odbieranego przez powierzchnię recepcyjną;
- Temperatura.

3.3.1. SIŁA NAPROMIENIOWANIA

Wraz ze wzrostem napromieniowania rośnie natężenie[309] prądu (napięcie pozostaje bez zmian). Moc jest ilorazem napięcia i natężenia:

$$\mathbf{P}\ [W] = \mathbf{I}\ [A] * \mathbf{U}\ [V]$$

Zatem dla maksymalizacji ilości wygenerowanej energii należy optymalizować zyski z energii solarnej[310].

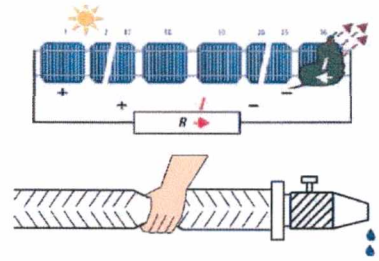
3.3.2. ZACIENIENIE POWIERZCHNI AKTYWNEJ

Zacienienie ogniw może istotnie wpłynąć na redukcję produkowanej energii. Problem jest o tyle ważny, że nawet częściowe, niewielkie zacienienie powierzchni aktywnej może skutkować dużymi stratami w całym powią-

[306] Patrz aneks 2.
[307] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 26.
[308] Patrz aneks 4.
[309] Natężenie wzrasta liniowo wraz ze wzrostem napromieniowania i wielkością ogniwa.
[310] Patrz rozdz. IV/1.3.1.

zanym układzie[311]. Spadek generowanej mocy jest nieproporcjonalny do zacienionej powierzchni[312], tzn. o wiele większy niż by się wydawało i w efekcie może nawet doprowadzić do uszkodzenia elementów (rys. 28).

Dla zabezpieczenia układu przed niekorzystnymi skutkami stosowane są diody blokujące i bocznikujące (ang. *bypass diode*), które uniemożliwiają przepływ dużych prądów przez zacienione elementy[313].

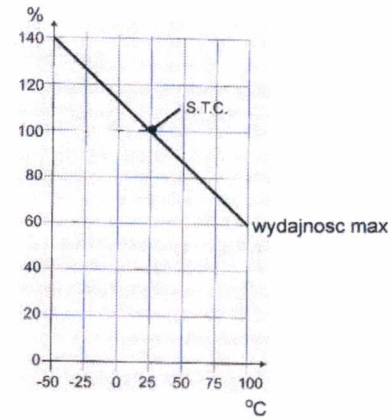


Rys. 28. Wpływ zacienienia na generację energii PV. Nawet niewielkie zacienienie powoduje znaczną redukcję generowanej energii.

3.3.3. WPŁYW TEMPERATURY

W warunkach dobrego nasłonecznienia temperatura powietrza przekracza niejednokrotnie +25°C[314], a podczas procesu konwersji fotowoltaicznej ogniwa nagrzewają się. W rezultacie temperatura pola modułu może być bardzo wysoka[315].

Sprawność[316] fotoogniw jest funkcją odwrotną temperatury – wzrost temperatury powietrza i ogniw prowadzi do spadku napięcia, czyli w efekcie maleje jednocześnie prąd[317].



Rys. 29. Wpływ temperatury na wydajność modułu PV.

[311] Patrz rozdz.. IV/1.3.1.
[312] Co wynika m.in. z szeregowego połączenia ogniw – ogniwo z minimalnym napromieniowaniem determinuje prąd całego szeregu. SICK F., ERGE T. (eds.), *Photovoltaics...*, s. 27.
[313] GRĄDZKI M., KOZŁOWSKI A., *Kontrola procesu wytwarzania energii i jej jakość w systemach dołączonych do sieci, falowniki*, materiały szkoleniowe SOLTRAIN. Więcej na temat w: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle*, Müller, Köln 2002, s. 26-29.
[314] Parametry modułów PV optymalizowane są dla warunków standardowych STC, które zakładają temperaturę +25°C. Patrz aneks 3.
[315] Energia cieplna jest produktem ubocznym konwersji PV. Więcej w rozdz. IV/3.4.
[316] Patrz aneks 3.
[317] ~0,4 - 0,5 % na 1K.

4.
TECHNOLOGIE PV DLA BUDYNKU

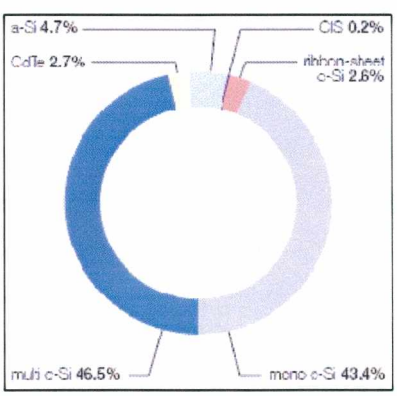
Określenie potencjału, a także perspektyw wykorzystania fotowoltaiki w architekturze przemysłowej wymaga identyfikacji oraz charakterystyki aktualnie dostępnych i rozwijanych technologii. Na komercyjnym rynku z roku na rok asortyment produktów jest coraz większy i stale optymalizowany, co zapewnia projektantom możliwość wyboru różnorodnych rozwiązań.

W procesie kształtowania nowoczesnych budynków podjęcie odpowiedniej decyzji projektowej jest podyktowane wieloma względami – w dużej mierze formalnymi, ale także funkcjonalno-użytkowymi, technicznymi, ekonomicznymi i wieloma innymi związanymi bezpośrednio z charakterystyką konkretnego przypadku. Aby dokonać oceny i wyboru odpowiednich środków i metod, a w efekcie osiągnąć satysfakcjonujący rezultat, architekci muszą posiadać przynajmniej podstawową wiedzę na temat poszczególnych technologii, ich użyteczności i wpływu na architekturę.

4.1.
OGNIWA FOTOWOLTAICZNE

W przypadku wyboru ogniw solarnych (stanowiących podstawowy element systemu fotowoltaicznego) projektanci mają do dyspozycji różnorodne technologie materiałowe, kształty, kolory i wymiary.

4.1.1.
MATERIAŁY I STRUKTURA



Rys. 30. Procentowy udział poszczególnych technologii materiałowych na rynku PV. Dane na rok 2006, na podst. PHOTON 2007/03.

Ogniwa solarne można sklasyfikować m.in. w zależności od struktury i materiału wyjściowego. Wśród komercyjnie dostępnych, obecnie stosowanych w budownictwie produktów zasadniczo rozróżnia się dwie kategorie ogniw: krystaliczne oraz cienkowarstwowe.

Najczęściej wykorzystywanym w produkcji ogniw materiałem jest krzem w postaci krystalicznej (c-Si) lub amorficznej (a-Si). Inne ogniwa produkowane są głównie na bazie materiałów takich jak: selenek indowo-miedziowy (CIS) oraz tellurek kadmu (CdTe). Z najnowszych osiągnięć należy wymienić m.in. rozwijane w ostatnich latach technologie materiałów nanokrystalicznych.

KRZEM KRYSTALICZNY (c-Si)

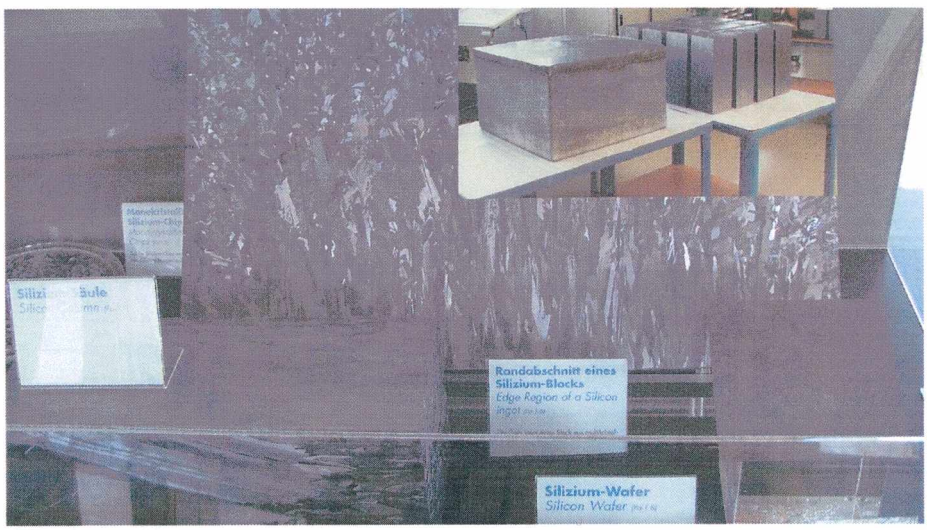
Krystaliczne ogniwa krzemowe należą do ogniw pierwszej generacji. Rozwijana od kilku dekad technologia zdecydowanie dominuje zajmując na rynku fotowoltaiki ~90% (rys. 30). Ogniwa cechują się najwyższą ze wszystkich sprawnością i dużą stabilnością pracy. Wadą materiałów krystalicznych jest duża wrażliwość na wysokie temperatury oraz zacienienie, które powodują znaczne pogorszenie parametrów sprawnościowych.

W zależności od metody krystalizacji i zawartości zanieczyszczeń ogniwa z krzemu krystalicznego można podzielić na:

- monokrystaliczne (m-Si),
- polikrystaliczne (p-Si).

Monokrystaliczne ogniwa krzemowe (m-Si) stanowią ~40% ogólnej produkcji ogniw fotowoltaicznych. Wykonane są z czystego, pojedynczego kryształu o ciągłej strukturze sieci krystalicznej. Ich zaletą jest wysoka sprawność wynosząca w przypadku masowej produkcji 16-19%, w warunkach laboratoryjnych sięgająca 24 %[318]. Wadą jest dość skomplikowany i kosztowny proces wytwarzania.

Polikrystaliczne materiały (p-Si) składają się z wielu różnie zorientowanych kryształów zwanych ziarnami. Ze względu na mniej skomplikowany i tańszy proces produkcji koszt takich ogniw jest niższy od monokrystalicznych. Większa ilość defektów strukturalnych powoduje jednak niższą sprawność ~14-15 %. Mimo tego materiały polikrystaliczne są najbardziej powszechne na rynku stanowiąc ponad 50% ogólnej produkcji ogniw.



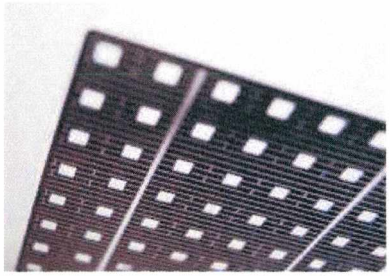
Fot. 66. Elementy pośrednie w procesie produkcji ogniwa krzemowego (p-Si). U dołu z lewej: blok krzemowy, z prawej: płytka krzemowa.



Fot. 67. Etapy produkcji krzemowego ogniwa (p-Si). Dla zwiększenia zysków z promieniowania słonecznego każda płytka pokrywana jest warstwą antyrefleksyjną, następnie nakładane są niezbędne dla przewodzenia prądu metalowe elektrody kontaktowe (przednia i tylna). Od lewej: płytka bez warstwy antyrefleksyjnej, z warstwą antyrefleksyjną, końcowy produkt - ogniwo z elektrodami.

[318] *Solar Generation IV- 2007. Solar electricity for over one billion people and two million jobs by* 2020, Greenpeace and EPIA 2007.

Metody wytwarzania ogniw krzemowych są nieustannie optymalizowane. Konieczność użycia w wieloetapowym, wysokoenergetycznym procesie produkcji znacznych ilości drogiego materiału[319] wraz z pewnymi ograniczeniami w jego dostawie[320] są głównym powodem, dla którego ceny tych skądinąd najbardziej powszechnych ogniw pozostają wciąż zbyt wysokie. Na pewne ograniczenie ilości materiału półprzewodnikowego, a co za tym idzie kosztów produkcji pozwalają m.in. różne sposoby otrzymywania taśm krzemowych bezpośrednio z fazy ciekłej (technologia **EFG** - *edge defined growth*)[321]. Mniejsze zużycie materiału wiąże się jednak z pogorszeniem sprawności i stabilności takich ogniw.



Fot. 68. Perforowane ogniwo z krzemu krystalicznego, prod. Sunways AG.

Obok konwencjonalnych ogniw krystalicznych na rynku dostępne są też innowacyjne warianty. Dla zastosowań budowlanych szczególnie interesującym produktem są ogniwa **półtransparentne**, dla których materiałem wyjściowym może być zarówno krzem monokrystaliczny, jak i polikrystaliczny. Podczas specjalnego procesu mechanicznego ogniwa są perforowane – w ten sposób powstaje gęsta sieć bardzo małych otworów, przez które przedostaje się światło (fot. 68). Poziom transmisji promieniowania standardowo wynosi 10 %, może się jednak kształtować w granicach od 0-30 %. Wadą technologii jest zdecydowanie wyższa cena w porównaniu do konwencjonalnych, całkowicie nieprzeźroczystych ogniw, a także niższa sprawność.

Z kolei ogniwa **dwustronne**[322] mają podobny wygląd i właściwości mechaniczne do zwykłych fotoogniw, różnią się jednak od nich wewnętrzną budową - zarówno przednia, jak i tylna strona są w tym wypadku aktywne. W trakcie eksploatacji pozwala to na lepsze wykorzystanie promieniowania słonecznego, w procesie produkcji zużywana jest mniejsza ilość materiału i energii.

W ostatnim czasie pojawiły się interesujące rozwiązania w postaci **krystalicznych ogniw cienkowarstwowych** – pierwsze masowo produkowane ogniwa osadzone na szkle (CSG) weszły już na rynek.

OGNIWA CIENKOWARSTWOWE

W technologii cienkowarstwowej, bardzo cienkie warstwy materiału półprzewodnikowego osadzane są bezpośrednio na danym podłożu. Choć sprawność tych ogniw jest niższa od ogniw krystalicznych, są one atrakcyjne ze względu na niskie koszty (tańszy proces produkcyjny, mniejsze zużycie energii i materiału) oraz różnorodność możliwości w kwestii rodzaju podłoża. Może ono mieć rozmaite kształty, a nawet być giętkie, przez co idealnie na-

[319] Krystaliczny krzem nie absorbuje silnie światła, ogniwa wymagają więc większych ilości półprzewodnikowego materiału (grubości ogniw wynoszą 0,2-0,4 mm). Proces cięcia płytek krzemowych z materiałów wyjściowych i dalsze przycinanie do odpowiedniego kształtu powodują straty kosztownego krzemu.

[320] Choć krzem jest jednym z najbardziej powszechnym pierwiastków na Ziemi duży popyt przyczynił się do chwilowego niedoboru.

[321] JARZĘBSKI Z. M., *Energia...*, s. 176.

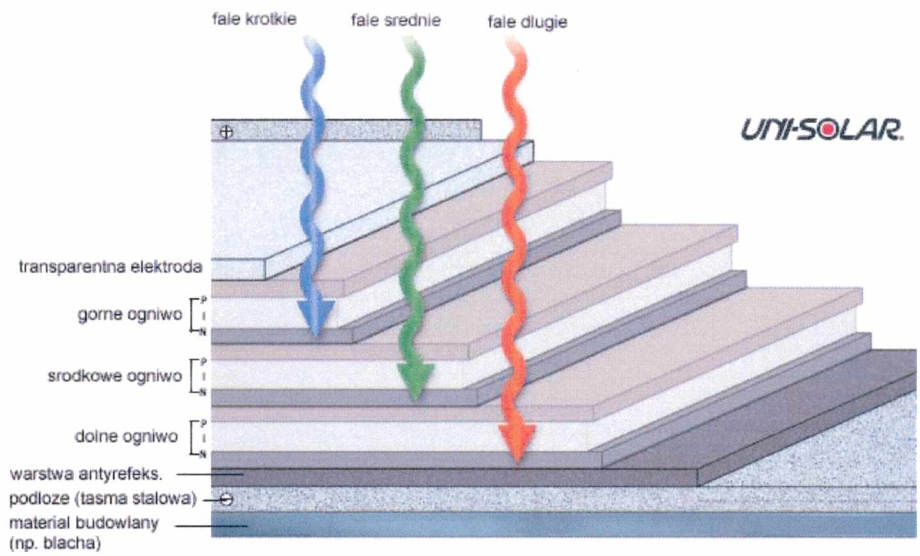
[322] Np. produkowane przez HITACHI ogniwa B3 (Bifacial Cell with Boron Diffused Back Surface Field). http://www.pi.hitachi.co.jp/solazure/01_cell_e.html.

daje się dla integracji architektonicznej, także na powierzchniach zakrzywionych[323].

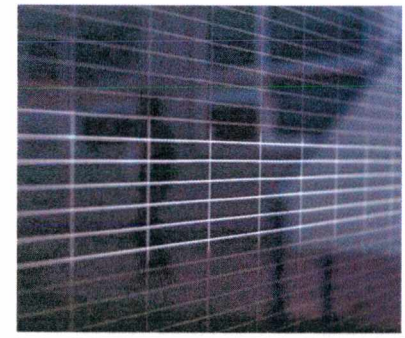
Istotną cechą materiałów cienkowarstwowych jest ich mniejsza wrażliwość na wysokie temperatury i zacienienie w porównaniu do ogniw krystalicznych. Dzięki temu zachowują dużą efektywność nawet w złych warunkach oświetlenia i bez problemu mogą być bezpośrednio integrowane z różnymi elementami struktury budynku (np. fasadami).

Krzem amorficzny (a-Si) charakteryzujący się nieuporządkowaną strukturą atomów jest materiałem najczęściej wykorzystywanym w technologii cienkowarstwowej. Ogniwa osadzane są bezpośrednio na cienkich podłożach takich jak: szkło (fot. 69), materiały metaliczne (taśmy stalowe) i tworzywa sztuczne. Zintegrowane połączenia ogniw pozwalają na uzyskanie powierzchni lekkich i giętkich (fot. 70), o dowolnych kształtach i rozmiarach. Ze względu na wysoką zdolność absorpcji światła słonecznego ich grubość może być 100 razy mniejsza od typowych ogniw z krzemu krystalicznego. Sprawność kształtuje się w przedziale 5-7%.

Niższe koszty materiału półprzewodnikowego oraz mniejsza energochłonność procesu produkcyjnego pozwalają na redukcję ceny produktu końcowego. Dodatkowo, materiały o różnych właściwościach absorpcji promieniowania słonecznego można na siebie nakładać – w ogniwach wielozłączowych (ang. *multi-junction*) wykorzystanie szerszego spektrum światła zwiększa istotnie efektywność. Na tej zasadzie funkcjonują ogniwa tandemowe (dwa złącza) czy opracowane przez firmę Uni-Solar ogniwa trójzłączowe (ang. *triple-junction* - fot. 71, rys. 31). Te ostatnie ze względu na unikalne właściwości są szczególnie korzystne dla rozwiązań BIPV[324].



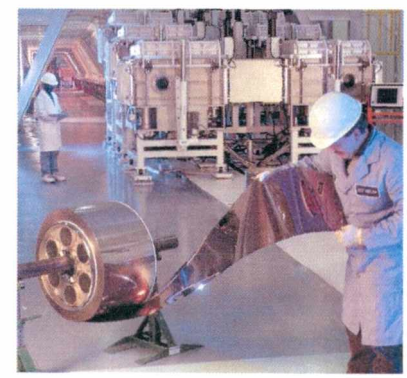
Inne stosowane w integracji z budynkami ogniwa cienkowarstwowe bazują na materiałach takich jak: **selenek indowo-miedziowy (CIS) i**



Fot. 69. Cienkowarstwowe ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) na szklanym podłożu.



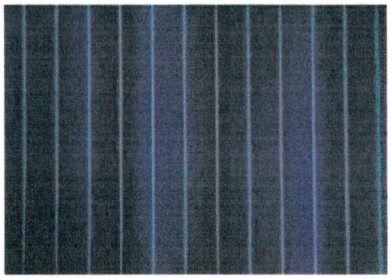
Fot. 70. Cienkowarstwowe ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) na giętkim podłożu, prod. VHF-Technologies.

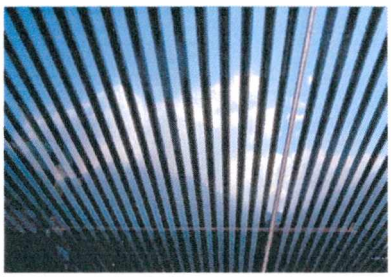


Fot. 71. Produkcja cienkowarstwowych ogniw Uni-Solar®. Materiał wytwarzany w technice roll-to-roll.

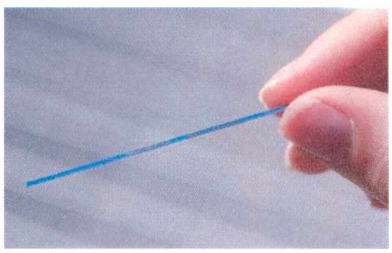
Rys. 31. Schemat budowy ogniwa Uni-Solar®. Cienkowarstwowe, trójzłączowe ogniwo z krzemu amorficznego (triple-junction solar cell) składa się z trzech „podogniw", z których każde reaguje na inne spektrum światła słonecznego.

[323] Konwencjonalne krystaliczne ogniwa krzemowe nie nadają się do wyginania ze względu na grubość i kruchość materiału.
[324] Patrz rozdz. IV/2.2.

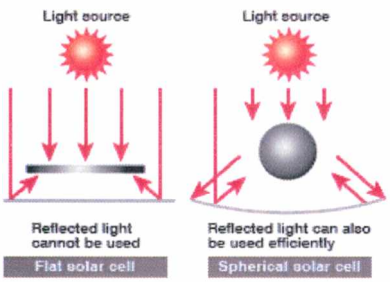




Fot. 72, 73. Cienkowarstwowe ogniwa CIS na szklanym podłożu. Od góry: materiał nieprzeźroczysty i semitransparentny.



Fot. 74. Krzemowe ogniwa krystaliczne SLIVER®. Opatentowana technologia bazuje na standardowych płytkach z monokrystalicznego krzemu - z typowej płytki o średnicy 15 cm można wykonać 1000 ogniw SLIVER® o łącznej powierzchni 1500 cm^2.



Rys. 32. Porównanie możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego przez ogniwa płaskie i sferyczne. Ogniwa sferyczne są mniej zależne od pozycji Słońca w ciągu dnia i roku, warunków pogodowych i elementów odbijających światło.

tellurek kadmu (CdTe). Jak do tej pory komercyjne ogniwa tego rodzaju osadzane są wyłącznie na szklanym podłożu. Atrakcyjne ze względu na niskie koszty produkcji i większą sprawność od ogniw z krzemu amorficznego (CIS 7-11%, CdTe 8-11%) są rzadziej wytwarzane masowo ze względu na mniej powszechnie występujące pierwiastki[325]. W ostatnich latach dla zastosowań architektoniczno-budowlanych materiały CIS (fot. 72, 73) zaczynają być coraz bardziej konkurencyjne w stosunku do krystalicznych.

Cienkowarstwowe ogniwa solarne mogą być od razu wytwarzane jako materiały półprzeźroczyste (fot. 73) pod warunkiem osadzenia na transparentnym materiale, takim jak szkło czy odpowiednie tworzywo sztuczne[326]. Transparentność kształtuje się na poziomie ~ 10-30 % (max. 50 %).

Potencjał zastosowań bardzo cienkich, giętkich materiałów jest wyjątkowo obiecujący. Duże zaangażowanie nauki i przemysłu w rozwój technologii cienkowarstwowych rokuje nadzieje na dalsze obniżenie kosztów produkcji oraz zwiększenie sprawności tego rodzaju ogniw. Ostatnie lata przyniosły wiele nowych rozwiązań, takich jak m.in. pozostająca jeszcze w fazie testowej technologia **SLIVER®** (fot. 74)[327].

Celem każdego fotoogniwa jest wykorzystanie jak największej ilości promieniowania dla konwersji energetycznej. Z takiego punktu widzenia w praktycznym użyciu konwencjonalne, płaskie ogniwa nie są w stanie efektywnie spełniać tych warunków[328]. Interesującą koncepcją rozwiniętą w ostatnim czasie jest nowa generacja sferycznych ogniw krzemowych, których kształt zapewnia wysoką zdolność absorpcji promieniowania (rys. 32). W przeciwieństwie do konwencjonalnych, płaskich płytek z krzemu krystalicznego (kruchych i sztywnych) są one lekkie i giętkie, dzięki czemu mogą być umieszczane na powierzchniach o różnych kształtach[329]. Kyosemi Corporation rozpoczęła masową produkcję sferycznych mikro-ogniw o nazwie **Spherlar®** w 2006. Kuliste ogniwa z pojedynczego kryształu krzemu (średnicy 1-1,5 mm) charakteryzują się sprawnością rzędu 19 %[330].

MATERIAŁY ORGANICZNE I NANOKRYSTALICZNE

Nowe możliwości otwierają rozwijane w ostatnich latach innowacyjne technologie ogniw organicznych i nanokrystalicznych. Ta grupa ogniw, choć

[325] Firma Würth Solar produkuje na skalę masową moduły CIS od 2000. Moduły CdTe wytwarzają jak dotąd tylko dwie firmy: First Solar LLC w USA oraz Antec Solar Energy AG w Niemczech.
[326] Szczegóły patrz rozdz. IV/2.2.
[327] Naukowcy z Australian National University we współpracy z Origin Energy opracowali z końcem lat 90. metodę produkcji ogniw o nazwie SLIVER®. Unikalny kształt oraz wymiary ogniwa powodują znaczne zwiększenie powierzchni czynnej (przetwarzającej promieniowanie), a pewna elastyczność umożliwia zastosowanie na powierzchniach różnego kształtu. Cienkie paski SLIVER® są bardziej tolerancyjne na częściowe zacienienie i mniej czułe na wzrost temperatury. http://www.originenergy.com.au.
[328] NAKATA J., *Spherical Solar Cells Solve Issue of 3-D Sunlight Reception*, in: Asia Electronics Industry AEI, February 2003, s. 45-48.
[329] HOGAN J., *„Denim" solar panels to clothe future buildings*, in: New Scientist, February 2003, http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn3380.
[330] http://www.kyosemi.co.jp/.

bazuje na prostych i znanych technologiach cienkowarstwowych działa na całkowicie innych zasadach niż pozostałe technologie półprzewodnikowe[331].

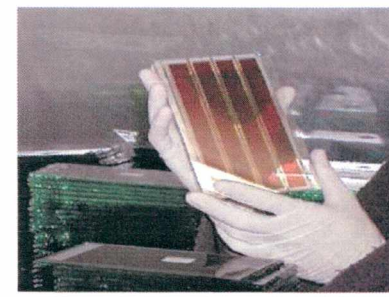
Ogniwa organiczne są dopiero w fazie badawczej, ale naukowcy już określili je mianem *„ekscytującej technologii przyszłości"* (fot. 75)[332].

Ogniwa uczulone barwnikiem (ang. ***Dye-sensitised solar cell - DSC***) należą do trzeciej generacji (fot. 76). Unikalna i nowatorska grupa produktów zalicza się do grupy materiałów cienkowarstwowych, ale wiele cech odróżnia je od dotychczasowych rozwiązań. Są to ogniwa fotoelektrochemiczne, w których w odróżnieniu od pozostałych jednoetapowych technologii proces konwersji energii zachodzi w dwóch etapach. W nanokrystalicznych[333] ogniwach uczulonych barwnikiem światło słoneczne ulega przekształceniu w inną formę energii przy pomocy molekuł barwnika. Technologię DSC zdominowały ogniwa z tlenku tytanu (TiO_2)[334] opracowane przez Michaela Graetzela w 1991. Kolorystyczne możliwości oraz transparentność, to dla projektantów szczególnie interesujące właściwości. Dodatkowo technologia produkcji jest niskoenergetyczna i nieszkodliwa dla środowiska. Obecna sprawność ogniw DSC wynosi ~5-8%.

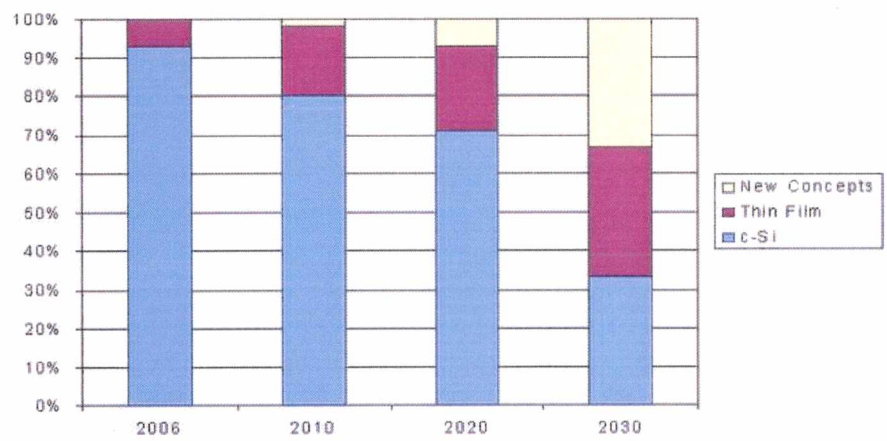
Dla naukowców i producentów ogniw solarnych głównym zadaniem jest opracowanie prostej, nieszkodliwej dla środowiska technologii, która pozwoli na redukcję zużycia materiałów wyjściowych, a co za tym idzie i kosztów gotowego produktu, przy jednoczesnej optymalizacji jego parametrów technicznych. Stąd przewiduje się m.in. znaczny wzrost udziału materiałów cienkowarstwowych – do około 20% w roku 2010[335]. Postęp technologiczny jest obecnie tak duży, że z pewnością wiele problemów zostanie rozwiązanych w nieodległej przyszłości, a na rynek wprowadzone nowe, dziś jeszcze nieznane technologie.



Fot. 75. Cienkowarstwowe ogniwo organiczne, prod. Georgia Institute of Technology (2004). Wg profesora Bernarda Kippelena potrzeba co najmniej 5 lat dla aplikacji na budynkach, ale gdy technologia zostanie rozwinięta dzięki wyjątkowej lekkości i elastyczności ogniwa będą mogły być aplikowane w zasadzie wszędzie, łącznie z integracją z materiałami tekstylnymi.

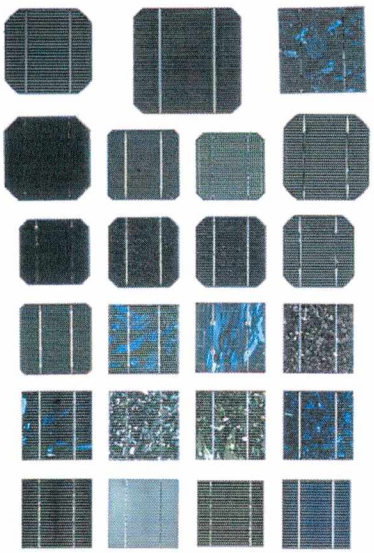


Fot. 76. Ogniwo uczulone barwnikiem Dye-sensitised solar cell (DSC). Technologia DSC nazywana jest sztuczną fotosyntezą - analogicznie do chlorofilu w liściach, który absorbuje energię słoneczną przetwarzając ją w energię na potrzeby rośliny, w ogniwach solarnych pokrywający nanocząsteczki barwnik absorbuje światło do generowania czystej energii elektrycznej. http://www.sta.com.au.



Rys. 33. Przewidywany udział poszczególnych technologii materiałowych na rynku ogniw fotowoltaicznych. Dane: EPIA.

[331] Wśród wykorzystywanych materiałów są przede wszystkim: półprzewodnikowe polimery, barwniki, ciekłe kryształy, molekuły organiczne.
[332] Wiodącymi firmami w dziedzinie badań nad technologią organicznych ogniw solarnych są Nanosolar, Nanosys, General Electric, Konarka.
[333] Technologia ogniw DSC jest jednym z pierwszych komercyjnych zastosowań nanotechnologii.
[334] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 24.
[335] http://www.epia.org.



Fot. 77. Różne kształty i wymiary standardowych ogniw krzemowych (c-Si).

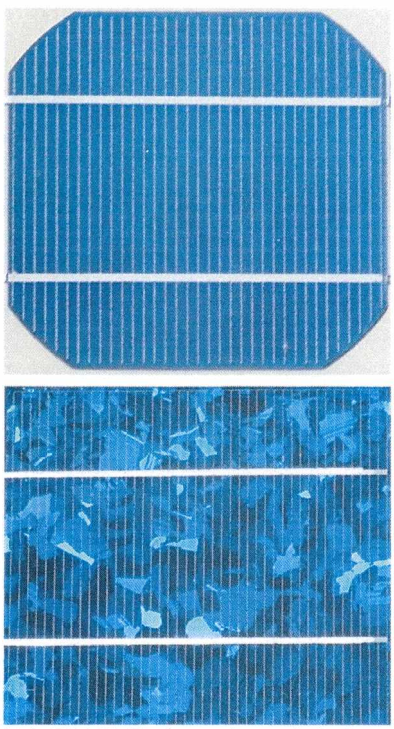
4.1.2.
KSZTAŁTY I WYMIARY

Konwencjonalne, krystaliczne ogniwa krzemowe (c-Si) powstają poprzez cięcie dużych materiałów wyjściowych w cienkie plastry grubości 200-400 mikronów[336]. Monokrystaliczne ogniwa (m-Si) cięte z prętów krzemowych mają kształt okrągłych płytek, które w celu lepszego ułożenia (upakowania) na powierzchni modułu najczęściej przycina się dalej w wielokąty zbliżone do kwadratu, tzw. pseudokwadraty, lub jeszcze dalej dzieli na mniejsze elementy (tablice A/1.1). Polikrystaliczne ogniwa (p-Si) mają wyjściowo kształt kwadratowy lub prostokątny (tablice A/1.2).

Standardowe wymiary ogniw krystalicznych kształtują się od 100 x 100 mm do 150 x 150 mm, choć w przypadku specjalnych metod produkcyjnych możliwe jest uzyskanie większych rozmiarów.

W przypadku technologii cienkowarstwowych (a-Si, CIS, CdTe) materiał ogniwa jest od razu integrowany z warstwą nośną. Wielkości i kształty ogniw zależą więc od rozmiarów zastosowanego podłoża oraz wymaganych połączeń elektrycznych. Zazwyczaj cienkowarstwowe ogniwa są prostokątne, o wymiarach ~500 x 1000, 600 x 1000 mm.

Kształt i wymiary ogniw wpływają na zewnętrzną aparycję modułu PV i mogą być istotnymi elementami kompozycji estetycznej. Z tego powodu obok produkcji standardowych rozwiązań prowadzone są prace nad ogniwami o innych kształtach (tablice A/1.3). Prototypy ogniw trójkątnych, trapezowych, sześciokątnych czy ośmiokątnych pozostają w fazie badawczo-eksperymentalnej ze względu zdecydowanie wyższe koszty produkcji.



Fot. 78, 79. Porównanie wyglądu krzemowych ogniw krystalicznych. Od góry: ogniwo monokrystaliczne (m-Si), polikrystaliczne (p-Si).

4.1.3.
KOLORYSTYKA

Najbardziej powszechne, standardowe ogniwa krystaliczne (c-Si) zależnie od struktury materiału mają zabarwienie jednolite (m-Si) lub widoczne są poszczególne kryształy w różnych kształtach i odcieniach (p-Si), które tworzą zupełnie inne efekty wizualne (fot. 78, 79). Ogniwa monokrystaliczne są zazwyczaj koloru granatowego lub czarnego, polikrystaliczne w różnych odcieniach niebieskiego (tablice A/2.1).

Surowy krzem ma kolor szaro-metaliczny, jednak końcowy efekt zdeterminowany jest rodzajem i grubością antyrefleksyjnej powłoki nałożonej na przednią powierzchnię ogniwa[337]. Wpływ na kolor może mieć również rodzaj kapsuły ochronnej, szorstkość powierzchni oraz folia laminująca, a także rodzaj i kąt padania światła oraz punkt patrzenia obserwatora.

[336] W ostatnich kilku latach istotnie zredukowano grubości ogniw z krzemu krystalicznego c-Si z 0,32 mm (2003 r.) do 0,18 (2007 r.). Prognozy przewidują redukcję grubości do 0,15 mm w roku 2010 przy jednoczesnym wzroście sprawności ogniw do 17 %. http://www.epia.org.

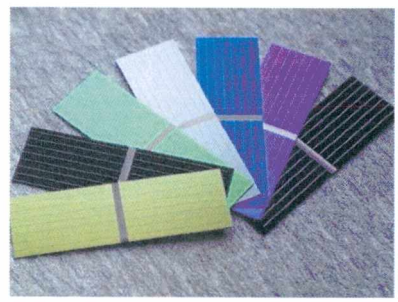
[337] Jej celem jest redukcja strat energii następujących poprzez odbicie promieni słonecznych.

Uzyskanie innych kolorów jest możliwe[338] już od połowy lat 90., ale są to produkty niszowe, w praktyce rzadko stosowane ze względu na obniżenie sprawności ogniw (tab. 3) i wyższe koszty (fot. 80, tablice A/2.1).

Kolor ogniw p-Si	Sprawność ogniw [%]
Ciemnoniebieski (standardowy)	14,2-15,7
Zielony	13,9
Złoty	13
Brązowy	12,7
Czerwony	12
Jasno szary	11,4

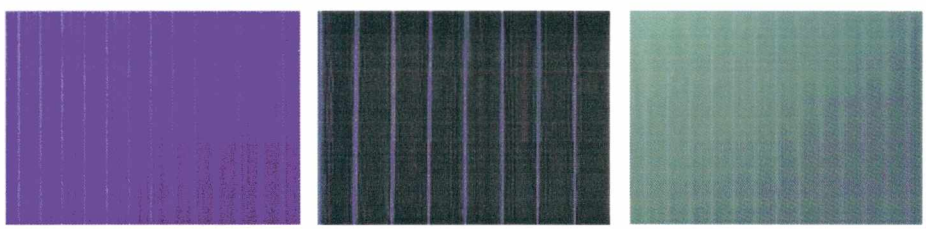
Tab. 3. Porównanie sprawności ogniw fotowoltaicznych w zależności od koloru. Na przykładzie ogniw z krzemu polikrystalicznego, prod. Sunways.

Należy zwrócić uwagę, że nie wszystkie kolory mają praktyczny sens w przypadku technologii krzemowych ogniw fotowoltaicznych. Ogólnie im ciemniejszy kolor tym lepsza absorpcja światła słonecznego. Wraz z rosnącym zainteresowaniem architektów i potrzebami rynku przewiduje się jednak dalsze poszerzanie oferty kolorystycznej standardowych produktów.



Fot. 80. Przykłady możliwości kolorystycznych ogniw z krzemu krystalicznego, prod. Solartec.

W przypadku technologii cienkowarstwowych możliwości kolorystyczne są większe i zależą od zastosowanych materiałów półprzewodnikowych oraz podłoża, na którym są osadzane. Większość standardowych produktów występuje w różnych odcieniach ciemnej szarości aż do czarnego (tablice A/2.2). Najczęściej stosowane ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) na szklanym podłożu mają kolor brunatny, na podłożu stalowym ciemnoniebieski z purpurowo-fioletowymi odblaskami na obrzeżach (np. Uni-Solar®). Cienkowarstwowe ogniwa CIS charakteryzuje czarny, jednolity kolor, z kolei standardowe produkty CdTe mają kolor czarno-zielony (fot. 81).



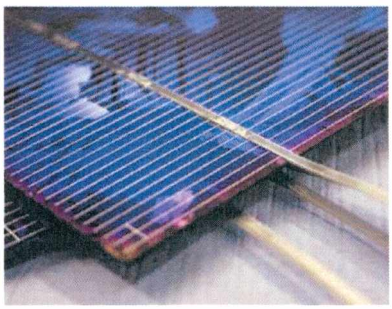
Fot. 81. Kolorystyka ogniw cienkowarstwowych. Od lewej: ogniwa a-Si (prod. RWE Solar), CIS (prod. Würth Solar), CdTe (prod. Antec Solar).

Duże możliwości kształtowania zróżnicowanych efektów pojawiły się wraz z innowacyjnymi technologiami ogniw organicznych i nanokrystalicznych uczulonych barwnikiem. STI DSC produkuje standardowe płytki solarne w kolorze ochry, do których później wprowadzane są inne barwy[339].

4.1.4. KONTAKTY ELEKTRYCZNE

W standardowych ogniwach krystalicznych układ elektrod kontaktowych[340] (na stronie wystawionej w kierunku Słońca) tworzy widoczną kom-

[338] Kolory można uzyskać w trakcie produkcji poprzez dodanie dodatkowej warstwy transparentnej, można też zmienić warstwę antyrefleksyjną.
[339] Patrz rozdz. IV/4.
[340] Metalowa elektroda kontaktowa odprowadza ładunki z ogniwa. Z przodu pokrywa jedynie kilka procent powierzchni ogniwa, z tyłu może pokrywać całe.



Fot. 82. Typowy układ kontaktów elektrycznych na ogniwie p-Si. Cienkie ścieżki połączone są dwoma grubymi ścieżkami zbiorczymi. Widoczne na zdjęciu wykonano z posrebrzanych taśm miedzianych (prod. Centrosolar).

pozycję złożoną z linii prostych w określonych odstępach, najczęściej na wzór litery „H" (fot. 82). W ogniwach typu *Back Contact*[341] kontakty elektryczne umieszczone są na tylnej stronie, widoczne będą więc jedynie w modułach z transparentną obudową tylną (tablice A/3.1).

Od wielu lat powstają także prototypy ogniw z zupełnie innym ukształtowaniem kontaktów (tablice A/3.2) – rozmaite rozwiązania testowane są pod kątem estetycznym, oraz wpływu na poziom energii wyjściowej[342].

W ogniwach cienkowarstwowych elektrody tworzą serie cienkich metalicznych linii, mogą być też transparentne – w efekcie w przypadku osadzenia ogniwa na podłożu przepuszczającym światło tj. szkle czy PMMA uzyskuje się mniej lub bardziej transparentny produkt końcowy (tablice A/3.1).

4.2.
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Pojedyncze ogniwa wytwarzają prąd o niskim napięciu, zdecydowanie zbyt małym dla zastosowań w budownictwie. Żeby uzyskać większą moc energii, analogicznie do baterii ogniwa łączy się szeregowo w większe struktury (ciągi ogniw). W celu ochrony przed uszkodzeniem mechanicznym, korozją i warunkami atmosferycznymi wmontowuje się je pomiędzy dwie warstwy materiału ochronnego. Taka hermetyczna „kapsuła" określana mianem modułu PV, stanowi bazowy element systemu fotowoltaicznego dla integracji z budynkiem.

Dla zastosowań budowlanych w ofercie rynkowej można wyróżnić trzy rodzaje modułów PV:

- Standardowe[343] – najbardziej powszechne i najtańsze, wytwarzane masowo dla maksymalnych zysków energetycznych z 1 m, po najmniejszych kosztach. Wykorzystywane w instalacjach każdego typu;
- Specjalne – masowo produkowane elementy dla określonych celów, jak np. szklane moduły dla zastosowań budowlanych, dachówki, moduły o zwiększonej odporności na sól morską itd.;
- Specjalistyczne – najdroższe, wytwarzane na konkretne zamówienie. Określone zastosowanie determinuje ich cechy i parametry.

Dla uzyskania pożądanych parametrów technicznych oraz wyglądu projektanci mają do dyspozycji szereg możliwości kształtowania modułów, poprzez odpowiedni dobór elementów takich jak:

- Materiał i struktura ogniw;

[341] Ładunki przechodzą na tylną stroną przez miniaturowe, w zasadzie niewidoczne otwory.
[342] Badania pokazały spadek efektywności tego typu ogniw o 5% w stosunku do rozwiązań standardowych. *Energia fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*, http://www.greenpro.de/po/index.html.
[343] Na rynku ~90% produktów stanowią moduły standardowe. http://www.solarintergation.de.

- Wielkość i kształt ogniw (tablice A/1)
- Kolor ogniw (tablice A/2),
- Struktura i kolor układów elektrycznych (tablice A/3),
- Układ ogniw i odstępy między nimi (tablice B/2),
- Budowa modułu (tablice B/1),
- Kształt (tablice B/3), wielkość i ciężar modułu,
- Rodzaj materiału laminującego ogniwa,
- Rodzaj materiału na przedniej i tylnej warstwie ochronnej modułu,
- Podłoże, warstwa nośna (ogniw cienkowarstwowych),
- Okablowanie i system złączy elektrycznych,
- Moc modułu.

4.2.1.
BUDOWA - WARIANTY KONSTRUKCYJNE

Sposób produkcji modułów oraz ich konstrukcja różnią się w zależności od przyjętego materiału ogniw i przewidywanego sposobu użytkowania. Obok konstrukcji standardowych produkowane są moduły spełniające różne, nawet bardzo wysokie wymagania projektantów i użytkowników budynków. Wykorzystywane są następujące techniki:

- Laminaty szkło-folia (ogniwa z krzemu krystalicznego c-Si);
- Laminaty szkło-szkło (ogniwa z krzemu krystalicznego c-Si);
- Moduły szkło-szkło z płynną żywicą (ogniwa z krzemu krystalicznego c-Si, ogniwa cienkowarstwowe a-Si, CIS, CdTe);
- Moduły osadzane na materiałach giętkich tj. szkle akrylicznym, taśmach metalowych, tworzywach sztucznych (ogniwa cienkowarstwowe a-Si).

OSADZENIE OGNIW

Dla ochrony przed zniszczeniem, korozją i wpływem warunków atmosferycznych ogniwa są zakapsułowane tworząc wielowarstwową strukturę typu „sandwicz". Poszczególne warstwy zalaminowane są pomiędzy[344] ochronną obudową przy pomocy silnych spoiw, takich jak płynne żywice czy folie termoplastyczne EVA, PVB, Teflon.

OBUDOWA OCHRONNA

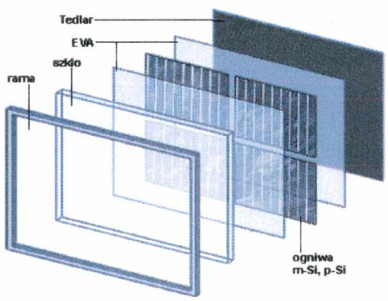
Zewnętrzna obudowa modułu musi być solidna, stabilna w szerokim zakresie temperatur oraz odporna na zróżnicowane warunki, w jakich może być eksploatowana. Od jej jakości i trwałości zależy w dużym stopniu długość życia modułu i funkcjonowanie całego systemu PV.

[344] W przypadku materiałów cienkowarstwowych ogniwa pokrywa się warstwą laminującą z jednej strony, ponieważ już w trakcie produkcji osadzane są one bezpośrednio na podłożu. Materiał laminujący musi zapewniać dobrą izolację elektryczną, wysoką transmisję światła i niską refleksyjność, chronić ogniwa przed mechanicznym uszkodzeniem, wodą i innymi szkodliwymi dla ich funkcjonowania czynnikami.

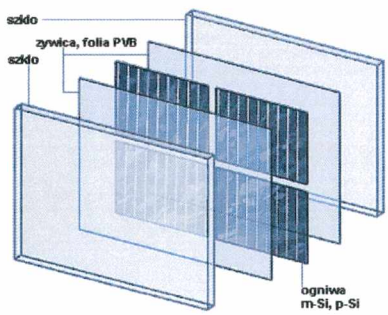
Szczególnie istotna jest przednia warstwa ochronna wystawiona na bezpośrednie działanie promieniowania słonecznego, która musi charakteryzować się dużą przepuszczalnością oraz niską absorpcją i rozpraszaniem światła. Dla ograniczenia osadzania się brudu, który powoduje obniżenie efektywności energetycznej[345], materiał obudowy powinien być równy, płaski i gładki, najlepiej samoczyszczący. Z tego względu najczęściej stosowane jest hartowane szkło lub inny materiał transparentny jak szkło akryliczne[346].

W standardowych modułach z krystalicznych ogniw krzemowych przednią warstwę ochronną stanowi zazwyczaj białe szkło hartowane ESG (grubości ~3,0-4,0 mm)[347]. W niektórych wypadkach stosowane są inne rodzaje szkła np. TVG, zwykłe, pojedyncze szkło float lub szkło akryliczne[348].

Generalnie, co do tylnej warstwy modułów (zwróconej do wewnątrz budynku) nie ma praktycznie żadnych ograniczeń materiałowych[349]. W przeciwieństwie do frontowej, tylna warstwa modułu nie musi być bowiem transparentna. Jej fragmenty widoczne są od przodu pomiędzy ogniwami – dla celów estetycznych można ją więc różnie kształtować np. stosując odpowiedni kolor, nadruk, itp.



Rys. 34. Schemat budowy modułu PV typu szkło-folia.



Rys. 35. Schemat budowy modułu PV typu szkło-szkło.

Laminaty typu szkło-folia (rys. 34, tablice B/1.1 rys. 1-2) należą do najczęściej sprzedawanych modułów PV. Ich tylną warstwę tworzy cienki materiał polimerowy, głównie Tedlar. Taka budowa pozwala ograniczyć ciężar całego elementu.

W **laminatach typu szkło-szkło** (rys. 35, tablice B/1.1 rys. 3-6) obie warstwy ochronne wykonane są ze szkła ESG, TVG lub innego. W transparentnych konstrukcjach zawieszanych (świetliki, atria), aby spełnić wymagania bezpieczeństwa od wewnątrz stosuje się wielowarstwowe, bezpieczne szkło klejone VSG[350] (tablice B/1.3). Dla integracji z budynkiem moduły szklane wykonywane są najczęściej na zamówienie.

Moduły szklane mogą być wykonane z **materiałów cienkowarstwowych** (a-Si, CIS lub CdTe), wówczas ogniwa już w trakcie procesu produkcyjnego osadzane są na szklanym podłożu, a następnie zalaminowane folią lub żywicą z drugą taflą szkła[351] (tablice B/1.2 rys. 1-6).

W modułach zbudowanych z ogniw cienkowarstwowych materiałem nośnym może być oprócz szkła także inne tworzywo tj. folia metalowa lub plastik, dzięki czemu tego rodzaju produkty są giętkie i elastyczne (tablice

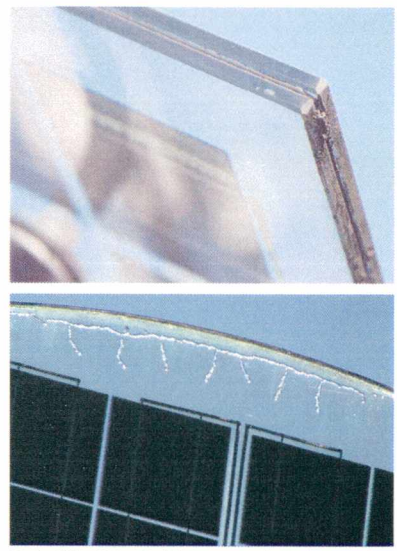
[345] Wiąże się to z zacienieniem powierzchni aktywnej.
[346] Patrz rozdz. IV/2.
[347] Jest tanie, wytrzymałe, stabilne, transparentne i dobrze się czyści. Zapobiega także penetracji wody, pary wodnej i gazów. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 25.
[348] Patrz rozdz. IV/2.2.1.
[349] Z tego powodu moduły PV mogą spełniać wiele dodatkowych, wyspecjalizowanych funkcji jak np. przegrody dźwiękoszczelne. W przypadku zastosowania ogniw dwustronnych moduły funkcjonują jako elementy dwustronne, generujące prąd elektryczny zarówno z tyłu jak i z przodu. Wówczas tylna warstwa obudowy musi spełniać te same wymogi przepuszczalności światła, co przednia.
[350] Patrz rozdz. IV/2.2.1.
[351] W przypadku ogniw CdTe szklane podłoże, na którym osadzany jest materiał półprzewodnikowy stanowi przednią warstwę modułu, natomiast dla materiałów a-Si i CIS będzie to tylna strona.

B/1.2 rys. 7). W takim wypadku przednią warstwę ochronną musi stanowić materiał, który może przybierać odpowiednio zakrzywione kształty (transparentna folia TEFZEL, gięte szkło). Aktualnie dostępne na rynku moduły cienkowarstwowe na innym niż szkło podłożu wykonane są jedynie z ogniw z krzemu amorficznego a-Si[352]. Jedną z najnowszych propozycji na komercyjnym rynku materiałów PV są ogniwa osadzone na ekstremalnie cienkim i lekkim, plastikowym podłożu[353].

OBRAMOWANIE

Dla celów montażowych moduły mogą być obudowane ramą aluminiową lub stalową. Zwiększa ona mechaniczną stabilność elementu (szczególnie w przypadku modułów o dużej powierzchni), chroni krawędzie przed uszkodzeniami. Niekorzystnym aspektem obramowania może być częściowe zacienianie ogniw oraz zatrzymywanie się na niej brudu i śniegu.

Obramowanie nie jest konieczne i w przypadku bezpośredniej integracji ze strukturą budynku moduły są jej najczęściej pozbawione - wówczas są produkowane podobnie jak normalne tafle szklane. Wskutek braku uszczelnienia na krawędziach może dochodzić do delaminacji (fot. 84), osadza się na nich brud (fot. 83). Trzeba też specjalnie zwracać uwagę na ochronę od wilgoci i uszkodzeń. Ze względu na dodatkowe zużycie materiału oraz energochłonność procesu produkcyjnego aluminiowych lub stalowych elementów, moduły bezramowe mają z pewnością lepszy ekobilans.



Fot. 83, 84. Szklane moduły bez obramowania. Na krawędziach widać osadzający się brud (zdjęcie u góry) oraz częściową delaminację (zdjęcie u dołu).

ZINTEGROWANE ELEMENTY MOCUJĄCE

Z niektórymi modułami PV fabrycznie integrowane są elementy mocujące. Rozwiązania wykonuje się z różnych materiałów w zależności od potrzeb (np. metaliczne elementy przyspawane do ramy modułu, specjalne nakrętki, szyny z profili przyklejonych do tylnej strony, itd.).[354]

ZINTEGROWANE ELEMENTY INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ

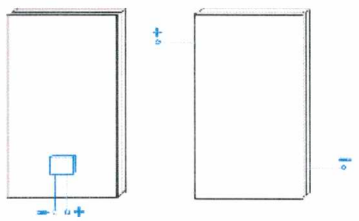
Moduły PV różnią się także rozwiązaniem okablowania elektrycznego. Każdy moduł wyposażony jest w zewnętrzne zaciski elektryczne. Połączenia elektryczne wyprowadzane są zbiorczo z hermetycznej puszki łączeniowej[355]

[352] Ogniwa osadzane na giętkiej taśmie ze stali szlachetnej (produkcja w technice roll-to-roll) dla ochrony zakapsułowane są w folii EVA, z przodu nakładana jest transparentna teksturowana folia TEFZEL, z tyłu materiał nylonowy. Całkowita grubość takiego elementu wynosi ~1,5 mm. W takiej formie moduł dostarczany jest do przedsiębiorstw budowlanych do dalszej obróbki. Efektem końcowym jest integracja modułu z materiałem budowlanym. Patrz rozdz. IV/2.2.2 – 2.2.4.

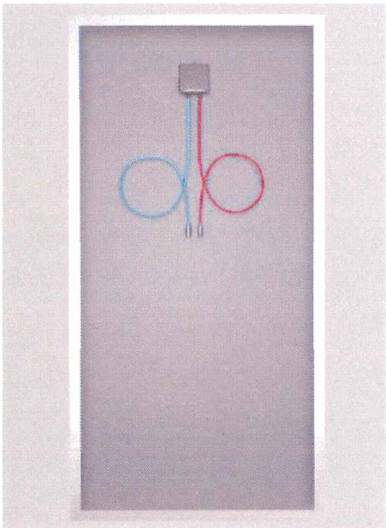
[353] Patrz rozdz. IV/2.2.4.

[354] HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 47-48.

[355] Puszki połączeniowe, w których mogą znajdować się także diody blokujące (ang. *by-pass diode*) różnią się w zależności od rodzaju modułu oraz jego zastosowania. W wielu standardowych modułach PV są już fabrycznie zintegrowane z jego tylną stroną. Wykonane ze specjalnego tworzywa sztucznego są trwałe, wodoszczelne i niepalne. Niezależnie od rozwiązania muszą zawsze zapewniać wysoki stopień bezpieczeństwa, chronić od warunków atmosferycznych, promieni UV i korozji.



Rys. 36. Wyprowadzenie połączeń elektrycznych z modułu PV. Z lewej: puszka łączeniowa wspólna dla obu zacisków biegunowych na tylnej stronie modułu. Z prawej: osobne wyprowadzenie dla zacisku dodatniego i ujemnego na obrzeżach.



Fot. 85. Puszka łączeniowa zintegrowana z tylną stroną modułu PV (typ szkło-folia Multisol®15, prod. Scheuten Solar). Zakończenia połączeń wykonane są w sposób umożliwiający ich łatwe i szybkie łączenie (szybkozłączki).

zamocowanej na tylnej ściance modułu (fot. 83) lub na jego krawędziach[356] (rys. 35).

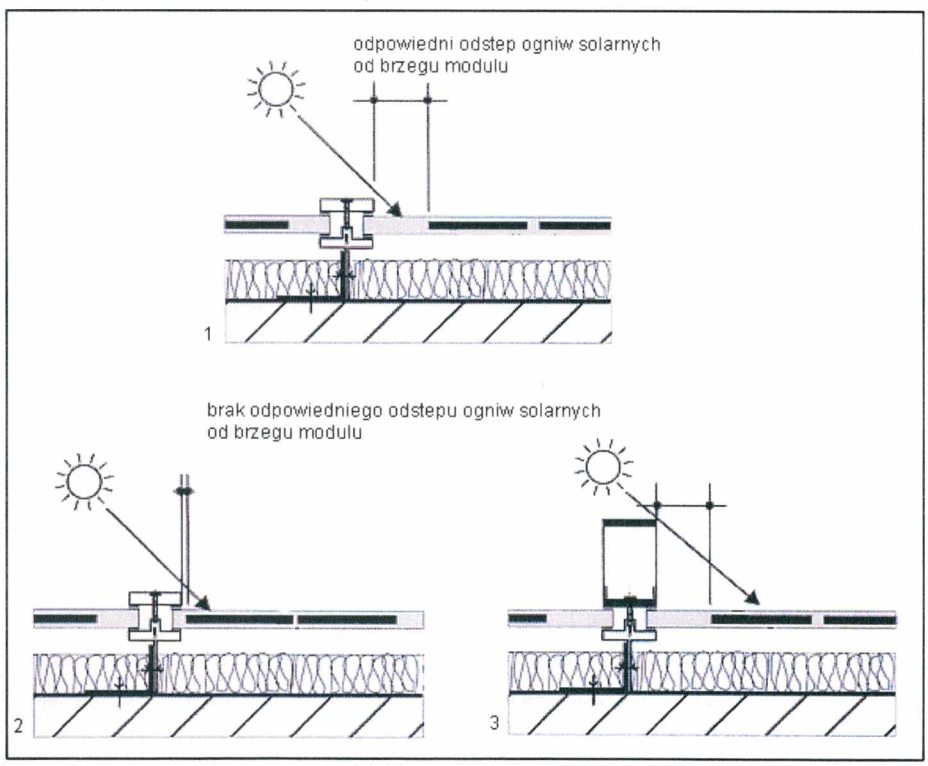
Z modułami PV mogą być również zintegrowane indywidualne falowniki dla konwersji prądu stałego w zmienny.

Odpowiednie rozwiązanie instalacji elektrycznej jest ważne w przypadku technologii BIPV ze względu na konieczność ukrycia okablowania oraz innych elementów dla zapewnienia bezpieczeństwa oraz estetyki. Ważna jest też łatwość montażu, bowiem pozwala zredukować czas i koszty instalacji. Nowe elementy optymalizowane dla zastosowań budowlanych są coraz mniejsze, można je ukryć w profilach konstrukcji itp.[357]

4.2.2.
UKŁAD OGNIW W MODULE

Ułożenie fotoogniw w module PV zależy od materiału, z jakiego są wykonane, ich kształtu i wielkości oraz wymaganych parametrów technicznych, a w zastosowaniach architektonicznych również estetycznych.

W przypadku typowych modułów z ogniwami krystalicznymi (c-Si) połączonymi szeregowo, dystans między nimi wynosi standardowo ok. 2 mm. Same szeregi ułożone są równolegle w odległości ~2-10 mm od siebie. Dla efektu transparentności dystans w obu kierunkach może być większy[358]. Na końcach „sznurów" ogniw około 20 mm miejsca przeznaczone jest na dostosowanie wewnętrznych połączeń elektrycznych oraz dla zapewnienia odpowiedniego uszczelnienia krawędzi.



Rys. 37. Różne układy ogniw solarnych w stosunku do brzegu modułu. Odstęp ogniw od rantu modułu zależy od jego budowy, technicznych wymagań instalacji i rodzaju systemu montażowego. Nieodpowiednie dostosowanie odległości do obramowania i elementów mocujących czy konstrukcyjnych może powodować częściowe zacienienie aktywnej powierzchni modułu obniżając jego sprawność. Na podst. HAGEMANN I. B. *Gebäudeintegrierte...*, s. 47.

[356] W modułach standardowych, specjalnych i specjalistycznych stosowane są różne rozwiązania. Przykładowo w przypadku modułów szklanych dla aplikacji w postaci okien, kable elektryczne wychodzą z boków.
[357] BENEMANN J., CHEHAB O., SCHAAR-GABRIEL E., *Building-integrated...*, s. 347.
[358] Patrz rozdz. IV/2.

W przypadku materiałów cienkowarstwowych ogniwa osadzane na szkle (a-Si, CIS, CdTe) lub podłożu metalicznym (a-Si) tworzą jednolitą całość. Odstęp aktywnej powierzchni ogniw od rantu modułu wynosi średnio około 16-22 mm[359].

4.2.3.
KSZTAŁTY I WYMIARY

Możliwość wyboru wielkości, grubości i kształtu modułów fotowoltaicznych pozwala wykorzystać je w architekturze na wiele sposobów. Zasadniczo kształty i wymiary mogą być takie, jak w przypadku szkła budowlanego (tablice B/3.1).

Powierzchnia standardowych modułów z ogniw krystalicznych zwykle wynosi 0,5-2,0 m^2. Moduły specjalne mogą być bardzo niewielkie, np. dla integracji z dachówkami[360]. Maksymalne wymiary kształtują się w przedziale pomiędzy 1,5 x 4 m, a 2 x 3 m.

Ze względu na optymalne wykorzystanie powierzchni aktywnej (generującej energię) moduły są zazwyczaj prostokątne (fot. 87, 89). Typowe elementy projektowane są pod kątem maksymalnej wydajności w określonych warunkach pracy na płaskiej powierzchni. Z tego powodu takie produkty w niektórych przypadkach integracji z budynkiem mogą nie być odpowiednie i wówczas ich parametry dobierane są na specjalne zamówienie projektantów. Niektóre firmy solarne są w stanie wykonać moduł każdego w zasadzie kształtu geometrycznego np. trójkątne, trapezowe itp. Wówczas niepodłączone do układu elektrycznego kwadratowe/prostokątne fotoogniwa przycinane są w celu ich dopasowania do kształtu obudowy, lub poza strefą aktywną zostawiane są puste ranty (fot. 88).



Fot. 86. Światowy rekord wielkości modułu PV. W roku 2006 firma Ertex Solar zaprezentowała największy moduł PV o powierzchni 12,5 m^2 (2,44 x 5,10 m) i mocy 1550 Wp.



Fot. 87. Produkty BP Solar dla integracji z budynkiem.



Fot. 88. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Fasadę tworzą szklane moduły specjalne Optisol® w kształcie prostokątnym oraz trapezowym i trójkątnym, z którymi zintegrowano nieaktywne ogniwa.

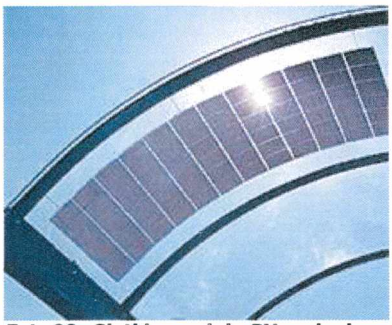


Fot. 89. SMA - budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten, 2001-2002). Fragment szklanej fasady wykonanej z częściowo transparentnych modułów w różnych kształtach.

[359] HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 46.
[360] Patrz rozdz. IV/2.2.2.

Moduły z ogniw cienkowarstwowych składające się z kilku warstw różnych materiałów osadzonych na materiale nośnym mogą być produkowane w dowolnym kształcie, ale w praktyce najczęściej wytwarzane są w formie prostokąta o wymiarach zbliżonych do typowych modułów krystalicznych (najbardziej powszechne to 0,6 x 1,0-1,2 m)[361].

Grubość modułu zależy od jego wielkości i przyjętej technologii konstrukcyjnej. Standardowo dla laminatów typu szkło-folia wynosi ~4-5 mm, dla elementów typu szkło-szkło ~11 mm lub więcej w zależności od ilości i rodzaju tafli szklanych w obudowie.



Fot. 90. Giętkie moduły PV z obudową z poliwęglanu Makrolon®, prod. Sunovation GmbH.

Szerokie możliwości zastosowań architektonicznych zapewniają moduły zakrzywione (fot. 90), giętkie (tablice B/1.1 rys. 6, tablice B/1.2 rys. 7). Ogniwa cienkowarstwowe osadzane są na taśmach stalowych czy plastiku, dzięki czemu idealnie nadają się na powierzchnie zakrzywione. Dzięki charakterystycznym parametrom lekkie, cienkowarstwowe moduły można nakładać bezpośrednio na elementy budowlane o różnym kształcie (dachówki, szyby w oknach, płyty metaliczne lub plastikowe i wiele innych[362]). Dodatkowo, ze względu na brak szkła w konstrukcji, ogniwa takie są niezwykle lekkie, przez co nadają się do montażu nawet na lekkich membranach i konstrukcjach osłonowych.

W przypadku materiałów krystalicznych ze względu na grubość krzemowych płytek układanie na powierzchniach zakrzywionych stanowi problem, wygięcie powierzchni jest bowiem ograniczone kątem ugięcia samych ogniw, oraz obudowy szklanej.

4.2.4.
MOC MODUŁU PV

Przy wyborze modułu trzeba określić jego moc oraz napięcie wyjściowe. Moc modułów wyrażana w watach mocy szczytowej Wp w standardowych elementach zwykle kształtuje się pomiędzy 50-150 (200) Wp[363]. Modularna budowa systemów fotowoltaicznych umożliwia ich wykorzystanie w szerokim zakresie mocy, od kilku W do MW[364].

---

[361] Architekci preferują duże elementy szklane, z tego powodu dla integracji fasadowych korzystne wydaje się opracowanie większych produktów niż obecnie standardowo oferowane. Firma Würth Solar wspólnie z Glaswerke Arnold pracuje nad tzw. *patchworkami* – dwa podmoduły zalaminowane są razem i pokryte jednym frontowym szkłem tworząc element o wymiarach 6 x 3 m. GEYER D. et al., *Building integration of photovoltaic thin film modules in CIS technology – results of the research project HIPERPB*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona 2005.

[362] Patrz rozdz. IV/2.

[363] Moc dostarczana w warunkach standardowych tj. przy promieniowaniu słonecznym AM 1.5 o mocy 1000 W/m^2 i temperaturze otoczenia 25°C. W praktyce moduły rzadko pracują w warunkach standardowych. Patrz aneks 3.

[364] PIETNOCZKA W., *Generalne koncepcje fotowoltaicznych systemów zasilania,* Materiały szkoleniowe SOLTRAIN, 2004.

IV.
FOTOWOLTAICZNE POWŁOKI W BUDYNKACH PRZEMYSŁOWYCH

1.
FOTOWOLTAIKA ZINTEGROWANA Z BUDYNKIEM (BIPV)

„Wyobraź sobie miasto, w którym okna, fasady i świetliki generują energię bezpośrednio ze światła słonecznego. Bez hałasu. Bez wizualnego oddziaływania. Bez emisji dwutlenku węgla...." (MSK Corporation)

1.1.
DEFINICJA POJĘCIA

Fotowoltaika w środowisku budowlanym zyskuje na popularności. W ostatnich latach wyraźnym trendem w ewolucji tej technologii stało się jej coraz bliższe powiązanie z architekturą określane mianem „integracji". Obecnie sformułowanie **„fotowoltaika zintegrowana z budynkiem" - w skrócie z ang. BIPV**[365] - jest bardzo modne i chętnie stosowane, jednak ten funkcjonujący powszechnie w środowisku specjalistów i literaturze fachowej termin nie ma jak dotąd ściśle określonej, jednoznacznej merytorycznie definicji[366]. Widoczne są zatem pewne rozbieżności w szczegółowym rozumieniu pojęcia, choć mianownik pozostaje ten sam – zintegrowana oznacza *„połączona w całość, będąca częścią całości"*[367]. Przekładając to na płaszczyznę architektury i fotowoltaiki, zintegrowanie oznacza kombinację innowacyjnej technologii OZE z systemami budynku w taki sposób, aby wszystkie elementy tworzyły spójną całość.

PVIB (ang. *Photovoltaics in Buildings*) odnoszą się do wszelakich zastosowań fotowoltaiki w budownictwie.

BIPV (ang. *Building Integrated Photovoltaics*) to rzeczywista integracja systemu fotowoltaicznego ze strukturą obiektu, podwójna rola generatora energii i elementu architektonicznego.

Proces integracji jest złożony i skomplikowany, wymagający dużego zaangażowania i ścisłej współpracy specjalistów z różnych dziedzin. Udana integracja systemu PV z architekturą obiektu przemysłowego[368] to niełatwy do osiągnięcia kompromis pomiędzy techniką energetyki solarnej, techniką budowlaną i organizacją funkcjonalno-przestrzenną zakładu, do czego trzeba dodać jeszcze wiele innych kwestii – estetycznych, finansowych, prawnych, lokalizacyjnych, itp.

Fizycznie integracja systemu fotowoltaicznego z budynkiem polega na połączeniu pewnych jego komponentów z elementami powłoki obiektu[369]. Rozwiązania mogą być bardzo zróżnicowane, w zależności od potrzeb i moż-

[365] Systemy fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem powszechnie określane są skrótem BIPV - ang. *Building Integrated Photovoltaics* (GIPV – niem. *Gebäudeintegrierte Photovoltaik*).
[366] HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 79.
[367] Słownik języka polskiego, PWN, http://sjp.pwn.pl/.
[368] Analogicznie jest w przypadku obiektów o innej funkcji.
[369] Należy zauważyć, że pojęcie systemu BIPV jako zintegrowanego bezpośrednio z budynkiem nie odnosi się do każdego przypadku umieszczenia instalacji fotowoltaicznej na obiekcie. Czasami może być ona zupełnie niezależnym elementem infrastruktury technicznej, dla której budynek jest jedynie fizyczną platformą nośną. Wówczas jedyną funkcją systemu fotowoltaicznego jest generowanie zielonej energii elektrycznej, która dzięki podłączeniu do sieci energetycznej wykorzystywana jest w zupełnie innym miejscu.

liwości konkretnej sytuacji, a metody wciąż zmieniają się wraz z postępem techniczno-technologicznym zarówno w dziedzinie fotowoltaiki jak i architektury czy konstrukcji budynków.

Dzisiejsze realizacje zdecydowanie różnią się od pierwszych instalacji, dlatego też problem z jednoznacznym zdefiniowaniem systemów BIPV wynika również z faktu ich ciągłej ewolucji. Można zauważyć, że obecnie coraz częściej podkreślana jest kwestia zastępowania systemami BIPV konwencjonalnych materiałów budowlanych, co odzwierciedla aktualne możliwości i trendy na rynku technologii fotowoltaicznej.

Wielofunkcyjność to z pewnością jeden z najważniejszych aspektów nowoczesnej instalacji BIPV, która nie jest już wyłącznie generatorem zielonej energii elektrycznej. Dla architekta jest ona ważnym elementem kształtującym powłokę budynku - estetyczną i funkcjonalną przegrodę między strefą zewnętrzną a wewnętrzną, dla konstruktora obciążeniem wymagającym struktury nośnej, dla inżyniera natomiast elektronicznym systemem[370].

Technologie BIPV są aktualnie coraz silniej propagowane, uznano je bowiem za skuteczną metodę dla dalszego rozwoju i upowszechniania elektryki solarnej.

Definicja BIPV wg DOE (U.S. Department of Energy):
"Termin dla określenia projektowania oraz integracji technologii fotowoltaicznej (PV) z powłoką budynku, zazwyczaj zastępującej konwencjonalne materiały budowlane(...)."[371]

Definicja BIPV wg IPS Solar (Innovative Power Systems):
„Systemy elektryki solarnej, w których panele fotowoltaiczne stanowią część dachu lub fasady budynku, zastępując konwencjonalne materiały budowlane (...)."[372]

1.2.
METODY BUDOWLANEJ INTEGRACJI

1.2.1.
KLASYFIKACJA

Technik integracji fotowoltaiki z budynkiem jest wiele. Różnią się one od siebie w zależności od miejsca instalacji systemu PV, jego wielkości, funkcji, rodzaju przyjętej technologii, parametrów technicznych, wyglądu, kosztów, itd. Aby proces integracji zakończył się sukcesem, wybór odpowiedniej metody musi być z pewnością dobrze przemyślany i indywidualnie dostosowany do konkretnego projektu.

[370] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 16-17.
[371] www.eere.energy.gov/solar/solar_glossary.html.
[372] http://ips-solar.com/glossary.htm.

Możliwości budowlanej integracji zmieniały się na przestrzeni lat i jak dotąd w ich ewolucji wyraźnie zaznaczają się trzy ważne etapy rozwoju. Pierwszej generacji systemy BIPV, które pojawiły się w latach 80. XX wieku polegały na dodawaniu, tzn. montowaniu modułów PV na budynku za pomocą wykonanych na zamówienie struktur oraz elementów mocujących. Drugą generację stworzyły systemy, w których moduły PV zastąpiły niektóre konwencjonalne elementy powłoki częściowo przejmując ich funkcje. Wraz z dostępnością komercyjną giętkich laminatów PV pojawiła się kolejna, trzecia generacja systemów BIPV wykorzystująca sprawdzone rozwiązania budowlano-konstrukcyjne do wytworzenia nowych, wielofunkcyjnych elementów - w tym wypadku standardowe materiały budowlane trwale integrowane są z nowoczesnymi modułami PV.

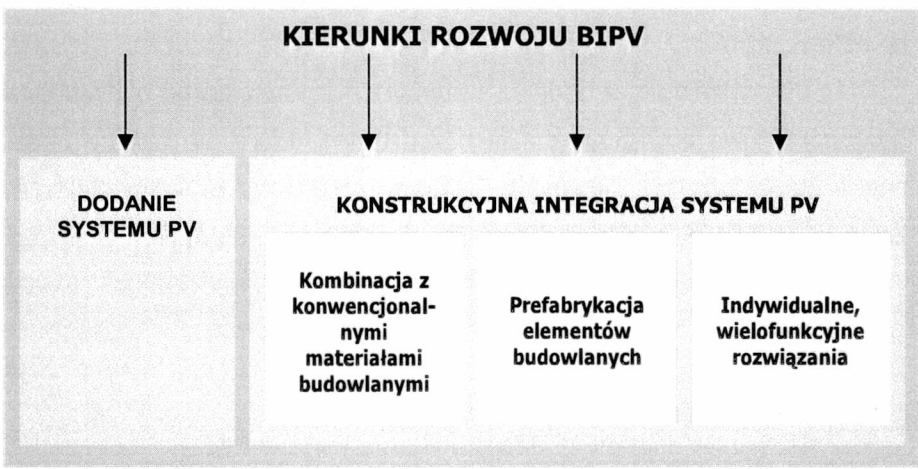
W innym ujęciu metody integracji można podzielić na dwie kategorie, takie jak:

- Integracja poprzez dodanie do powłoki budynku;
- Integracja konstrukcyjna.

Z kolei Hagemann[373] proponuje dokładniejszą klasyfikację (rys. 38), dzieląc metody integracji na cztery grupy:

- Integracja poprzez dodanie systemu PV;
- Kombinacja z konwencjonalnymi materiałami;
- Prefabrykacja elementów budowlanych;
- Indywidualne, wielofunkcyjne rozwiązania.

Trzeba zauważyć, że w rzeczywistości jednoznaczna klasyfikacja jest praktycznie niemożliwa, bowiem granice pomiędzy poszczególnymi metodami są dość płynne i niejednokrotnie zacierają się[374]. Aktualne trendy na rynku skłaniają się ku silniejszemu rozwojowi asortymentu produktów BIPV w postaci wielofunkcyjnych, integralnych materiałów budowlanych, ale w praktyce wachlarz stosowanych technik jest bardzo zróżnicowany i złożony.



Rys. 38. Kierunki rozwoju systemów BIPV wg. I. B. Hagemanna.

[373] HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 79.
[374] Ibid.

INTEGRACJA POPRZEZ DODANIE

Podstawową funkcją instalacji PV dodanej do budynku jest generowanie zielonej energii elektrycznej. W niektórych przypadkach taki system może nawet funkcjonować jako całkiem niezależny element infrastruktury technicznej, niezwiązanej z systemami obiektu, który stanowi wyłącznie podłoże, platformę nośną dla instalacji energetycznej[375]. Zakładając, że integracja oznacza współzależność i interakcję[376], można stwierdzić, iż dodanie systemu fotowoltaicznego do powłoki budynku nie zawsze będzie integracją w pełnym tego słowa znaczeniu, lub nie będzie integracją w ogóle.

Czasami tego rodzaju metoda, jaką jest dodanie (nałożenie) systemu PV będzie najbardziej odpowiednim lub wręcz jedynym możliwym rozwiązaniem. Bywa tak np. wtedy, gdy decyzja o instalacji podjęta zostaje już po zrealizowaniu obiektu, podczas jego remontu, renowacji, zmiany funkcji itp. Instalowanie fotowoltaiki na budynku istniejącym najczęściej polega właśnie na dodawaniu modułów PV do wcześniej powstałych ścian czy dachu - w taki sposób unika się ingerencji w konstrukcję i nie zakłóca użytkowania budynku. Zazwyczaj wykorzystywane są w tym celu masowo produkowane elementy standardowe, co pozwala ograniczyć koszty i usprawnia montaż.

W wielu sytuacjach dodanie/nałożenie systemu PV wydaje się być najbardziej odpowiednim sposobem, ale jeżeli celem ma być rzeczywiście integracja (przynajmniej częściowa) z budynkiem i jego architekturą, metoda ta nie zawsze będzie najprostsza. Ponieważ dla sprawnego funkcjonowania zarówno instalacji energetycznej jak i budynku niezbędne jest odpowiednie powiązanie ich systemów, rolą projektantów będzie dopasowanie systemu solarnego do istniejącej struktury obiektu i jego powłoki (konstrukcji, funkcji użytkowej, komfortu, estetyki) w taki sposób, aby wszystko razem sprawnie funkcjonowało, w miarę możliwości jako całość. Praktyka pokazuje, że tego typu instalacje realizowane są często najmniejszym nakładem pracy i kosztów, niedokładnie przemyślane i przeanalizowane pod kątem architektoniczno-estetycznym.

Należy pamiętać, iż dodanie systemu PV do istniejącego budynku stanowi dodatkowe obciążenie dla jego konstrukcji, które nie zawsze będzie ona w stanie przyjąć[377]. Elementy instalacji zmienią także formę, fakturę i kolorystykę powłoki. Dodane do obiektu zaprojektowanego i zrealizowanego

[375] Np. na obszarach gęsto zabudowanych gdzie jest problem z dostępnością terenu.
[376] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 9.
[377] Jest to szczególnie istotne w przypadku lekkich konstrukcji stosowanych powszechnie w budownictwie industrialnym. Na płaskich dachach ustawione na podkonstrukcji panele PV obciążone balastem np. w postaci żwiru będą dużym obciążeniem dla struktury dachu hali. Dodatkowo, podniesione moduły (nachylone dla optymalizacji zysków z promieniowania solarnego) w wietrznych warunkach atmosferycznych funkcjonują niczym żagle. Z kolei instalacja na istniejących fasadach wymaga zazwyczaj użycia specjalnych elementów mocujących, podkonstrukcji, itp.

bez uwzględnienia tego typu dodatków niekoniecznie będą się dobrze komponować z jego bryłą i aspektem wizualnym[378].

Wybór metody polegającej na nałożeniu systemu PV powoduje, że moduły są dla zewnętrznej skóry budynku jedynie dodatkiem, a nie jej integralną częścią, niezbędnym komponentem przejmującym niektóre zadania[379]. Jeżeli ich instalacja nie wprowadza decydujących zmian w konstrukcji budynku mogą być w razie potrzeby zdemontowane bez większych problemów, nie niszcząc skóry obiektu i nie ingerując w jego funkcjonowanie. Jest to więc dobry sposób dla rozwiązań niesprawdzonych (mniejsze ryzyko dla struktury i funkcji obiektu) oraz dla systemów czasowych np. testowanych, eksperymentalnych.

Z drugiej strony jednak dodanie systemu PV wymagające mechanicznego mocowania modułów, przeprowadzenia okablowania i innych komponentów generatora zawsze będzie w jakimś stopniu ingerencją w istniejącą strukturę powłoki - nieodpowiednio przeprowadzona instalacja może mieć różne negatywne skutki (utrata szczelności, itp.).

Ponieważ nakładanie modułów PV na istniejące elewacje zazwyczaj powoduje dublowanie zewnętrznego pokrycia, w przypadku nowo projektowanych obiektów unika się takiego rozwiązania (ze względów ekonomicznych, technicznych itd.). W miarę możliwości preferowane są systemy BIPV tworzące integralny element struktury zewnętrznej przegrody, przejmujący przynajmniej częściowo pewne jej funkcje.

INTEGRACJA KONSTRUKCYJNA

Postęp technologii umożliwił rzeczywistą integrację instalacji solarnej ze strukturą budynku. Największą zaletą takiego rozwiązania jest wielofunkcyjność systemu fotowoltaicznego – w wyniku integracji z elementami budowlanymi moduły PV nie tylko generują energię elektryczną, ale też przejmują w dużym stopniu zadania i funkcje konwencjonalnych komponentów zewnętrznej powłoki.

Tego rodzaju metoda integracji jest najbardziej odpowiednia dla nowo projektowanych obiektów i długoterminowych instalacji. Budowa z fotowoltaiką od początku, to dla projektanta zupełnie inne wyzwanie i zdecydowanie większe możliwości. Idealne rozwiązanie nie polega na zwykłym dodaniu systemu PV, ale na jego zaprojektowaniu jako integralnej części budynku[380].

---

[378] Dotyczy to przede wszystkim systemów nałożonych na istniejące ściany, natomiast w przypadku instalacji dodanych do rozległych, płaskich dachów hal industrialnych moduły fotowoltaiczne mogą w ogóle nie być widoczne z poziomu człowieka. Wówczas są więc po prostu dodatkowym elementem wyposażenia instalacyjnego zakładu, bez istotnego wpływu na jego architekturę.

[379] W niektórych wypadkach dodane elementy przejmują pewne zadania tradycyjnych komponentów powłoki lub je dublują. Np. nałożone na istniejącą elewację moduły PV mogą przejąć ochronną rolę okładziny, a zamontowane pod odpowiednim kątem nad otworami okiennymi kontrolować nasłonecznienie wnętrza, itd.

[380] REIJENGA T., *PV in Architecture*, in: HEGEDUS S., LUQUE A. (eds.), Handbook of Photovoltaics Engineering, John Wiley & Sons, New York 2002.

Dla optymalnego spełnienia licznych wymagań (estetycznych, funkcjonalnych, konstrukcyjnych, energetycznych, ekologicznych, ekonomicznych, itd.), planowanie inwestycji i jej wieloetapowa realizacja musi polegać na synergii wielodyscyplinarnych działań. Aby system BIPV stanowił integralną część indywidualnie zaprojektowanej powłoki budynku, w większości przypadków jego elementy muszą być specjalnie opracowane dla osiągnięcia pożądanych parametrów[381].

Część elementów BIPV produkowana jest już w postaci materiałów standardowych, choć większość stanowią indywidualne rozwiązania wytwarzane na zamówienie. Te ostatnie opracowywane są wspólnie przez specjalistów z różnych dziedzin – architektów, konstruktorów, instalatorów, inżynierów fasad, itp., zgodnie z aktualnym trendem projektowania nowoczesnych materiałów budowlanych. Niewątpliwą zaletą tego typu działań jest fakt, iż dzięki temu powstaje wiele ciekawych architektonicznie obiektów z wyjątkowymi detalami. Głównym problemem jest natomiast brak odpowiednich norm prawnych, szczególnie w przypadku materiałów niestandardowych, oraz ich wysokie koszty. Zastąpienie tradycyjnych materiałów budowlanych innowacyjnymi, wielofunkcyjnymi elementami systemu BIPV pozwala zredukować koszty związane z wyprodukowaniem i instalacją kilku odrębnych, ale wytwarzane na specjalne zamówienie materiały są droższe od elementów standardowych. Tak czy inaczej, ekobilans całości uznawany jest za korzystniejszy ze względu na mniejsze zużycie surowców, energii, itd.[382]

Możliwości dla integracji konstrukcyjnej jest wiele. Jedną z metod jest trwałe łączenie nowoczesnych, specjalnie zaprojektowanych modułów PV z konwencjonalnymi materiałami budowlanymi. Dla ujednolicenia elementów i skrócenia kosztów i czasu budowy tworzone są prefabrykaty, dzięki którym całe, duże elementy dachu czy ściany są od razu produkowane i dostarczane na miejsce budowy. Aby zainteresować potencjalnych klientów, zarówno użytkowników budynków jak i projektantów, gama produktów dostępnych na rynku jest stale poszerzana i udoskonalana. Coraz większe znaczenie zyskują kwestie związane z wyglądem, estetyką produktów.

1.2.2.
MIEJSCE INTEGRACJI

Moduły PV mogą być dodane do struktury budynku lub całkowicie zastąpić pewne jej komponenty. Możliwości integracji jest wiele, wszystkie jednak wiążą się z wyborem odpowiedniej powierzchni na zewnątrz obiektu.

Generalnie miejscem dla instalacji systemu fotowoltaicznego może być każda powierzchnia wystawiona na bezpośrednie promieniowanie słoneczne.

[381] Patrz rozdz. IV/2.
[382] Patrz rozdz. IV/3.

W praktyce niektóre fragmenty powłoki budynku nadają się do tego szczególnie. Ogólnie można wyróżnić trzy podstawowe kategorie:

- **Dachy** – płaskie i pochylone;
- **Ściany** – elewacje pionowe oraz ukośne, pochylone, zakrzywione;
- **Struktury specjalnej funkcji** – zintegrowane z zewnętrzną przegrodą dodatkowe elementy, tj. balustrady, zadaszenia, systemy zacieniające, markizy, ekrany, itp.

Ze względu na specyficzny charakter i skalę budynków architektura industrialna oferuje duży potencjał dla systemów BIPV każdego typu. Hale przemysłowe z rozległymi powierzchniami dachów i modularnymi, często jednolitymi elewacjami mogą być doskonałymi platformami dla produkcji energii.

Jak wspomniano wcześniej we współczesnej architekturze tradycyjny podział na dach i elewacje nie zawsze jest możliwy, niejednokrotnie zewnętrzne przegrody są bowiem zaawansowanymi technologicznie, wieloelementowymi powłokami o wielu funkcjach[383]. Z tego względu dalsza analiza tematyki związanej z integracją fotowoltaiki obejmuje kompleksowo ujętą powłokę, w skład której mogą wchodzić zarówno przegrody pionowe (o funkcji elewacji/fasady), jak i nachylone, zakrzywione (o funkcji elewacji/fasady i/lub dachu) a nawet częściowo horyzontalne (o funkcji dachu).

Szczegółowego opisu wybranych budynków dokonano w rozdziale V, w tablicach zestawiono ilustracje rozmaitych rozwiązań. Dla lepszej czytelności w dalszej części pracy odnośniki do przykładów konkretnych realizacji, zamiast w przypisach, umieszczono bezpośrednio w tekście, w nawiasach.

DACHY

Systemy typowo dachowe[384] nie dotyczą tematu pracy, dlatego nie zostały szczegółowo przeanalizowane. Ze względu na wspomniany wyżej charakter nowoczesnych przegród oraz fakt, iż niektóre rozwiązania stosowane są zarówno w konstrukcjach dachowych, jak i fasadowych, omówiono je w sposób bardzo skrótowy.

Dachy były pierwszym elementem struktury budynku, z którym zintegrowano fotowoltaikę. W budownictwie industrialnym rozległe zazwyczaj, dobrze nasłonecznione i niewykorzystane do innych celów płaszczyzny dachowe oferują bardzo dobre warunki dla instalacji solarnych. Największym potencjałem, szczególnie dla systemów dużej skali, odznaczają się tzw. „blaszane pudła", czyli typowe hale z płaskim przekryciem[385]. W badaniach przeprowadzonych w ramach projektu IEA Task 74 stwierdzono, że duże fabryki i

[383] Patrz rozdz. II/1.
[384] Dotyczy instalacji na przegrodach o charakterze tradycyjnie pojmowanego dachu.
[385] W sektorze industrialnym powierzchnie dachów są na tyle duże, że w skali światowej ich wykorzystanie jako solarnych elektrowni mogłoby zapewnić wyjątkowe możliwości dla dalszego rozwoju OZE. Wg J. Slangerupa z SIT (Solar Integrated Technologies) w roku 2010 w Kalifornii dostępnych będzie 3,6 mld stóp kwadratowych powierzchni płaskich dachów industrialnych. Gdyby pokryć je materiałami BIPV dachy te mogłyby generować 9 GW odnawialnej energii elektrycznej, co stanowi 15% szczytowego zapotrzebowania na energię stanu Kalifornia. http://www.energyvortex.com.



Fot. 91. Deutsche Solar, Freiberg. Dwa rodzaje dachowych instalacji PV – system mocowany do blachy trapezowej na dachu spadzistym i nachylone panele ustawione na płaskim dachu.



Fot. 92. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999). Panele PV na dachu szedowym fabryki.

budynki korporacji z płaskim dachem mogą oferować dla fotowoltaiki płaszczyznę stanowiącą ekwiwalent średnio ¼ powierzchni przyziemia obiektu[386].

Systemy instalowane na płaskich dachach (nakładane) to najprostsza i często najtańsza metoda[387]. Ich zaletą jest fakt, iż moduły mogą być dowolnie orientowane i nachylone dla optymalizacji zysków z promieniowania solarnego (fot. 91). Zastosowanie systemów śledzących pozwala na zmienną orientację modułów PV zgodnie z ruchem Słońca.

W przypadku dachów spadzistych odpowiednio nachylona powierzchnia przekrycia, zorientowana najlepiej w kierunku południowym, od razu stanowi platformę nośną dla instalacji PV (fot. 91). Często stosowane w budownictwie przemysłowym dachy pilaste (szedowe) mogą być bardzo dobrze wykorzystane do tego celu (fot. 92, V/011). Wówczas od strony północnej przeszklenie doświetla wnętrze, a od strony południowej, zazwyczaj optymalnie nachylonej, umieszczane są moduły fotowoltaiczne generujące energię elektryczną.

Do aplikacji fotowoltaiki dobrze nadają się świetliki. Nieprzeźroczyste elementy BIPV mogą pokryć płaszczyzny szedowych konstrukcji (V/001, V/028), natomiast częściowo transparentne różnego rodzaju powierzchnie przepuszczające światło dzienne, co pozwala kontrolować oświetlenie wnętrza, chronić od przegrzania i olśnienia (V/003). Analogicznie jest w przypadku różnej konstrukcji dachów szklanych (atria, szklane hale), zazwyczaj projektowanych w postaci szkieletowej struktury metalicznej, której konwencjonalne wypełnienie można zastąpić szklanym modułem PV.

Dzięki nowoczesnym, giętkim materiałom solarnym moduły fotowoltaiczne mogą być zintegrowane z płaszczyznami różnego kształtu – zarówno prostymi (dachy płaskie lub nachylone, świetliki, atria), jak i zakrzywionymi (świetliki, struktury łukowe, itp.).

Od rodzaju konstrukcji dachowej zależy wybór odpowiedniej metody integracji systemu PV. Można je podzielić na trzy główne kategorie:

- Dodane do budynku:
  - mechanicznie przytwierdzone do struktury dachu,
  - osadzone pod wpływem ciężaru własnego;
- Zintegrowane z dachem, o dodatkowej funkcji materiału budowlanego (np. dachówki, specjalistyczne papy, folie, blachy dachowe[388]).

Systemy prawdziwie zintegrowane ze strukturą pokrycia dachowego mają mniejszy ciężar, nie są tak widoczne i lepiej integrują się z architekturą. Wymagają natomiast dokładnego zaprojektowania i dostosowania odpo-

[386] Przykładowo, jeśli powierzchnia przyziemia wynosi 100 m^2 odpowiednia powierzchnia dla instalacji PV to 25 m^2 dachu płaskiego. Dla porównania potencjał dachu pochylonego lub fasady wynosi jedynie 15 m^2. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 39.

[387] Tego typu działanie nie jest integracją. Elementy systemu PV są mało lub w ogóle niewidoczną z poziomu człowieka elektrownią.

[388] Patrz rozdz. IV/2.

wiedniego rozwiązania (systemu mocującego, wielkości elementów, rodzaju materiału i jego parametrów, itd.) oraz starannej instalacji dla uniknięcia problemów związanych z obciążeniem, penetracją w strukturze dachu, konserwacją i naprawami[389]. Ze względu na częste występowanie na dachu elementów instalacji technicznej (np. wentylacji), a także w razie realizacji dachów zielonych, trzeba pamiętać o zapobieganiu zacienienia powierzchni aktywnej innymi elementami[390]. Dla konstrukcji płaskich lub o słabym nachyleniu niezbędny jest swobodny odpływ wody opadowej oraz usuwanie śniegu.



Fot. 93. Deutsche Solar, Freiberg (2001). Instalacja fasadowa (100 kWp) – w pasach międzyokiennych zamontowano 625 modułów PV w układzie wertykalnym oraz nachylonym.

ŚCIANY – ELEWACJE/FASADY

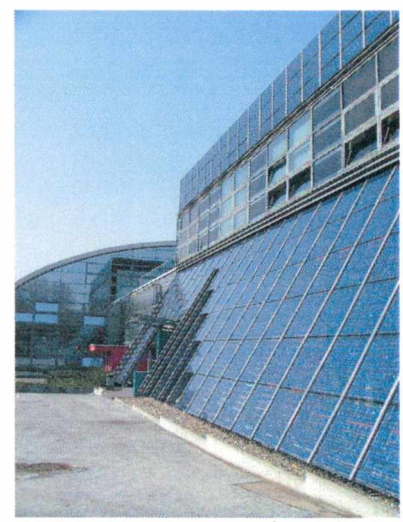
Zewnętrzne ściany budynku, choć do tej pory wykorzystywane zdecydowanie rzadziej niż płaszczyzny dachowe, oferują zwracający uwagę potencjał dla integracji fotowoltaiki. Powłoki typowych hal przemysłowych (magazynowych, produkcyjnych, itp.) z dużymi powierzchniami jednorodnych elewacji, a także innego charakteru, bardziej wyszukane pod względem estetycznym ściany strefy reprezentacyjnej, administracyjno-biurowej mogą być wykorzystane dla instalacji każdego typu – dodanych lub bezpośrednio zintegrowanych ze strukturą (tablice D/1, D/2).



Fot. 94. SMA – budynki nr 6 i 4, Kassel. Dwa rodzaje szklanych fasad BIPV – z tyłu konstrukcja nachylona, z przodu pionowa.

Wśród aktualnych możliwości konstrukcyjnych i dostępnych na rynku systemów fasadowych praktycznie większość nadaje się do integracji z elementami systemu fotowoltaicznego (tab. 4). Możliwości jest wiele – odpowiednie będą zarówno nieprzeźroczyste, jak i przeszklone fragmenty elewacji. Duże, nawet całe powierzchnie ścian, lub mniejsze części np. w postaci pasów międzyokiennych (fot. 93, tablice D/1.3), poszczególnych elementów okładziny czy okien (fot. 94, 95).

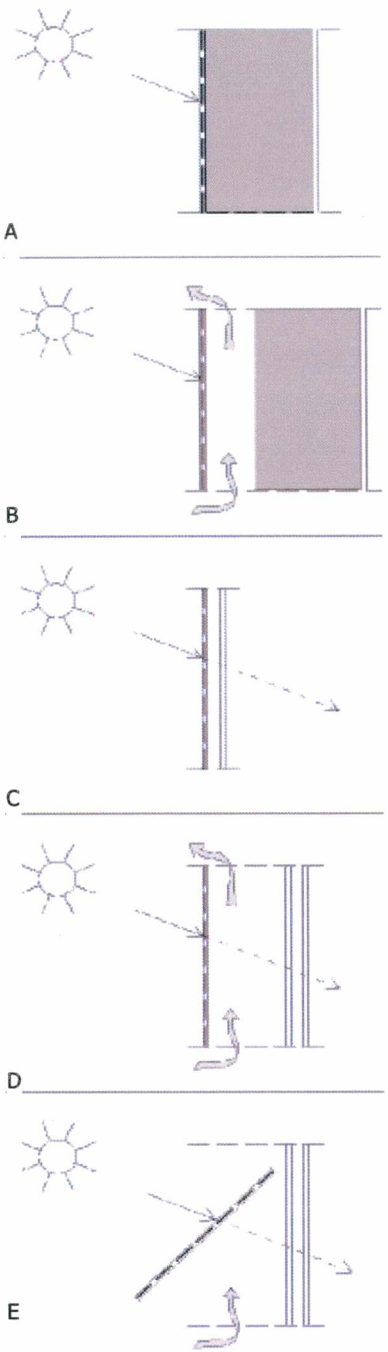
Ogólnie struktury elewacyjne można podzielić na konstrukcje wentylowane (fasady zimne), niewentylowane (fasady ciepłe) oraz mieszane. Ze względu na nagrzewanie się modułów PV dla ich sprawnego i efektywnego funkcjonowania niezbędne jest dostosowanie odpowiedniego materiału ogniw fotowoltaicznych do rodzaju struktury[391].



Fot. 95. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Trzy systemy BIPV: wentylowana okładzina, okna, szklana konstrukcja nachylona.

Ze względu na swoją budowę fasady zimne[392] nadają się idealnie dla zastosowania modułów PV (tablice D/1.1), szczególnie tych z krzemu krystalicznego. Element BIPV tworzy zewnętrzną warstwę okładziny, która chroni od czynników klimatycznych i nadaje budynkowi wyraz estetyczny, nie pełniąc przy tym funkcji nośnej, ani izolacyjnej. Pustka pomiędzy okładziną a warstwą izolacji termicznej zapewnia cyrkulację powietrza korzystną dla wydajnego funkcjonowania modułów PV (rys. 39 B, D, E). Najczęściej stosuje się w takich strukturach laminaty typu szkło-folia, rzadziej moduły szklane.

[389] Najnowszej generacji materiały cienkowarstwowe pozwalają na chodzenie po nich, natomiast w przypadku modułów szklanych takiej możliwości nie ma.
[390] Np. w przypadku modułów PV ustawianych na płaskim dachu na specjalnych strukturach trzeba pozostawić odpowiednie odległości pomiędzy rzędami paneli.
[391] Patrz rozdz. III/3, IV/2.
[392] Patrz rozdz. IV/2.1.



Rys. 39. Konstrukcje fasad dla integracji z systemem PV. Od góry: fasady nieprzeźroczyste – ciepła (A) i zimna (B), fasady częściowo transparentne – ciepła (C), wentylowana (D), pochylona (E).

Okablowanie elektryczne umieszczane jest w kanałach pomiędzy elementami konstrukcji fasady (najczęściej przy izolacji termicznej).

Tzw. ciepła fasada tworzy powłokę budynku łączącą w sobie funkcję ochrony od klimatu, akustyki, izolacji termicznej (tablice D/1.2). Ponieważ struktura nie jest wentylowana, dla integracji z fotowoltaiką najbardziej korzystne będą mniej wrażliwe na wysokie temperatury materiały cienkowarstwowe. Ciepłe fasady BIPV mogą być nieprzeźroczyste (rys. 39 A) lub częściowo transparentne[393] (rys. 39 C). Dla budownictwa industrialnego szczególnie korzystna jest możliwość integracji cienkowarstwowego laminatu PV z izolowaną termicznie płytą warstwową powszechnie stosowaną w lekkiej obudowie[394]. W konstrukcjach fasad ciepłych okablowanie zazwyczaj ukrywane jest pod listwami maskującymi, lub chowane w profilach konstrukcyjnych (np. w strukturach słupowo-ryglowych).

W strukturach mieszanych – tzw. fasadach ciepło-zimnych – moduły PV także mogą być użyte na wiele sposobów (zarówno w części wentylowanej, jak i niewentylowane). Dla integracji z fotowoltaiką dobrze nadają się również fasady podwójne, gdzie moduły wykorzystywane są często jako system zacieniający, jednak tego rodzaju konstrukcje ze względu na wysokie koszty raczej nie są stosowane w budownictwie industrialnym.

Niezależnie od wyboru metody integracji zastosowanie systemu BIPV na elewacjach wymaga przede wszystkim wykorzystania do tego celu ścian odpowiednio zorientowanych względem kierunków świata, tzn. optymalnie na południe. Trzeba pamiętać, że ściany są bardziej niż dachy podatne na zewnętrzne efekty zacieniania od sąsiednich obiektów, zieleni, itd.[395]

Typowe, pionowe płaszczyzny ścian (tablice D/1) nie są idealnie ustawione względem promieni słonecznych, jednak w przypadku systemów BIPV zastępujących konwencjonalne materiały budowlane wada ta jest kompensowana możliwością przejęcia przez moduły PV wielu dodatkowych funkcji typowych dla zewnętrznej przegrody[396].

W przypadku gdy panele PV osadzone są na podkonstrukcji z lekkich profili przytwierdzonych do konstrukcji nośnej (np. w instalacjach dodanych do istniejącej struktury), mogą być usytuowane zarówno w sposób równoległy do okładziny elewacyjnej, jak i nachylone pod odpowiednim kątem dla optymalizacji zysków z promieniowania (fot. 93, V/002). Innym rozwiązaniem jest odpowiednie nachylenie całej konstrukcji fasady (V/008, V/016, V/022, tablice D/2.1). Wówczas pokrywające ją materiały BIPV będą bez dodatkowych zabiegów optymalnie ustawione względem Słońca. Pochylone konstrukcje mogą ograniczać powierzchnię użytkową, zakłócać funkcjonal-

[393] Patrz rozdz. IV/2.2.1.
[394] Patrz rozdz. IV/2.2.3.
[395] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...* , s. 44.
[396] Patrz rozdz. IV/2.

ność wnętrza, są też zazwyczaj droższe. Dla struktur zakrzywionych (np. gdy pionowa ściana przechodzi płynnie z elewacji w dach) odpowiednie zaprojektowanie instalacji BIPV jest trudniejsze, ze względu na zmienny kąt nachylenia modułów (V/011, V/014, V/022, tablice D/2.2). Tego typu elewacje nadają budynkowi interesujący wygląd i realizowane są najczęściej w strefach wejściowych, jako charakterystyczny, reprezentacyjny element architektury.

KRYTERIUM	RODZAJ STRUKTURY FASADOWEJ/ELEWACYJNEJ
Rodzaj konstrukcji (nachylenie)	- prosta (pionowa) - nachylona (nachylenie stałe, zmienne) - zakrzywiona
Rodzaj konstrukcji (widoczność)	- widoczna konstrukcja nośna - niewidoczna konstrukcja nośna
Rodzaj konstrukcji (budowa)	- jednopowłokowa - wielowarstwowa
	- konstrukcje słupowo-ryglowe z wypełnieniem - kurtyny (elementy zawieszone na konstrukcji nośnej) - konstrukcje cięgnowe - podwójne fasady - inne
Sposób wentylowania	- wentylowana (fasady zimne) - niewentylowana (fasady ciepłe) - mieszana (fasady ciepło-zimne)
Transparentność	- nieprzeźroczysta - częściowo transparentna
Rodzaj szklenia	- strukturalne - semistrukturalne - inne
Mocowanie elementów	- widoczne - ukryte
	- mechaniczne - klejone - zawieszane - inne
Rodzaje pokrycia	- lekka obudowa - okładziny - szklenie
Izolacja termiczna	- ocieplana - nieocieplana

Tab. 4. Różne kryteria podziału struktur elewacyjnych dla integracji z generatorem PV.

Fotowoltaiczne instalacje ścienne (elewacyjne/fasadowe) są najbardziej widoczne dla obserwatora, z tego powodu techniczne oraz estetyczne wymagania dla tego typu rozwiązań są bardzo wysokie (konieczność odpowiedniej orientacji, ukrycie okablowania, trudności montażowe, itd.). Od elewacji zależy w bardzo dużym stopniu charakter budynku, a co się z tym łączy także sposób, w jaki przedsiębiorstwo odbierane jest na zewnątrz. W architekturze industrialnej fasady często projektowane są wręcz specjalnie dla wyrażenia profilu działalności. Obok podstawowej funkcji, jaką jest generowanie zielonej energii elektrycznej, system BIPV może być więc w tym wypadku szczególnym środkiem kształtowania nowoczesnej architektury - optycznie zmienia charakter zewnętrznej skóry, pełni funkcję reklamową, informacyjno-edukacyjną i przejmuje różnego rodzaju zadania konwencjonalnych komponentów budowlano-konstrukcyjnych[397].

Kwestie istotne dla integracji PV ze ścianą budynku:

- dodatkowe obciążenie
- obciążenie wiatrem
- nagrzewanie modułów
- czyszczenie i konserwacja
- długość życia elementów
- dopasowanie wymiarów
- walory estetyczne
- zacienianie

[397] Ochrona od warunków atmosferycznych, kontrola oświetlenia, itd. - patrz rozdz. IV/2.

STRUKTURY SPECJALNEJ FUNKCJI

Różnego rodzaju struktury dodane do zewnętrznych ścian budynku mogą być bardzo dobrym miejscem dla integracji modułów PV (tablice D-3). Architekci często wykorzystują taką możliwość w projektach nowych obiektów, lub dodając tego typu elementy do już istniejących budynków, np. w ramach rewitalizacji zewnętrznej powłoki.

Szczególnie korzystne dla materiałów BIPV są różnego rodzaju systemy chroniące od Słońca, instalowane nad otworami okiennymi, na przeszklonych fasadach, atriach, szklanych dachach itp. Odpowiednie będą struktury o bardzo zróżnicowanej budowie, kształcie i wymiarach, w postaci zadaszeń, markiz, systemów typu *brise-soleil*, żaluzji czy lamel przeciwsłonecznych. Kombinacja dobrze wyeksponowanego na działanie Słońca systemu zacieniającego (redukującego nagrzewanie wnętrza i oślepianie) z funkcją generatora energii PV jest jak najbardziej logiczna[398]. Dodatkowo, konstrukcje te zapewniają dobrą wentylację tylnej strony nagrzewających się silnie modułów, co skutecznie podwyższa ich efektywność (V/007).

W zależności od funkcji i budowy danego systemu struktury mocowane są od strony zewnętrznej w układzie wertykalnym, horyzontalnym, prostopadle do powłoki lub pod odpowiednim kątem. Miejscem dla ogniw solarnych mogą być też systemy zacieniające umieszczone w przestrzeni międzyszybowej np. w szybach zespolonych.

Fotowoltaiczne struktury specjalnej funkcji mogą być nieruchome (tablice D/3.1) lub mobilne (tablice D/3.2).

W pierwszym wypadku będą to zewnętrzne żaluzje o stałym nachyleniu, zadaszenia (fot. 96), ekrany nad otworami okiennymi lub drzwiowymi (V/003, V/004, V/007, V/008, V/027, tablice C/11 - C/12), które przytwierdzone są do powłoki budynku w celu ochrony od opadów atmosferycznych, zapewnienia prywatności, bezpieczeństwa czy też jedynie ze względów dekoracyjnych. Innym miejscem dla integracji modułów PV mogą być też odpowiednio wyeksponowane w kierunku Słońca balustrady[399] (fot. 97).



Fot. 96. Top Sky I, prod. Schüco International. System zadaszeń fotowoltaicznych o stałym kącie nachylenia.



Fot. 97. Sekisui Jushi Corp., Shiga. Instalacja testowa NEDO w postaci balustrady z dwustronnymi modułami fotowoltaicznymi firmy HITACHI.

[398] Patrz rozdz. IV/3.4.

[399] W tym wypadku szczególnie korzystne jest zastosowanie w budowie modułów ogniw dwustronnych pozwalających na większe zyski z energii solarnej. Tego typu elementy produkuje m.in. firma HITACHI.

Systemy ruchome są kompleksowym i kosztownym rozwiązaniem, ale z pewnością bardziej efektywnym. Sterowane żaluzje (fot. 98, V/010, V/011, V/013, tablice C/12.2, C/12.3) podążając za ruchem Słońca umożliwiają optymalne wykorzystanie promieni słonecznych dla generowania energii elektrycznej. Jednocześnie spełniają zadanie kontroli nasłonecznienia - zapewniają oświetlenie wnętrza światłem dziennym, chronią od olśnienia, redukują zyski termiczne. Specjalne systemy obracają osiowo (jedno lub dwuosiowo) poszczególne lamele, z którymi zintegrowano fotoogniwa w taki sposób, aby promienie słoneczne padały prostopadle na ich powierzchnię. Często stosowanym rozwiązaniem jest kierowanie elementów za pomocą systemu termohydraulicznego (V/010), który do generowania ruchu wykorzystuje jedynie ekspozycję na Słońce bez potrzeby dodatkowych urządzeń zasilanych energią elektryczną. Niektóre systemy automatycznego sterowania umożliwiają indywidualną kontrolę, inne sterowane są wyłącznie za pomocą centralnego systemu[400].



Fot. 98. Scheuten Solar, Gelsenkirchen. System ruchomych, pionowych lameli przeciwsłonecznych z ogniwami fotowoltaicznymi.

Struktury specjalnej funkcji dodawane do powłoki projektowane są indywidualnie dla danego budynku, lub wykorzystywane są dostępne na rynku sprawdzone rozwiązania, które bez problemu nadają się do integracji z ogniwami solarnymi (tablice C/11, C/12). Istnieją również standardowe systemy opracowywane specjalnie dla systemów BIPV (tablice C/12.1).

Odpowiednio dobrane moduły PV można bez problemu zintegrować z każdym materiałem, z którego wykonuje się konwencjonalne struktury[401] (tj. szkłem, tworzywem sztucznym, materiałami metalicznymi, tekstyliami, membranami). Aktualnie technologia fotowoltaiczna pozwala już na integrację ze strukturami wszelkich kształtów - mogą być one proste, płaskie a nawet zakrzywione i giętkie. Odpowiednie będą zarówno elementy o charakterze nieprzeźroczystym jak i częściowo transparentne (tj. szkło, tworzywa sztuczne). Elementy konstrukcyjne wykonane z profili aluminiowych lub stalowych można wykorzystać do ukrycia okablowania.

1.2.3.
POTENCJAŁ POWIERZCHNI ODPOWIEDNIEJ DLA BIPV

Wg badań przeprowadzonych w ramach programu IEA PVPS Task VII w większości budynków dla instalacji solarnej można wykorzystać ~60% powierzchni dachu i ~20% powierzchni elewacji (uwzględniając różne czynniki tj. elementy konstrukcyjne, zacieniające, historyczne czy zagrożenie wandalizmem)[402]. Mniej więcej połowa tej powierzchni nie będzie jednak odpowiednio nasłoneczniona. Współczynnik użyteczności, będący stosunkiem

[400] Patrz rozdz. IV/3.4.
[401] Niezbędne jest dostosowanie technologii budowy modułu – materiały krystaliczne w szklanej obudowie nie znajdą zastosowania na giętkich materiałach.
[402] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 194.

„architektonicznie odpowiedniej powierzchni solarnej do powierzchni przyziemia budynku" wynosi dla fasad: 0,15, dla dachu: 0,4. Oznacza to, że na 100 m^2 powierzchni przyziemia budynku około 15 m^2 elewacji i 40 m^2 dachu będzie odpowiednie dla integracji z instalacją fotowoltaiczną[403].

Kraj		Budynki przemysłowe [km^2]	Wszystkie budynki [km^2]
Australia	**Fasada**	2,25	158,34
	Dach	6,00	422,25
Austria	**Fasada**	5,70	52,36
	Dach	15,19	139,62
Dania	**Fasada**	3,98	32,99
	Dach	10,60	87,98
Finlandia	**Fasada**	3,98	32,99
	Dach	19,16	127,31
Hiszpania	**Fasada**	10,67	168,31
	Dach	55,12	448,82
Holandia	**Fasada**	19,78	97,26
	Dach	52,75	259,36
Japonia	**Fasada**	28,46	362,39
	Dach	75,89	966,38
Kanada	**Fasada**	22,73	361,33
	Dach	60,60	963,54
Niemcy	**Fasada**	86,12	485,97
	Dach	229,66	1295,92
Szwajcaria	**Fasada**	7,89	51,83
	Dach	21,05	138,22
Szwecja	**Fasada**	12,35	82,04
	Dach	32,92	218,77
USA	**Fasada**	226,04	3786,10
	Dach	602,76	10 096,26
Wielka Brytania	**Fasada**	23,10	343,00
	Dach	61,61	914,67
Włochy	**Fasada**	51,28	286,32
	Dach	136,75	763,53

Tab. 5. Potencjał odpowiedniej dla instalacji BIPV powierzchni fasady i dachu budynków w wybranych krajach świata. Dane: NET Nowak Energy & Technology Ltd., Szwajcaria. Na podst. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 196.

Ogólny potencjał dla BIPV na powłokach budynków industrialnych pokazują dane IEA (International Energy Agency) z roku 1998, wg których w centralno-zachodniej Europie na jedną osobę przypada ~1,0 m^2 fasady odpowiedniej dla integracji z systemem fotowoltaicznym (tab. 7).

Potencjał produkcji energii fotowoltaicznej [TWh/rok]			
Kraj	**Σ (fasady + dachy)**	**Fasady**	**Dachy**
Australia	84 057	15 881	68 176
Austria	18 725	3528	15 197
Dania	10 865	2155	8710
Finlandia	14 827	3063	11 763
Hiszpania	86 473	15 784	70 689
Holandia	31 887	6210	25 677
Japonia	146 872	29 456	117 416
Kanada	151 762	33 054	118 708
Niemcy	160 040	31 754	128 296
Szwajcaria	18 410	3367	15 044
Szwecja	26 692	5515	21 177
USA	2 080 661	418 312	1 662 349
Wielka Brytania	105 395	22 160	83 235
Włochy	126 904	23 827	103 077

Tab. 6. Potencjał produkcji energii elektrycznej przez systemy BIPV (przy założeniu dobrych zysków solarnych tzn. 80% maksymalnych). Dane: IEA for electricity consumption for 1998. Na podst. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 197.

[403] Ibid.

Choć fasady BIPV mają zdecydowanie mniejszy udział w produkcji energii solarnej w porównaniu do dachów, mimo wszystko mogą mieć jednak istotny wkład. Ogólne korzyści z pewnością są niezaprzeczalne, co wynika m.in. z wielofunkcyjności tego typu instalacji (rola edukacyjna, marketingowa, eksperymentalna, estetyczna itd.) ich widoczności oraz różnorodności.

Rodzaj budynków	Dach	Fasada
Budynki przemysłowe	2,5 m^2	1,0 m^2
Budynki użyteczności publicznej	2,5 m^2	1,0 m^2
Rolne	3,0 m^2	0,5 m^2
Mieszkalne	9,0 m^2	3,5 m^2
Inne	1,5 m^2	0,5 m^2
Σ	18,0 m^2	6,5 m^2

Tab. 7. Potencjał BIPV w m^2 / *per capita* dla krajów centralno-zachodniej Europy. Dane: NET Nowak Energy & Technology Ltd., Szwajcaria. Na podst. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 195.

1.3.
ASPEKTY ARCHITEKTONICZNEJ INTEGRACJI GENERATORA PV

Wprowadzenie systemu fotowoltaicznego do środowiska architektoniczno-budowlanego tworzy specyficzne warunki dla funkcjonowania technologii. Z kolei dla budynku skutkuje nowymi cechami i wartościami użytkowymi, formalnymi, itd.

Identyfikacja podstawowych czynników, jakie należy wziąć pod uwagę podczas planowania, projektowania, wznoszenia i użytkowania instalacji PV zintegrowanej z budynkiem przemysłowym jest niezbędna dla uniknięcia konfliktów pomiędzy wymogami solarnej technologii a aspektami nowoczesnej architektury. Osiągnięcie maksymalnej równowagi jest zadaniem trudnym i złożonym, wymagającym dużego zaangażowania i wiedzy ze strony projektantów. Ostateczny rezultat zależy od powiązanych ze sobą na różnych płaszczyznach indywidualnych cech danego przypadku – aspektów lokalizacyjnych, funkcjonalnych, technicznych, estetycznych, finansowych, prawnych[404], itd.

1.3.1.
ASPEKTY SOLARNE - OPTYMALIZACJA ZYSKÓW ENERGII

Głównym celem wykorzystania fotowoltaiki w kształtowaniu budynku jest konwersja promieniowania solarnego w zieloną energię elektryczną.

[404] W niniejszej pracy nie podjęto szczegółowej analizy wszystkich aspektów integracji systemu fotowoltaicznego z powłoką budynku przemysłowego, m.in. kwestii prawnych, ekonomicznych. W praktyce aspekty finansowe są jedną z decydujących kwestii przy podejmowaniu decyzji o integracji fotowoltaiki z budynkiem. Architekci muszą mieć świadomość, że dobór odpowiedniej technologii, parametrów urządzeń i sposób ich integracji ma duże znaczenie dla ekonomiczności projektu. Specjalistyczne materiały BIPV są droższe od standardowych modułów PV, jednak w ocenie końcowej systemy zintegrowane uznaje się za bardziej ekonomiczne w porównaniu do aplikacji dodawanych do budynków ze względu na fakt, iż moduły przejmują wiele dodatkowych funkcji poza generowaniem energii elektrycznej.

Maksymalizacja zysków światła słonecznego jest sprawą pierwszej wagi dla każdego systemu BIPV. Niezbędna dla sprawnego i efektywnego funkcjonowania instalacji fotowoltaicznej, wywiera jednocześnie wpływ na architekturę budynku – w szczególności na ukształtowanie jego powłoki. Planując nowe realizacje, projektanci mają wiele możliwości dla osiągnięcia optymalnego rezultatu, natomiast w przypadku instalacji dodawanych do obiektów pole manewru jest zdecydowanie mniejsze i wymaga więcej kompromisów.

Choć idealne warunki rzadko kiedy będą możliwe do uzyskania, dla sprawnego i efektywnego funkcjonowania systemu pewne zasady muszą zostać spełnione. Na efektywność energetyczną danej instalacji BIPV bezpośrednio wpływa wiele czynników, takich jak:

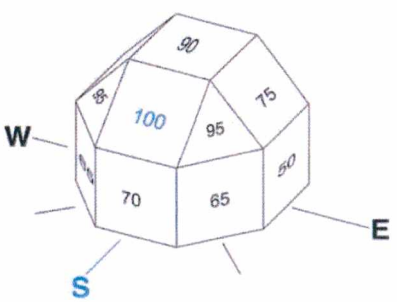
- Promieniowanie słoneczne;
- Cień;
- Temperatura;
- Dopasowanie ogniw/modułów;
- Straty prądu w okablowaniu.

Znajomość danych dotyczących promieniowania słonecznego[405] i ich optymalne wykorzystanie łączy się ze zwróceniem uwagi na następujące kwestie:

- Charakterystyka miejsca (lokalizacja geograficzna, wysokość nad poziomem morza, typ klimatu);
- Stan atmosfery (przejrzystość, zanieczyszczenie powietrza);
- Dobowa i sezonowa zmienność promieniowania;
- Lokalizacja na miejscu (otoczenie, obecność elementów zacieniających w postaci zieleni, innych budynków, itd.);
- Orientacja i nachylenie powierzchni recepcyjnej generatora PV.

ORIENTACJA I NACHYLENIE MODUŁÓW PV

Celem instalacji fotowoltaicznej dołączonej do sieci jest optymalizacja rocznych zysków energetycznych[406]. Ilość energii elektrycznej wygenerowanej przez system BIPV zależy bezpośrednio od orientacji i nachylenia modułów PV względem Słońca (rys. 40). Architekci mogą mieć na to duży wpływ stosownie kształtując powłokę budynku i/lub wybierając odpowiednie jej fragmenty dla integracji fotowoltaiki.



Rys. 40. Zależność zysków energetycznych (w procentach) od orientacji i nachylenia generatora PV. W centralno-zachodniej Europie optymalne warunki zapewnia orientacja południowa i nachylenie pod kątem ~30° w stosunku do poziomej powierzchni.

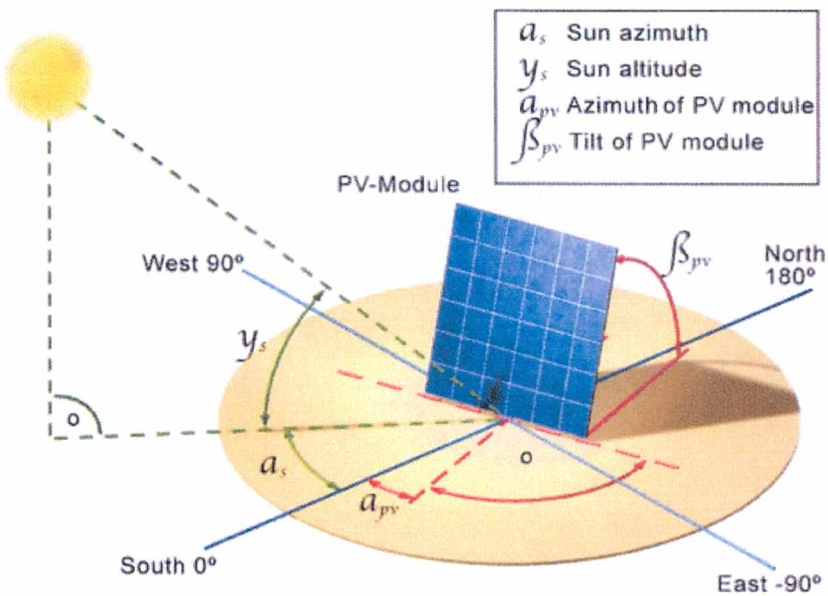
Optymalną orientacją jest kierunek równika, ale odchylenia w kierunku południowo (północno) - zachodnim i południowo (północno) - wschodnim zapewnią też korzystne warunki[407]. Dla lepszych zysków energii solarnej powierzchnia recepcyjna powinna być też dodatkowo odpowiednio nachylo-

[405] Patrz aneks 4.
[406] Dla porównania, w przypadku kolektorów istotna jest ilość wygenerowanej energii w danym momencie.
[407] Porównanie parametrów dla różnych lokalizacji – patrz. aneks 4.

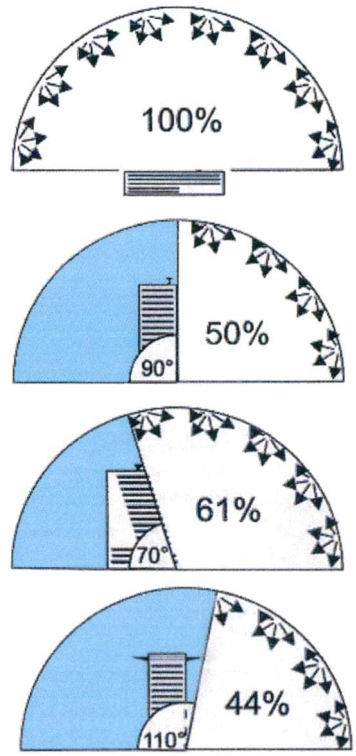
na[408] - w ten sposób optymalizowana jest ilość padającego prostopadle promieniowania bezpośredniego.

Idealne parametry dla ustawienia modułów PV zależą od lokalizacji systemu BIPV – szerokość geograficzna wpływa na zyski z energii solarnej, dlatego pomiędzy północną Europą a południową można już zauważyć istotną różnicę[409]. Przyjmuje się, że kąt nachylenia generatora PV powinien odpowiadać szerokości geograficznej miejsca lokalizacji obiektu[410].

Wskutek ruchu Słońca zyski energii solarnej ulegają zmianom w cyklu dobowym i sezonowym. Optymalny kąt nachylenia powiązany jest zatem ze zmianą wysokości Słońca – im większy kąt nachylenia powierzchni recepcyjnej, tym większe zyski z energii solarnej nastąpią w porze zimowej, a mniejsze latem[411].



Dla integracji fotowoltaiki orientacja i nachylenie powłoki to kluczowe zagadnienie. Większość zewnętrznych ścian w budynkach przemysłowych jest pionowa - nachylenie modułów pod odpowiednim kątem to dodatkowe koszty podkonstrukcji i mocowania. Trzeba zauważyć, że jeśli fasada zorientowana będzie na południe[412], zyski z energii nawet przy nachyleniu 90° będą stanowić ~¾ maksymalnych osiągów (tzn. przy idealnym nachyleniu). Poza tym nowoczesne technologie cienkowarstwowe jak *triple junction solar cells* bardzo dobrze funkcjonują nawet w gorszych (tzn. nie optymalnych) warunkach nasłonecznienia wykorzystując promieniowanie rozproszone.



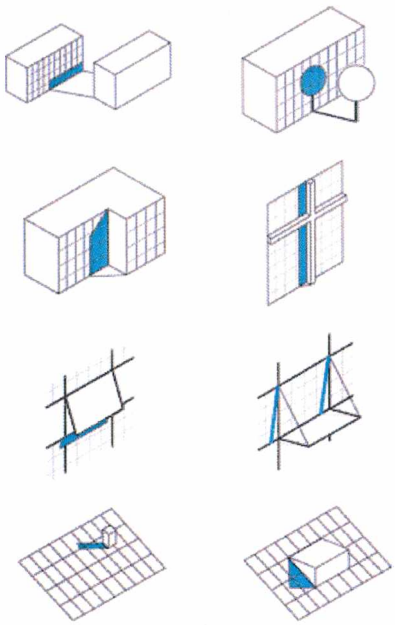
Rys. 41. Wykorzystanie promieniowania rozproszonego w zależności od nachylenia instalacji BIPV względem planu horyzontalnego. Horyzontalnie ustawiony moduł PV odbiera najwięcej rozproszonego światła, wraz ze wzrostem inklinacji porcja ta jest redukowana.

Rys. 42. Kąt padania promieniowania solarnego na nachylony moduł PV. Na podst. Martin Van Der Laan.

[408] Nachylenie mierzone jest w stosunku do planu horyzontalnego.
[409] Im większa szerokość geograficzna, tym:
- mniejsze relatywne osiągi poziomych systemów BIPV (na płaskich dachach),
- większy kąt nachylenia dla lepszych osiągów, czyli większe relatywnie osiągi fasad,
- szerszy zakres korzystnych kątów nachylenia dla dobrych zysków energii solarnej.
PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 186.
[410] Dla rocznych zysków energii optymalne warunki zapewnia orientacja w kierunku równika i nachylenie pod kątem równym szerokości geograficznej. Ibid. s. 184.
[411] Tzn. zimą instalacje fasadowe mogą funkcjonować efektywniej niż instalacje na płaskich dachach.
[412] Orientacja w kierunku południowym dotyczy wszystkich lokalizacji na północ od równika.

Ze względu na ruch Słońca idealnym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu podążającego za nim – instalacje BIPV w postaci obracanych osiowo ruchomych żaluzji czy innego typu systemów chroniących od nadmiernego nasłonecznienia zapewniają taką możliwość[413]. Zdecydowana większość instalacji BIPV jest jednak nieruchoma (o stałej orientacji i nachyleniu).

ZACIENIENIE MODUŁÓW PV



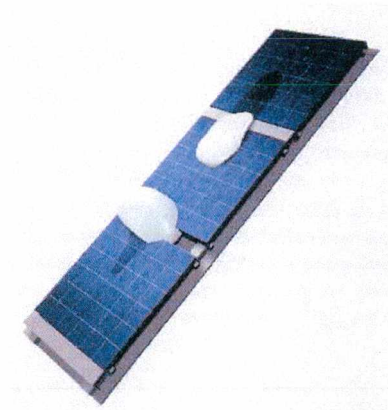
Rys. 43. Przykładowe sytuacje niekorzystnego zacieniania powłoki BIPV.

Jak wspominano wcześniej zacienienie aktywnej powierzchni modułów PV, nawet niewielkie, może istotnie wpłynąć na redukcję produkowanej energii[414], jest też niebezpieczne dla urządzeń systemu fotowoltaicznego. Zasadniczo zacienienia zarówno czasowego, jak i częściowego należy maksymalnie unikać[415]. W tym celu projektując powłokę dla integracji z fotowoltaiką niezbędne jest zwrócenie uwagi na kwestie takie jak (rys. 43):

- Zmienność i ruchomość cienia w cyklu dobowym i sezonowym wskutek ruchu Słońca;
- Sąsiedztwo innych budynków i elementów budowlano-konstrukcyjnych – szczególnie dotyczy instalacji fasadowych, które są bardziej narażone na cień niż instalacje dachowe;
- Zieleń – drzewa i inne rośliny na terenie otaczającym budynek są co prawda korzystne ze względu na mikroklimat, powinny być jednak zaprojektowane w odpowiedniej odległości i z uwzględnieniem zmian związanych z porami roku (np. jesienią spadające liście mogą stanowić problem);
- Zewnętrzne instalacje techniczne – szczególnie ważne w przypadku budowli industrialnych, np. systemy wentylacji na dachach, kominy, przewody itp.;
- Budowa i forma powłoki, system mocowania materiałów BIPV – dostosowanie odpowiedniej struktury konstrukcyjnej przegrody i materiałów, z jakich się składa oraz sposobu ich montażu ma duże znaczenie. Przykładowo cień mogą rzucać elementy szkieletu słupowo-ryglowej fasady, z którą zintegrowano moduły PV. W modułach produkowanych na zamówienie pozostawienie szerszego rantu wokół ogniw (tzn. powierzchni nieaktywnej) może też być w niektórych przypadkach dobrym rozwiązaniem;
- Odstęp pomiędzy poszczególnymi panelami/modułami – dotyczy struktur dodanych do powłoki, elementów o różnym nachyleniu tj. zadaszeń, lameli żaluzji przeciwsłonecznych, czy rzędów paneli PV na płaskim dachu, szedów, itd;

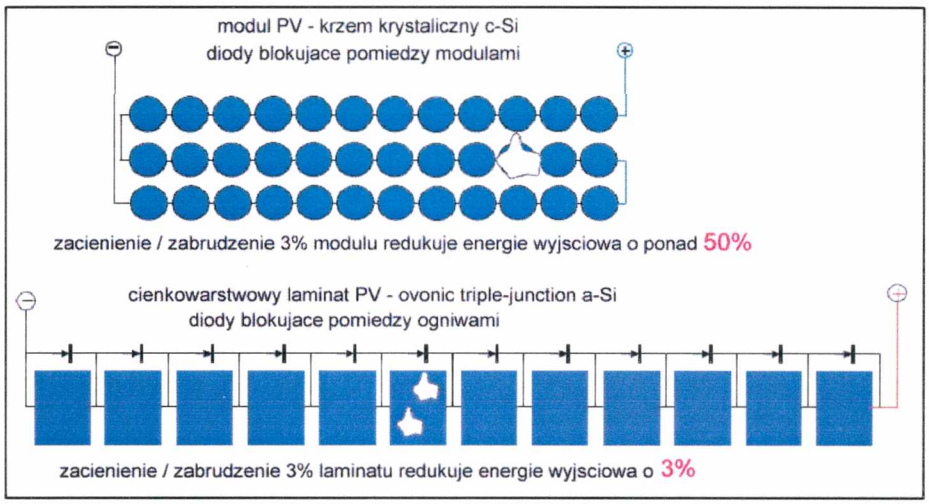
[413] Patrz rozdz. IV/2.
[414] Patrz rozdz. III/3.
[415] Wg analiz przeprowadzonych przez instytut Fraunhofer ISE problem zacieniania instalacji fotowoltaicznych jest stosunkowo często zaniedbywany zarówno przez projektantów, jak i instalatorów systemów fotowoltaicznych. GRĄDZKI M., KOZŁOWSKI A., *Kontrola...*

- Śnieg – dla zminimalizowania problemu związanego z zaleganiem śniegu korzystniejsze są konstrukcje pochylone (minimum 45°)[416] lub pionowe. Należy też zwrócić uwagę na zatrzymywanie śniegu przez obramowanie modułów i elementy konstrukcji[417] (rys. 44);
- Brud i kurz – osadzanie się na powierzchni modułów zanieczyszczeń związanych z działalnością industrialną, bliskością autostrad, linii kolejowych itp., może skutkować redukcją zysków energetycznych rzędu 10%[418]. Efekt uzależniony jest od rodzaju zabrudzenia (kurz, brud, cząstki, itd.) oraz pochylenia materiałów BIPV, które umożliwia samoczyszczenie elementów podczas deszczu. Obramowanie modułów oraz elementy konstrukcyjne lub mocujące mogą potęgować osadzanie się brudu i utrudniać odprowadzenie wody z powierzchni.



Rys. 44. Śnieg na panelu PV. Odstęp między modułami PV na przegrodzie nachylonej nie powinien pozwalać na gromadzenie się śniegu czy lodu.

We wszystkich przypadkach trzeba pamiętać o odpowiednim doborze technologii ogniw solarnych i budowy modułu PV[419]. We wstępnej fazie planowania powinny być przeprowadzane symulacje komputerowe, które pozwalają oszacować ryzyko zacieniania powierzchni aktywnych i określić ilość cienia w cyklu dobowym i rocznym.



Rys. 45. Wpływ zacienienia/zabrudzenia na ilość energii wyjściowej modułu PV. Porównanie modułu PV z krzemu krystalicznego oraz cienkowarstwowego laminatu PV z krzemu amorficznego. Na podst. http://www.uni-solar.com.

TEMPERATURA

Ogniwa solarne pracują zazwyczaj w zdecydowanie wyższych temperaturach[420] niż standardowo przyjęte +25°C[421]. Najbardziej korzystne warunki nasłonecznienia w okresie letnim wiążą się z większymi temperaturami powietrza. Dodatkowo, niezależnie od warunków atmosferycznych podczas konwersji fotowoltaicznej produktem ubocznym jest też zawsze pewna ilość energii cieplnej. Wzrost temperatury jest odwrotnie proporcjonalny do sprawności ogniw - zbyt wysoka temperatura operacyjna modułów PV jest

[416] SICK F., ERGE T. (eds.), *Photovoltaics...*, s. 28.
[417] Najlepiej sprawdzają się duże powierzchnie gładkich, szklanych modułów bez obramowania.
[418] Ibid.
[419] Najgorzej na cień reagują materiały krystaliczne (c-Si), ogniwa cienkowarstwowe są mniej wrażliwe. Najlepiej zachowują się w złych warunkach ogniwa amorficzne (a-Si) w technologii *triple-junction*.
[420] Temperatura ogniw fotowoltaicznych powinna być niższa od 70° C. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 207.
[421] Patrz aneks 3.

niekorzystnym zjawiskiem i może prowadzić do spadku wydajności całej instalacji, czyli mniejszych zysków energetycznych.

Problem nagrzewania się ogniw (modułów PV) jest szczególnie istotny w przypadku elementów zintegrowanych z powłoką budynku, ze względu na ich wzajemne oddziaływanie[422]. W zależności od konstrukcji projektanci muszą zatem dobrać odpowiednią technologię BIPV[423] i/lub odwrotnie dopasować strukturę przegrody do danego systemu fotowoltaicznego.

Ponieważ nagrzewanie się fotoogniw pociąga za sobą wzrost temperatury samej przegrody, niezbędne jest zwrócenie uwagi na kwestie związane z rozszerzalnością termiczną materiałów budowlanych (tych, z którymi zostaną zintegrowane moduły PV, oraz znajdujących się w ich bezpośrednim sąsiedztwie).

Wzrost temperatury może być także niekorzystny z punktu widzenia komfortu (wnętrza) i kwestii energooszczędności budynku. Promieniujące z nagrzanej przegrody ciepło może pogorszyć warunki klimatu w pomieszczeniu i pociągać za sobą konieczność chłodzenia, co z kolei wymaga zużycia dodatkowej energii. Odpowiednia konstrukcja przegrody dla integracji z fotowoltaiką pozwala zredukować problem. Zapewnienie wentylacji z tylnej strony modułów PV chłodzi je, przez co rośnie sprawność ogniw, a jednocześnie nie powoduje nadmiernego nagrzewania się przegrody. Prowadzone są badania, mające na celu określenie optymalnej szerokości szczeliny powietrznej z tyłu modułów dla ich tylnej wentylacji. Zasadniczo przyjmuje się ~10-15 cm, choć jak do tej pory nie potwierdzono, jakie jest idealne rozwiązanie[424].

Ciepło wytworzone wskutek pracy ogniw można także użyć do innych celów, wspomagając całościowy bilans energetyczny budynku, co jednocześnie pozytywnie wpływa na efektywność kosztową systemu[425].

PARAMETRY ELEKTROTECHNICZNE URZĄDZEŃ

Zyski solarne, a także efektywność całego systemu BIPV (energia wyjściowa) uzależnione są przede wszystkim od wielkości danego systemu PV oraz jego parametrów technicznych (rodzaju technologii ogniw, budowy modułów, ilości paneli PV, ich mocy, rozwiązania instalacji elektrycznej, itd.).

Architekci mogą mieć wpływ na wybór parametrów ogniw i modułów PV, z jakich składa się system fotowoltaiczny[426]. Ponieważ ważne są dla nich różne aspekty, m.in. estetyczne i konstrukcyjne, mogą oni preferować pew-

[422] Struktura przegrody (budowa i materiały) mogą wpływać na temperaturę, w jakiej funkcjonować będą moduły PV i na odwrót - moduły PV (materiał i technologia fotoogniw, budowa modułu) mogą wywierać wpływ na właściwości przegrody (jej budowę, dobór materiałów, ich zachowanie, itd.).
[423] Patrz rozdz. III/3, III/4.
[424] W warunkach europejskich brak szczeliny powietrznej w systemie fasadowym może powodować 10 % strat, pustka powietrzna szerokości 5 cm jedynie 5 %, natomiast pozostawienie 15 cm minimalnie wpływa na straty produkowanej energii. Ibid. s. 207. W większości przypadków ~10 cm będzie wystarczające. SICK F., ERGE T., *Photovoltaics...*, s. 28.
[425] Patrz rozdz. IV/3.4.
[426] Patrz rozdz. III/3.

ne rozwiązania dotyczące doboru poszczególnych komponentów, jednak elementy systemu PV są przede wszystkim urządzeniami elektrycznymi, które dla sprawnego funkcjonowania wymagają spełnienia konkretnych warunków technicznych. Przykładowo, niedopasowanie ogniw (modułów) ze względu na ich charakterystykę prądowo-napięciową skutkować będzie spadkiem efektywności lub złym działaniem instalacji PV[427].

Wybrana metoda i miejsce integracji wpływają na rozwiązanie instalacji elektrycznej i odpowiedni dobór elementów (okablowania, falowników[428], itd.) oraz odwrotnie - parametry i cechy poszczególnych składowych systemu fotowoltaicznego mogą uzależniać konkretne rozwiązanie konstrukcyjne (architektoniczne). I tak np. inwertory to zaawansowane technologicznie urządzenia elektryczne, których rodzaj oraz ilość wywierają wpływ na połączenia elektryczne całego systemu. Dla architektów ich dobór jest istotny ze względu na miejsce usytuowania urządzeń[429] - inwertory wymagające okresowej kontroli i konserwacji powinny być instalowane w dostępnym, suchym miejscu, co może determinować konkretne rozwiązania struktury przegrody. Istotny może być również wydzielany przez nie hałas oraz aspekt wizualny (fot. 99).

Modularna struktura systemu umożliwia bardzo zróżnicowane konfiguracje. Określenie parametrów elektrotechnicznych i odpowiedni dobór wszystkich komponentów elektrycznych systemu PV jest zagadnieniem złożonym i wymaga wiedzy fachowej, musi być zatem przeprowadzone wspólnie przez różnych specjalistów (inżynierów, elektryków, itd.)[430].



Fot. 99. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten, 2001-2002). Produkowane przez firmę SMA inwertory stanowią element instalacji elektrycznej szklanej fasady BIPV. Ze względów reklamowych umieszczono je w dobrze widocznym miejscu na ścianie w holu wejściowym.

1.3.2.
ASPEKTY BUDOWLANO-KONSTRUKCYJNE

Dzięki integracji fotowoltaiki z powłoką budynku elementy solarnego systemu stały się nowoczesnymi materiałami budowlanymi. Moduły PV zastępujące różnego rodzaju komponenty struktury lub bezpośrednio powiązane z konwencjonalnymi materiałami stanowią interesującą alternatywę dla tradycyjnych rozwiązań, także w budownictwie przemysłowym. Zaawansowane technologicznie materiały BIPV, których najważniejszą cechą jest wie-

[427] W przypadku szeregowego połączenia ogniw (modułów) źle dopasowane elementy (o różnej charakterystyce prądowo-napięciowej) spowodują, że najgorszy z nich zdeterminuje prąd w całym sznurze.

[428] Generator fotowoltaiczny wytwarza prąd stały (DC), który w budynkach industrialnych może być wykorzystany bezpośrednio w różnych procesach i urządzeniach np. do zasilania wentylatorów, pomp, itd. Zasadniczo jednak wygenerowany prąd zostanie przetworzony w zmienny (AC) poprzez falownik - odpowiedni dobór jego rodzaju, parametrów i lokalizacji jest jedną z najważniejszych kwestii dla wydajności całego systemu BIPV.

[429] Inwertory centralne stosowane dla dużych instalacji PV (do kilkuset kW) zazwyczaj znajdują się w osobnym pomieszczeniu technicznym o odpowiednich warunkach i z zapewnionym dobrym dostępem. Inwertory strumieniowe obsługujące poszczególne sznury modułów usytuowane są w ich pobliżu, natomiast indywidualne, tzw. *AC Module Integrated Converters MICs*, są zintegrowane bezpośrednio z tylną stroną modułu. Wiąże się to z koniecznością zapewnienia odpowiedniej ilości miejsca i dostępu do przegrody.

[430] Szczegółowe dane na ten temat nie zostały omówione w pracy. Informacje m.in. w: HAGEMANN I. B., *Gebäudeintegrierte...*; SICK F., ERGE T., *Photovoltaics...*

lofunkcyjność, dostępne są na rynku komercyjnym w szerokiej palecie stale optymalizowanych produktów.

Różnorodne możliwości wykorzystania materiałów fotowoltaicznych, jako elementów budowlano-konstrukcyjnych w kształtowaniu powłok budynków przemysłowych, szczegółowo przeanalizowano w rozdziale IV/2. Wybrane produkty aktualnie oferowane na rynku zestawiono w tablicach C.

1.3.3.
ASPEKTY EKOLOGICZNE

Technologia fotowoltaiczna uznawana jest za znaczącą opcję w rozwiązywaniu problemów środowiskowych. Poprzez możliwość jej integracji z budynkiem dla architektów stała się ona nowym, wieloaspektowym narzędziem wykorzystywanym w projektowaniu nowoczesnych budynków o cechach proekologicznych. Technologia BIPV oraz jej eksploatacja w architekturze zostały przeanalizowane wg różnych kryteriów oceny ekologicznej w rozdziale IV/3.

1.3.4.
ASPEKTY ESTETYCZNE

Dla architekta estetyczne aspekty technologii solarnej stanowią jeden z głównych powodów jej integracji z powłoką. Wizualny odbiór budynku, z którym zintegrowano fotowoltaikę ma też istotne znaczenie dla akceptacji technologii i jej dalszego rozwoju[431].

Jakość estetyczna podlega zawsze subiektywnej ocenie, w środowisku specjalistów podjęto jednak próby określenia ram i kryteriów dla oceny technologii BIPV w tym aspekcie[432]. Godny zauważenia jest fakt, iż rynek materiałów solarnych i budowlanych oferuje coraz szerszą gamę produktów optymalizowanych pod kątem walorów wizualnych. W ten sposób technologia fotowoltaiczna znajduje drogę do nowoczesnej architektury. Zagadnienie przeanalizowano w rozdziale IV/4.

1.3.5.
BEZPIECZEŃSTWO

W przypadku każdej integracji systemu fotowoltaicznego z budynkiem należy pamiętać, że jego poszczególne komponenty są elementami systemu elektrycznego[433]. Moduły fotowoltaiczne przejmując rolę materiału budowlanego muszą spełniać wymagane standardy budowlano-konstrukcyjne (ochrona przeciwpożarowa, nietoksyczność, stabilność materiału, wytrzyma-

[431] REIJENGA T., *PV in Architecture...*, s. 2.
[432] W ramach programu IEA PVPS, Task VII.
[433] Dalsze informacje można znaleźć m.in. w: SICK F., ERGE T., *Photovoltaics...*, s. 31-32.

łość, zdolność przyjęcia różnych obciążeń i wiele innych). Niezależnie od rozwiązania wszystkie elementy systemu BIPV oraz ich eksploatacja muszą być zgodne z wymogami bezpieczeństwa dla zdrowia i życia użytkowników.

1.3.6.
KONSERWACJA

Przyjęte rozwiązanie musi umożliwiać konserwację zarówno komponentów systemu PV, jak i samego budynku. Istotne są tu przede wszystkim kwestie związane z dostępem do poszczególnych elementów (generatora PV, struktury budynku, infrastruktury, itp.) w przypadku konieczności usunięcia brudu, naprawy, wymiany. Niektóre systemy fasadowe umożliwiają prosty i szybki demontaż pojedynczych elementów bez konieczności większych ingerencji w funkcjonowanie przegrody. Z kolei nowoczesne technologie BIPV, tj. membrany dachowe czy blachy solarne zintegrowane z ogniwami amorficznymi typu *triple-junction* (United-Solar®), pozwalają na chodzenie po nich.

1.3.7.
HOLISTYCZNE PODEJŚCIE DO PROJEKTOWANIA

W architekturze przemysłowej pojawiają się coraz bardziej skomplikowane i wyszukane konstrukcje, a wymagania funkcjonalno-techniczne, estetyczne, środowiskowe i inne, stale rosną. Integracja fotowoltaiki nie jest działaniem łatwym, a efekt końcowy nie zawsze będzie udany. Większość problemów nie wynika z braku możliwości technicznych, ale ze złożoności zagadnienia[434]. Opisano wiele przypadków trudności związanych z odpowiednią instalacją i funkcjonowaniem systemów PV/BIPV. Pomimo rosnącego zainteresowania technologią i coraz liczniejszymi realizacjami, nadal widoczny jest brak wystarczającej wiedzy wśród przedstawicieli poszczególnych branż zaangażowanych w proces konstrukcji budynku. Nieporozumienia i problemy na miejscu budowy utrudniają i opóźniają realizację, zwiększają nakłady finansowe. Brak doświadczenia i teoretycznej wiedzy na temat systemów solarnych dotyczy zarówno przedstawicieli firm wykonawczych, jak i projektantów i inwestorów. Z drugiej strony firmy solarne niejednokrotnie nie rozumieją potrzeb i wymagań architektów, konstruktorów czy producentów materiałów budowlanych. Dopasowanie wszystkich elementów systemu solarnego i systemu budynku jest trudne i złożone, musi być przeprowadzone z dużą dbałością. Dlatego współpraca i interakcja specjalistów poszczególnych branż jest szczególnie istotna. Odnosi się to nie do samej budowy, ale powinno się zacząć już na etapie wstępnego planowania inwestycji.

---

[434] W odróżnieniu od konwencjonalnych materiałów, BIPV generujące energię elektryczną bezpośrednio ze Słońca muszą spełniać wiele dodatkowych warunków. Do zwykłych problemów trzeba więc dodać przede wszystkim te związane z koniecznością optymalizacji zysków solarnych, kwestię zalegania śniegu zimą, konserwacji, poprowadzenia instalacji elektrycznej i wiele innych.

2.
INNOWACYJNY MATERIAŁ BUDOWLANY

"Oto nowy materiał architektoniczny. Tak, pochodzi ze świata zaawansowanych technologii i ochrony środowiska, ale jest już gotowy do użycia w każdym budynku, o każdej funkcji". (Colin Cathcart)

W wyniku integracji z powłoką moduły fotowoltaiczne stały się innowacyjnymi, zaawansowanymi technologicznie, wielofunkcyjnymi materiałami budowlanymi. Nadając budynkowi nowoczesną estetykę, jednocześnie przekształcają jego skórę w ekologiczną elektrownię.

Początkowo, wąska gama komercyjnych produktów BIPV znacznie ograniczała możliwości projektowe, zniechęcając tym samym wielu potencjalnych inwestorów i projektantów budynków. W rozwój materiałów zaangażowali się jednak sami architekci, m.in. aktywnie działający na rzecz architektury solarnej Kiss i Cathcart. W pierwszej połowie lat 90. opracowali oni procedury dla ekonomicznej produkcji zróżnicowanych pod względem wyglądu i rozmiarów modułów PV dla integracji z budynkiem. Skupili się w szczególności na materiałach szklanych, częściowo transparentnych, o różnych poziomach transmisji światła, nowych wzorach, kolorach fotoogniw, itp.[435]

Obecnie, w zależności od celu i miejsca zastosowania do dyspozycji jest szeroka gama elementów BIPV, zarówno standardowych (wytwarzane masowo są najbardziej atrakcyjne cenowo), jak i specjalnych czy specjalistycznych. Produkty wytwarzane na zamówienie są w stanie spełniać nawet bardzo wysokie i niecodzienne wymagania projektantów.

Grupę materiałów dla bezpośredniej integracji z powłoką budynku można podzielić na dwie główne kategorie:

- Moduły fotowoltaiczne zastępujące konwencjonalne materiały - mogą funkcjonować zarówno jako zintegrowany z konstrukcją element BIPV, jak i w postaci dodatkowej, nawet niezależnej instalacji;
- Moduły fotowoltaiczne trwale zintegrowane z tradycyjnym materiałem budowlanym - wykorzystywane wyłącznie w celu integracji z budynkiem lub innego rodzaju konstrukcją budowlaną.

Aktualne trendy skłaniają się ku dalszemu poszerzaniu asortymentu produktów BIPV, w szczególności zaś standaryzowanych elementów funkcjonujących jako integralny, wielofunkcyjny materiał budowlany[436]. Podkreśla się tu rolę prefabrykatów, które pozwalają

[435] http://www.kisscathcart.com/

[436] Rynek produktów BIPV powinien zapewniać bogatą ofertę rozwiązań odpowiednich zarówno do zastosowań w nowo wznoszonych, jak i modernizowanych, nawet zabytkowych budynkach.

zredukować koszty nawet o 50%[437], usprawniają i ułatwiają instalację. Na arenie międzynarodowej prowadzony jest w tym celu szereg działań - organizowane są konkursy projektowe na opracowanie nowatorskich rozwiązań, realizowane liczne projekty demonstracyjne[438], edukacyjno-promocyjne. Dla dalszego rozwoju technologii niezbędne jest jednak konsekwentne, zdecydowanie silniejsze niż dotychczas zaangażowanie sektora przemysłowego i budowlano-konstrukcyjnego.

Największą zaletą nowoczesnych materiałów BIPV jest ich wielofunkcyjność. Zintegrowany z powłoką moduł fotowoltaiczny jako jej integralny komponent przekształca energię słoneczną w elektryczność przejmując jednocześnie różne, dodatkowe funkcje. Bierze więc udział w wielu istotnych dla sprawnego funkcjonowania budynku procesach, takich jak:

- Ochrona przed warunkami atmosferycznymi i zanieczyszczeniami - gdy moduł PV stanowi zewnętrzną skórę budynku, jego przydatność jako przegrody chroniącej od pogody jest wtedy funkcją podstawową;
- Ochrona przed Słońcem – odpowiedniej budowy moduły PV mogą redukować nadmierne nasłonecznienie przegrody. Instalowane na elementach ograniczających dostęp promieniowania do wnętrza są jednocześnie optymalnie ustawione w stosunku do Słońca[439];
- Kontrola promieniowania słonecznego - półprzeźroczyste moduły PV mogą redukować ilość światła dochodzącego do wnętrza budynku, selekcjonować promieniowanie. Ze względu na stopień przeźroczystości zaciemnienie może być zmienne. Zastosowanie holograficznych elementów optycznych (HOE) pozwala na dodatkowe możliwości kontroli promieniowania[440];
- Ochrona przed hałasem - moduły o konstrukcjach wielowarstwowych mogą być stosowane jako przegrody izolujące od hałasu;
- Ochrona przed polem elektromagnetycznym - moduły PV są dobrym izolatorem promieniowania;
- Regulacja temperatury i wilgotności wewnątrz budynku - moduły PV wbudowywane w szyby izolacyjne, czy innego typu elementy dachu lub fasady przejmują funkcję regulatora temperatury ścian budynku[441];
- Ograniczenie/zapewnienie widoczności do wewnątrz/na zewnątrz - zastosowanie częściowo transparentnych modułów pozwala uzyskać

[437] SCHOEN T. et al., *Status Report of task VII of the IEA Program: PV in buildings*, Renewable Energy 15/1998, Elsevier 1998, s. 254.
[438] Np. w ramach programu IEA Task VII w Szwajcarii zrealizowano międzynarodowe centrum demonstracyjne elementów BIPV – DEMOSITE. http://www.demosite.ch.
[439] Patrz rozdz. IV/3.4.
[440] Patrz rozdz. IV/2.2.1, IV/3.4.1.
[441] Patrz rozdz. IV/2.2.1, IV/3.4.

wymagany poziom widoczności na wskroś przegrody, natomiast elementy nieprzezierne widoczność uniemożliwiają[442];

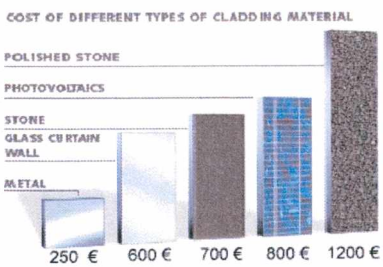
- Zabezpieczenie strefy wewnętrznej – jako element skóry zewnętrznej moduły PV przejmują rolę bariery ochronnej. Obudowa modułu może być np. wykonana ze specjalistycznego szkła antywłamaniowego;
- Kształtowanie estetyki budynku - istotnym, lecz subiektywnym aspektem budynku jest jego wygląd zewnętrzny. Moduły PV są wysokiej jakości materiałem budowlanym, którego zastosowanie pozwala uzyskać różnorodne efekty wizualne[443].

Gdy moduły PV pełnią funkcję materiału budowlanego, muszą odpowiadać różnego rodzaju normom i standardom budowlano-konstrukcyjnym. Dotyczy to przede wszystkim aspektów związanych z bezpieczeństwem, odpornością na różne warunki, nietoksycznością, trwałością, itp. Obecnie dla standardowych materiałów producenci dają gwarancję od 2 do 30 lat. Jak dotąd, praktycznie nie istnieją specjalistyczne uregulowania prawne dla instalacji fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkiem. Dlatego materiały BIPV podlegają warunkom prawnym wymaganym dla konstrukcji budowlanych oraz instalacji elektrycznych odpowiednio dla danego kraju[444]. Trwają działania mające na celu opracowanie jednolitych, międzynarodowych standardów dla systemów fotowoltaicznych (jak dotąd przygotowano ich ponad 30)[445].

2.1. MODUŁY PV ZASTĘPUJĄCE KONWENCJONALNE MATERIAŁY - OKŁADZINY FOTOWOLTAICZNE

Wykorzystanie paneli fotowoltaicznych w kształtowaniu zewnętrznej okładziny budynku jest rozwiązaniem sprawdzonym i wielokrotnie przetestowanym. Moduły PV można instalować w miejscu konwencjonalnych okładzin ze szkła, metalu, kamienia, drewna, tworzyw sztucznych, na powłokach różnego typu - pionowych, pochylonych lub zakrzywionych elewacjach, a także w postaci pokrycia dachowego.

W przypadku typowych hal przemysłowych, gdzie najczęściej stosuje się prefabrykowane, lekkie systemy osłonowe i materiały metaliczne, użycie w ich miejscu paneli solarnych pod względem ekonomicznym może być sprawą dyskusyjną. Koszty tego rodzaju okładziny, choć niższe od wysokiej



Rys. 46. Ceny materiałów okładzinowych. Porównanie okładzin typowych, tj. metalu, szkła i kamienia, z ceną materiału PV. Na podst. Scheuten Solar.

[442] Patrz rozdz. IV/4.3.5.
[443] Patrz rozdz. IV/4.
[444] Hiszpania jako pierwszy na świecie kraj wprowadziła regulacje prawne odnośnie konieczności zastosowania systemu fotowoltaicznego na budynku, gdy jego powierzchnia przekroczy ustawowe minimum. Wg hiszpańskich norm Código Técnico de Edificación (CTE) od roku 2006 hale industrialne o powierzchni zabudowy większej niż 10 000 m^2 muszą posiadać instalację PV. Wg Ernesto Maciasa z firmy Isofotón nowe regulacje prawne są słuszne, ponieważ *„będą miały pedagogiczny wpływ na społeczność architektoniczną w Hiszpanii. Skostniała niechęć do fotowoltaiki zostanie wyparta siłą argumentów prawnych."* GELLINGS R., *A fundamental step,* in: PHOTON International 5/2006, s. 58-60; http://www.idae.es.
[445] Patrz aneks 5.

jakości materiałów typu marmur czy granit, wyższe są kilkakrotnie od najbardziej powszechnych paneli z blachy aluminiowej czy stalowej (rys. 46). Z drugiej strony, wszechstronne możliwości innowacyjnego materiału stanowią jego niekwestionowaną zaletę. Użycie modułów fotowoltaicznych w miejscu konwencjonalnych materiałów jest sensowne wtedy, gdy stają się one wielofunkcyjnym elementem. Przejmując funkcje klasycznej okładziny, jako zewnętrzna skóra budynku, chronią od warunków zewnętrznych, a dodatkowo generują czystą energię, kreują nowoczesną estetykę i odpowiedni obraz „proekologicznie zaangażowanego" przedsiębiorstwa. Mimo wyższej ceny stanowią więc interesującą i konkurencyjną alternatywę dla tradycyjnych komponentów budowlanych.

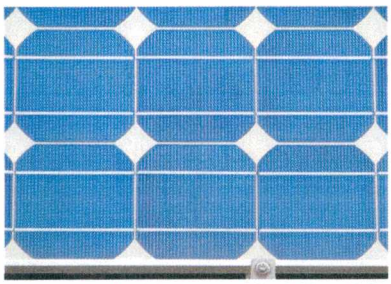
Istotnym argumentem przemawiającym za wykorzystaniem okładzin fotowoltaicznych w architekturze przemysłowej jest fakt, iż budynki oferują rozległe, jednorodne płaszczyzny elewacji (oraz dachów) z niewielką ilością otworów okiennych, które można wykorzystać dla tego typu instalacji solarnych. Typowo dachowe okładziny nie zawsze są widoczne z poziomu człowieka i funkcjonują bardziej jako instalacja techniczna, dla architektów z pewnością bardziej interesujące są rozwiązania fasadowe.

2.1.1.
TECHNOLOGIA I BUDOWA ELEMENTU

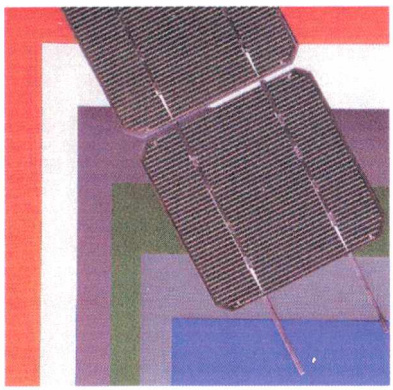
Dla zastosowania modułu fotowoltaicznego w postaci okładziny wybór odpowiedniego materiału i technologii budowy uzależniony jest od wielu czynników i dokonywany musi być indywidualnie w zależności od projektu.

Najprostszym i najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie modułów standardowych masowo wytwarzanych przez liczne firmy solarne[446]. W praktyce, dostosowanie do parametrów standardowego modułu struktury konstrukcyjnej budynku, systemu montażowego i innych elementów niezbędnych dla sprawnego funkcjonowania całości nie zawsze będzie możliwe i opłacalne. W przypadku wielu projektów, szczególnie tych bardziej wyszukanych, wymagających konkretnych i specjalistycznych cech, moduły produkowane są na zamówienie w różnych kształtach, rozmiarach, a nawet kolorach. Jest to oczywiście bardziej kosztowne, niemniej jednak takie podejście oznacza zdecydowanie większą swobodę dla kreatywności projektanta. W niektórych przypadkach jest to najbardziej optymalne lub jedyne wręcz rozwiązanie. Bywa tak m.in. wtedy, gdy decyzja o instalacji fotowoltaicznej podejmowana jest już po zrealizowaniu projektu obiektu, czy dopiero w trakcie jego budowy i cały system PV trzeba dopasować do istniejącej struktury. Techniczne możliwości są dziś prawie nieograniczone, realizacja w dużym stopniu zależy więc jedynie od możliwości finansowych inwestora.

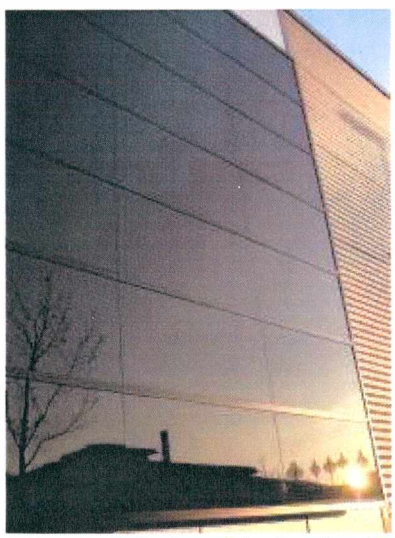
[446] Zdecydowaną większość sprzedawanych modułów stanowią elementy standardowe.



Fot. 100. Moduł typu szkło-folia z folią w kolorze białym. Detal okładziny BIPV na elewacji fabryki Deutsche Solar (Freiberg).



Fot. 101. Kolorowe folie ICOSOLAR, prod. ISOVOLTA.



Fot. 102. Zakład produkcyjny Von Ardenne, Drezno (2006). Czarna okładzina ze szklanych modułów CIS, prod. Würth Solar. Powierzchnia instalacji BIPV: 300 m^2, moc systemu: 31,5 kWp.

Wśród standardowych modułów PV zastępujących konwencjonalne panele okładzinowe zdecydowaną większość stanowią laminaty typu szkło-folia (tablice B/1.1 rys. 1-2). Moduły te instalowane są głównie tam, gdzie ich tylna strona nie jest widoczna dla obserwatora.

Tylna folia jest zwykle nieprzeźroczysta. Widoczne od przodu małe fragmenty między ogniwami i na brzegach modułu wizualnie zmieniają obraz całości. Dostępne są różne kolory: najczęściej stosowany jest biały (fot. 100, V/024) lub antracytowy (V/006, V/021), może być też niebieski, szary, zielony, pomarańczowy (fot. 101). Białe materiały oprócz nieprzeźroczystych występują też jako przeświecające. Specjalne folie o strukturze wielowarstwowej mogą mieć poza kolorem dodatkowe właściwości, takie jak zmniejszenie rozproszenia światła, czy izolacja elektryczna[447].

Alternatywą dla tradycyjnych okładzin mogą być moduły szklane, zarówno typu szkło-szkło z ogniwami z krzemu krystalicznego (c-Si), jak i cienkowarstwowe (tj. a-Si, CIS, CdTe). Jako nieprzeźroczyste okładziny fasad wentylowanych wykorzystywane są rzadziej[448], szersze zastosowanie znajdują w systemach przegród szklanych (fasady ciepłe). Dla zastosowań budowlanych dużą zaletą jest możliwość uzyskania produktów końcowych o bardzo zróżnicowanych właściwościach i parametrach technicznych - szczególnie istotny jest wybór rodzajów szkła w obudowie oraz możliwość uzyskania efektu częściowej transparentności. W przypadku okładzin nieprzeźroczystych, specjalne efekty wizualne można uzyskać stosując w tylnej warstwie obudowy modułu szkło barwione w masie, lub pokryte kolorową emalią.

Materiały cienkowarstwowe charakteryzują się ciemną, bardziej jednorodną niż w przypadku materiałów krystalicznych powierzchnią (fot. 102, V/005). W ostatnich latach pojawiają się coraz liczniejsze realizacje BIPV z ogniw CIS[449]. Możliwość masowej produkcji spowodowała, że materiały te stają się coraz bardziej konkurencyjne w stosunku do krzemowych.

2.1.2. WENTYLACJA OKŁADZINY

Odpowiedni dobór materiału ogniw solarnych do rodzaju konstrukcji powłoki (lub na odwrót, struktury przegrody do rodzaju ogniw) jest ważną kwestią w przypadku aplikacji paneli fotowoltaicznych w roli okładziny. Wy-

[447] http://www.solarintegration.com.

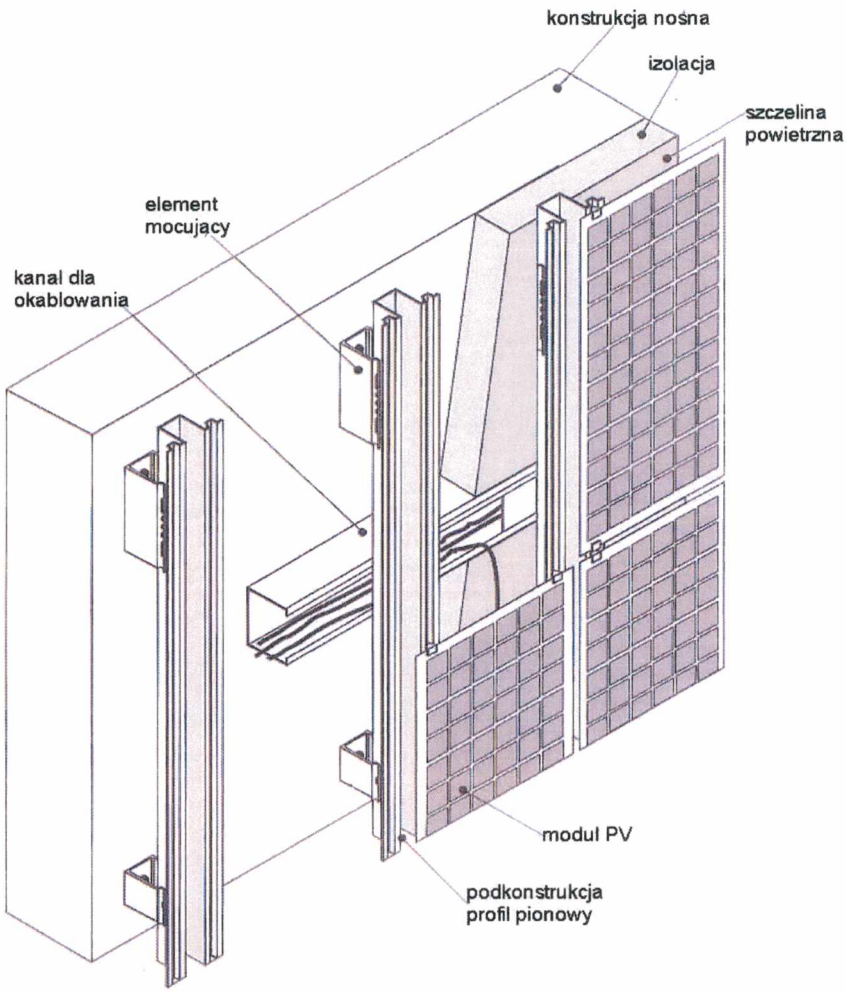
[448] Moduły typu szkło-szkło z ogniwami krystalicznymi wytwarzane często na zamówienie są droższe, cięższe i grubsze od laminatów typu szkło-folia. Z kolei materiały cienkowarstwowe ze względu na właściwości częściowego przepuszczania światła można efektywniej wykorzystać w przegrodach transparentnych.

[449] Aktualnie dostępne na komercyjnym rynku moduły CIS na szklanym podłożu charakteryzują się jednolitą, czarną powierzchnią. Podjęto próby kształtowania produktów o innym wyglądzie, powstają prototypy systemów fasadowych, które mają umożliwić lepszą integrację z budynkiem. Od kilku lat prowadzone są projekty B&R, w których kładziony jest nacisk na kwestie architektoniczne i estetyczne. Europejski program BIPV-CIS, w którym biorą udział m.in.: Politechnika Wrocławska i Warszawska, Shell Solar, Ove Arup & Partners i Saint Gobain Recherche S.A., dotyczy zastosowania materiałów BIPV w budynkach istniejących. Rezultatem ma być m.in. opracowanie nowych produktów dla produkcji przemysłowej.

nika to z faktu, iż zintegrowane z konstrukcją moduły pracują w wyższych temperaturach, a sprawność fotoogniw jest funkcją odwrotną temperatury - wystawione na działanie promieniowania słonecznego ogniwa silnie się nagrzewają, co obniża ich sprawność[450]. Szczególnie wrażliwe na ciepło są najbardziej powszechne materiały krystaliczne, dlatego wykorzystywane są głównie w strukturach wentylowanych (fot. 103, rys. 47), których konstrukcja umożliwia cyrkulację powietrza z tylnej strony modułów. Materiały cienkowarstwowe nie reagują tak silnie na wysokie temperatury, ale dla nich również tego rodzaju konstrukcje są korzystnym rozwiązaniem.



Fot. 103. „Solar cladding" - system wentylowanej fasady z okładziną PV, prod. Solarcentury.



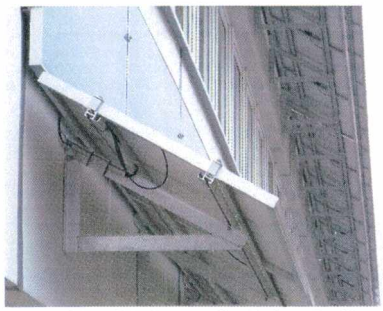
Rys. 47. Konstrukcja fasady wentylowanej z okładziną PV. Na podst. HAGEMANN I. B.

W wielowarstwowej strukturze tzw. zimnych fasad, mocowane do podkonstrukcji[451] elementy okładziny PV generują energię elektryczną, jednocześnie tworząc ochronną i dekoracyjną „skórę", która musi unieść siłę własnego ciężaru, być odporna na odkształcenia, parcie wiatru, itp. Podkonstrukcja pozwala na regulowanie odległości między ścianą nośną a okładziną, umożliwiając zastosowanie w tej przestrzeni izolacji termicznej o żądanej grubości, przy jednoczesnym zachowaniu szczeliny powietrznej dla wentyla-

[450] Jednocześnie może to wpływać na inne aspekty, takie jak kwestia zarządzania energią w budynku czy komfort wnętrza. Patrz rozdz. IV/3.

[451] Podkonstrukcję dla modułów fotowoltaicznych tworzy regularna siatka pionowych i/lub poziomych profili przymocowanych uchwytami do konstrukcji nośnej. W przypadku zastosowania modułów w roli pokrycia dachowego (dotyczy także nachylonych przegród o roli elewacji/dachu) profile mocowane są do łat. Teoretycznie profile mogą być wykonane z różnych materiałów, najlepsze są jednak metaliczne, ze względu na szeroką gamę dostępnych kształtów, wielkości i sztywności.





Fot. 104, 105. Deutsche Solar, Freiberg (2001). Fragment elewacji i detal instalacji fotowoltaicznej.





Fot. 106, 107. Deutsche Solar, Freiberg (2006). Wentylowana fasada BIPV – widok z zewnątrz i od wewnątrz.

cji. Cyrkulacja powietrza chłodzi moduły[452] i zapobiega wewnętrznej kondensacji wilgoci, co korzystnie wpływa m.in. na problem korozji. Jak dotychczas nie zostało naukowo stwierdzone, jaki przekrój szczeliny powietrznej jest optymalny[453], nieznane są też skutki ewentualnych turbulencji powietrza[454].

2.1.3.
UKŁAD ELEMENTÓW

Pionowy układ elewacji nie oferuje idealnych warunków dla generacji energii elektrycznej z promieniowania słonecznego, ale moduły można zamocować na specjalnej podkonstrukcji jako nachylone względem ściany nośnej (fot. 104, 105, V/002). Takie rozwiązanie polepszy zyski energii, chociaż nie zawsze będzie korzystne ze względów architektoniczno-konstrukcyjnych, ponieważ zmieni płaszczyznę i strukturę elewacji. Z drugiej strony, moduły mogą wówczas tworzyć jednocześnie system zacieniający dla umieszczonych poniżej okien i wejść.

Dla optymalizacji zysków promieniowania alternatywą może być też pochylenie pod odpowiednim kątem całej konstrukcji fasady[455] (tablice D/2.1, V/022). Ze względu na funkcje użytkowe przestrzeni wewnętrznej i ekonomiczność konstrukcji, tego rodzaju rozwiązanie stosowane będzie raczej w reprezentacyjnej strefie wejściowej lub administracyjno-biurowej. Dla okładzin ścian hal produkcyjnych czy magazynowych zdecydowanie bardziej powszechne jest wykorzystanie prostszych i tańszych rozwiązań (fot. 106).

Typowa w budownictwie industrialnym modularność jest w wypadku okładzin fotowoltaicznych niezwykle korzystna. Powtarzalność elementów umożliwia nie tylko szybki i łatwy montaż, ale i demontaż w razie potrzeby naprawy czy wymiany poszczególnych elementów. Struktury modularne pozwalają ograniczyć koszty instalacji i ułatwiają przeprowadzenie niezbędnego dla funkcjonowania systemu okablowania.

W przegrodach wentylowanych przeprowadzenie okablowania nie stanowi problemu - wolna przestrzeń pomiędzy modułami a konstrukcją nośną pozwala na swobodne rozmieszczenie instalacji elektrycznej (fot. 107). Kable umieszczone w specjalnych korytkach ochronnych mogą zostać poprowadzone zarówno w szczelinie powietrznej, jak i w warstwie izolacji termicznej. W systemach profilowych (np. konstrukcjach słupowo-ryglowych) chowane są wewnątrz profili[456].

---

[452] Należy pamiętać o dylatacjach w dolnej i górnej części elewacji dla cyrkulacji powietrza w przestrzeni wentylacyjnej, a także o tym, że nagrzewanie się modułów powoduje zmianę naprężeń w materiale.
[453] Patrz rozdz. IV/1.3.1.
[454] HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 104.
[455] W tym wypadku pokrycie musi być zgodne z kierunkiem spływu wody opadowej.
[456] W systemach przegród nachylonych lub płaskich rozwiązanie jest analogiczne – okablowanie umieszczane jest pomiędzy łatami konstrukcji lub zintegrowane z profilami. Kwestia ochrony od warunków atmosferycznych musi być w tym wypadku rozwiązana z jeszcze większą dbałością. W każdym wypadku w miarę możliwości skrzynkę rozdzielczą i falownik powinno się instalować jak najbliżej modułów, w celu ograniczenia długości okablowania dla prądu stałego.

Układ i odległości pomiędzy poszczególnymi panelami okładziny można kształtować w zasadzie dowolnie (fot. 108). Priorytetem będzie oczywiście kwestia ich ustawienia względem Słońca, a także ekonomiczność i funkcjonalność instalacji, polegająca na optymalnym powiązaniu funkcji osłony i generatora energii. Ze względów ekonomicznych korzystniejsze jest wstępne łączenie poszczególnych modułów PV w panele większego formatu, co ułatwia montaż, ogranicza ilość punktów mocujących i redukuje okablowanie.

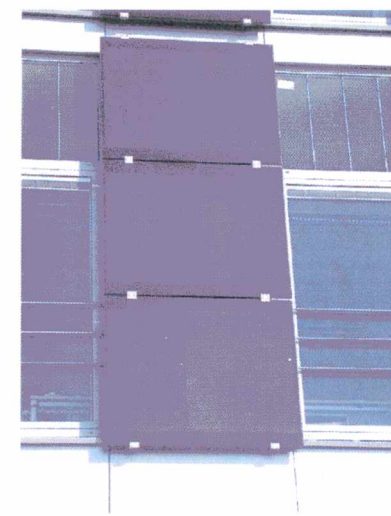
Poszczególne elementy okładziny ściennej (pokrycia dachowego) mogą tworzyć wodoszczelną skórę, lub w innych wypadkach stanowić tylko zewnętrzną, dodatkową warstwę dobrze zaizolowanej powłoki i tej funkcji nie spełniać (fot. 109). W rozwiązaniach fasad wentylowanych systemy z otwartymi fugami uznaje się za szczególnie korzystne (tablice C/1). Szczeliny między elementami okładziny zwiększają cyrkulację powietrza, dzięki czemu wilgoć i para wodna są lepiej kontrolowane, lepsze jest również chłodzenie modułów. W razie konieczności demontaż pojedynczego elementu jest ułatwiony i nie ma problemu ze zniszczeniem sąsiednich[457].

Dla uzyskania szczelnej powłoki, fugi pomiędzy elementami PV można zamknąć specjalnymi masami uszczelniającymi lub listwami, pamiętając o tym, że wymiana powietrza i chłodzenie mogą być wtedy utrudnione. Alternatywnym rozwiązaniem jest konstrukcja fasady z prefabrykowanych systemów profilowych, takich jak powszechne systemy słupowo-ryglowe, gdzie chwycone ze wszystkich 4 stron moduły stanowią wypełnienie lekkiego szkieletu (V/003).

W przegrodach pochylonych możliwe są zarówno instalacje tworzące wodoszczelną skórę, jak i rozwiązania z otwartymi spoinami. W pierwszym wypadku szczelność uzyskuje się dzięki odpowiedniej konstrukcji systemu profilowego (tablice C/2.1, C/2.2) oraz za pomocą specjalnych uszczelek gumowych (tablice C/2.3). W zależności od rozwiązania moduły osadzone na podkonstrukcji lub wsuwane w profile tworzą jedną płaszczyznę, mogą być też układane techniką gontu na zakładkę. Specjalnie ukształtowane profile podkonstrukcji pełnią funkcję drenażu. Naturalnie, w razie szczelin otwartych konstrukcja przegrody musi być dokładnie zaizolowana i szczelna.



Fot. 108. Budynek produkcyjny Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG, Merkendorf. System fasady wentylowanej Voltarlux-PV-F-Typ. Okładzina z cienkowarstwowych laminatów szklanych z krzemu amorficznego (Typ VOLTARLUX® ASI Standard) w połączeniu z zielonym szkłem.



Fot. 109. Audi Ingolstadt, Ingolstadt (arch. pbb Architekten, 2004). Pas okładziny z bezramowych, cienkowarstwowych laminatów szklanych z krzemu amorficznego Voltarlux PVB (proj. fasady: I.S.T, Glaswerke Arnold).

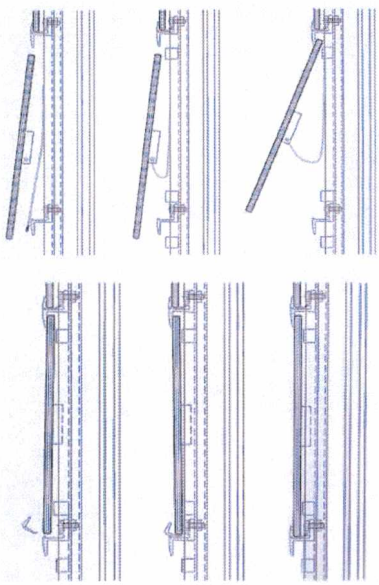
2.1.4.
TECHNIKI MOCOWANIA

Większość powszechnie stosowanych systemów elewacyjnych bez problemu nadaje się do integracji ze standardowymi modułami fotowoltaicznymi, które m.in. w tym celu produkowane są w odpowiednim kształcie i rozmiarze, porównywalnym do typowych tafli szkła, czy paneli metalowych.

[457] W świecie fachowym dyskutuje się nad tym, jak dalece wyeksponowane okładziny z otwartymi fugami zapewnią ochronę modułom i całości konstrukcji od wilgoci. Ibid. s. 102.



Fot. 110. System ALUHIT dla fasad wentylowanych, prod. Wyss AG. Przekrój przez konstrukcję przegrody.

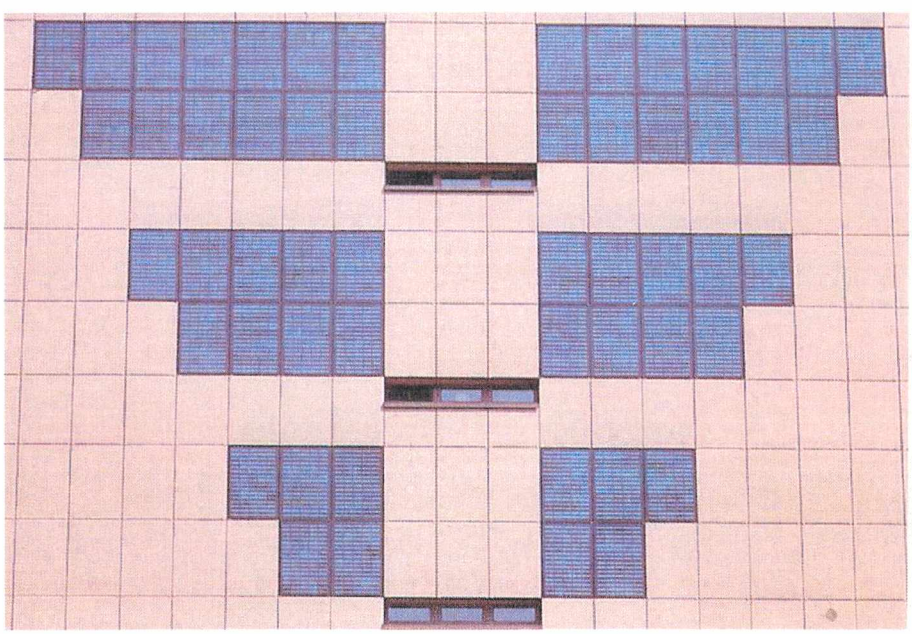


Rys. 48. System ALUHIT dla fasad wentylowanych, prod. Wyss AG. Montaż elementu okładziny.

Możliwa jest zatem sytuacja, gdy specjalne zmiany w konstrukcji, ani dodatkowe nakłady finansowe nie będą konieczne. Wiele firm solarnych, a nawet i niektóre budowlane, oferują już własne, standaryzowane systemy mocujące[458]. Specjaliści zapewniają projektantom i wykonawcom wsparcie techniczne na etapie projektowania, obliczeń i montażu na budowie.

Techniki mocowania są różne - liniowe, punktowe[459], ukryte, z użyciem zatrzasków, zacisków, zaczepów, kotew, itd. Moduły zawieszane są także na hakach lub w inny sposób, tak samo jak konwencjonalne panele i kasety w lekkich ścianach osłonowych. Teoretycznie, niewidoczne mocowanie poprzez klejenie jest także możliwe, ale ze względów bezpieczeństwa okładziny elewacyjne muszą mieć dodatkowe zabezpieczenie mechaniczne. W tym celu wykonuje się np. mocowanie ukryte pod listwami maskującymi.

Właściwości modułów PV jako materiału budowlanego zapewniają szereg możliwości kształtowania skóry budynku. Poszczególne elementy można łączyć ze sobą i zestawiać z innymi, konwencjonalnymi materiałami w różnych kompozycjach (fot. 111). Idealnym systemem mocowania byłoby zatem rozwiązanie umożliwiające zastosowanie tych samych elementów mocujących i podkonstrukcji do różnych materiałów. Wymienne użycie konwencjonalnych okładzin elewacyjnych, tj. kamienia, szkła, metalu czy tworzyw sztucznych oraz paneli fotowoltaicznych, jest możliwe m.in. w systemach: ALUHIT (V/001, V/006, tablice C/1.1) oraz Sj Fassadensysteme (fot. 113 i 114, tablice C/1.2). Są one szczególnie interesujące ze względu na fleksybilność - pozwalają tworzyć ciekawe kompozycje, ułatwiają wymianę poszczególnych paneli w razie konieczności modyfikacji czy naprawy. Zastosowanie tych samych elementów mocujących redukuje koszty i znacznie usprawnia montaż (fot. 110, rys. 48).



Fot. 111. Elektrownia EKZ, Zürich (1992). Wentylowana fasada w systemie Aluhit (prod. Wyss AG). Ceramiczne panele zawieszono na modularnej, aluminiowej podkonstrukcji umożliwiającej łatwy montaż i w razie potrzeby szybką wymianę poszczególnych elementów Dzięki temu część płyt ceramicznych wymieniono po pewnym czasie na moduły PV tego samego rozmiaru.

[458] Np. systemy UniRac, Schletter, itp.

[459] W przypadku mocowania punktowego moduł musi być przytwierdzony co najmniej w 4 punktach. W systemach wymagających wiercenia otworów, moduły produkowane są na zamówienie dla uniknięcia uszkodzeń ogniw.

Rodzaj materiałów użytych w bezpośrednim sąsiedztwie modułów[460] istotnie wpływa na możliwości kształtowania solarnej okładziny. Szczególnie ważne jest odpowiednie zaprojektowanie połączeń pomiędzy konwencjonalnym pokryciem a okładziną PV. W tych miejscach spotykają się materiały o różnych właściwościach, innej tolerancji na obciążenie i reakcji na warunki atmosferyczne, nie wspominając o efektach wizualnych (fot. 112).

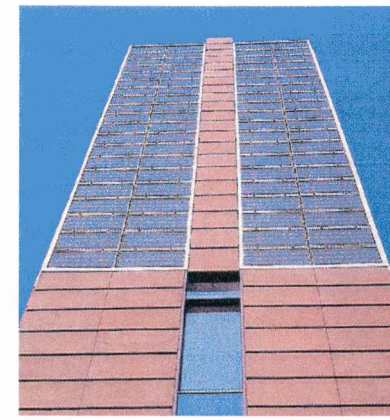
Większość konwencjonalnych materiałów stosowanych w budownictwie przemysłowym może być użyta zarówno do pokrycia elewacji jak dachu i w obu tych przypadkach można je zastąpić lub łączyć z modułami fotowoltaicznymi. W budownictwie przemysłowym najczęściej wykorzystywane są materiały metalowe – arkusze blachy, panele, kasety, lamele, czy płyty warstwowe wieszane na podkonstrukcji lub mocowane śrubami i wkrętami. Metale charakteryzują się dużą odkształcalnością pod wpływem wilgoci i zmian temperatury, z czego wynikają odpowiednie systemy mocowania i maksymalne wymiary pojedynczych elementów. Mocowanie, fugi i połączenia muszą być tak zaprojektowane, aby zachować odpowiednią tolerancję na odkształcenia i pracę materiału. Materiały metaliczne, tak samo jak moduły PV, są paronieprzepuszczalne. Nieprzepuszczalność jest istotną kwestią w przypadku łączenia z materiałami, które taką właściwość posiadają (np. ceramicznymi), należy o tym pamiętać dostosowując odpowiednio konstrukcję przegrody dla uniknięcia zawilgocenia i kondensacji pary wodnej.

Innym materiałem używanym w roli okładziny budynku przemysłowego są np. wielkoformatowe płyty włóknocementowe, które w wielu obiektach zastąpiły dawne płyty azbestowe. Ich ciężar, grubości i właściwości pozwalają na łączenie z modułami PV[461].

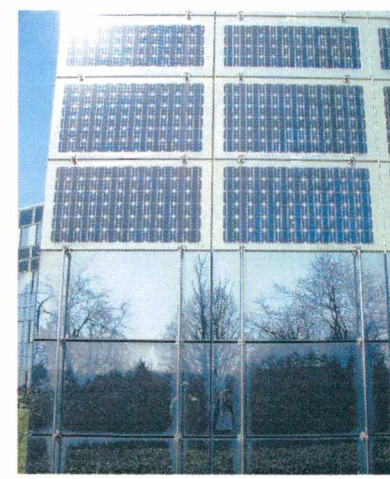
Szkło cieszy się też coraz większym powodzeniem jako okładzina elewacyjna. Konwencjonalne materiały szklane mają bardzo podobne cechy do modułów szkło-szkło, choć te ostatnie są jednak grubsze niż zwykłe szkło w porównywalnym wymiarze, konieczne jest zatem dostosowanie odpowiedniego mocowania i połączeń.

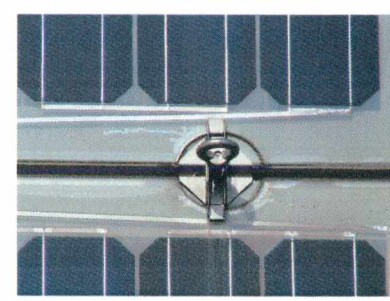
Także okładziny z laminatów mocowane są na podkonstrukcji, najczęściej metalowej. Panele mogą mieć bardzo zróżnicowane wielkości i grubości, można je więc dostosować do połączenia z modułami PV, pamiętając o znaczących odkształceniach materiału. Same moduły PV można zresztą wykonać w technologii wykorzystującej w obudowie ogniw tworzywo sztuczne np. szkło akryliczne[462].

Stosując okładzinę PV w budynkach już istniejących (w ramach modernizacji, remontu), najprostszym i najtańszym sposobem będzie zazwyczaj



Fot. 112. Zakłady komunalne, Pirmasens (arch. Bachmann & Weidinger, 1991). Okładzina ceramiczna połączona z okładziną PV. Powierzchnia fasady BIPV: 108 m², moc systemu: 12 kWp.

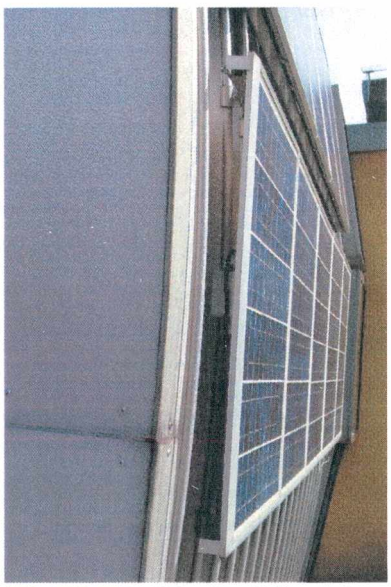




Fot. 113, 114. Peininger, Gelsenkirchen (arch. Schuler Jatzlau Partner MBH, 1996). Wentylowana okładzina z otwartymi fugami w systemie Sj Fassadensysteme – połączenie konwencjonalnych paneli szklanych z modułami PV typu szkło-szkło.

[460] Obok lub pod okładziną fotowoltaiczną w przypadku duplikacji systemu.
[461] Ibid. s. 106.
[462] Ibid. s. 107.





Fot. 115, 116. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999). Obramowane moduły PV zamocowano w układzie horyzontalnym do aluminiowego pokrycia z blachy Kalzip® przytwierdzając je na metalowej podkonstrukcji do rąbków stojących specjalnymi klipsami. Pozwoliło to uniknąć otworów montażowych w poszyciu, a tym samym, dziurawienia wodochronnej powłoki.

zduplikowanie konstrukcji[463]. Montaż paneli na specjalnych dystansach umożliwia nałożenie instalacji fotowoltaicznej na istniejącą elewację przy okazji zapewniając szczelinę dla tylnej wentylacji modułów.

Trzeba jednak zwrócić uwagę, że okładzina PV będzie dodatkowym obciążeniem, nie zawsze więc takie rozwiązanie okaże się możliwe. Podwojenie konstrukcji może też w niektórych wypadkach zakłócać harmonię projektu architektonicznego. Szczególnej dbałości wymaga wykonanie systemu mocującego, aby nie zniszczył on istniejącej skóry budynku, co może prowadzić do rozszczelnienia lub zniszczenia elementów konstrukcji. Dodanie do istniejącej powłoki okładziny PV polega zazwyczaj na wstępnym łączeniu modułów w większe elementy, które na specjalnych uchwytach dystansowych przytwierdzane są do konstrukcji nośnej[464].

Pośrednim rozwiązaniem pomiędzy całkowitym zastąpieniem konwencjonalnej okładziny materiałem PV, a duplikacją systemu, jest rozwiązanie polegające na połączeniu tradycyjnego materiału z modułem PV. W przypadku blachy trapezowej materiały można łączyć bezpośrednio w miejscu fali grzbietowej - profilowanie zapewni dystans potrzebny dla tylnej wentylacji modułów. Elementy łączone są wstępnie na specjalne klamry, zaciski lub fabrycznie klejone, później na budowie osadzane tak samo jak zwykłe arkusze blachy[465]. Szybki montaż i brak podkonstrukcji stanowią zaletę rozwiązania, ale jedną z wad będzie zniszczenie elementów w razie demontażu.

Przykłady realizacji fasad z wentylowaną okładziną PV:

- Aerni Fenster AG - **V/001**
- Centrum technologiczne „Windmühle" - **V/002**
- APS Photovoltaics Manufacturing Facility - **V/003**
- ELSA – Joint Research Centre (JRC) - **V/005**
- Stadtmühle CMZ Zürich - **V/006**
- Scheuten Solar Cells - **V/011**
- Energiepark West - **V/012**
- Protechno Card - **V/021**
- Technium OpTIC - **V/022**
- SchapfenMühle - **V/023**
- Wattwerk - **V/024**
- Isofotón - **V/027**
- Q-cells - **V/028**

- **Tablice D/1.1**

Produkty komercyjne:

- Systemy okładzin wentylowanych: **Tablice C/1, C/3, C/4**
- Systemy profilowe: **Tablice C/2**

[463] Duplikacja okładziny w nowo wznoszonych budynkach nie ma specjalnie sensu, ponieważ nie oszczędza się ani na materiale ani na montażu.
[464] Odpowiednie są zarówno konstrukcje ścian masywnych jak i lekkie systemy szkieletowe.
[465] Patrz rozdz. IV/2.2.3.

2.2.
NOWA GENERACJA BIPV – MODUŁY PV TRWALE ZINTEGROWANE Z KONWENCJONALNYMI MATERIAŁAMI BUDOWLANYMI

Wśród różnych OZE fotowoltaika jest jedyną technologią, której urządzenia można wyprodukować w bezpośrednim połączeniu z konwencjonalnymi materiałami budowlanymi. Początkowo, integracja fotoogniw możliwa była jedynie z materiałami szklanymi[466]. Dzięki nieustannej działalności badawczo-rozwojowej prowadzonej przez grupy osób zaangażowanych w rozwój technologii (tj. architektów, konstruktorów, przedstawicieli sektora budowlanego, solarnego, przemysłowego, itd.), produkty BIPV uległy znacznej ewolucji. Dziś jest już możliwa i z powodzeniem wykorzystywana bezpośrednia integracja elementów fotowoltaicznych z większością materiałów stosowanych w konstrukcji budynków. W ten sposób paleta produktów budowlanych poszerzyła się o nowatorskie, wielofunkcyjne materiały będące kombinacją tradycyjnych elementów z innowacyjną koncepcją solarnej technologii.

W pierwszych komercyjnych produktach BIPV do integracji z konwencjonalnym materiałem budowlanym używano jedynie modułów z ogniwami z krzemu krystalicznego (c-Si). Technologia ta jest po dziś dzień wiodącą na rynku fotowoltaiki, jednak dla bezpośredniej integracji z materiałami budowlanymi charakteryzuje się licznymi wadami. Ze względu na szkło w obudowie modułu, elementy są stosunkowo ciężkie, kruche i wrażliwe na zniszczenie, a brak giętkości ogranicza ich zastosowanie na powierzchniach o zakrzywionych kształtach. Sprawność ogniw c-Si jest co prawda najwyższa, jednak w warunkach realnych, gdy funkcjonują one jako materiał budowlany, wiele czynników niekorzystnie wpływa na ich rzeczywistą wydajność - źle znoszą gorsze warunki oświetlenia (np. na pionowych elewacjach), nawet częściowe zacienienie, a przede wszystkim wysokie temperatury[467].

Wielki krok naprzód w ewolucji produktów BIPV nastąpił w wyniku postępu w technologiach cienkowarstwowych, które charakteryzują się zdecydowanie lepszymi właściwościami dla bezpośredniej integracji z innymi materiałami. Przede wszystkim nie ma problemu z nagrzewaniem się ogniw, wysoka temperatura nie wpływa bowiem na ich efektywność aż tak niekorzystnie, jak w przypadku technologii krystalicznych, są też bardziej wydajne w gorszych warunkach oświetlenia.

Początkowo, ogniwa cienkowarstwowe (tj. a-Si, CIS, CdTe) osadzano wyłącznie na szkle, z czasem postęp technologiczny pozwolił na użycie w roli

[466] Patrz rozdz. III/2.3.1.

[467] Ponieważ w przypadku bezpośredniej integracji z materiałem budowlanym temperatura operacyjna modułów jest szczególnie wysoka, konieczne są wówczas specjalne rozwiązania konstrukcyjne.

podłoża innych materiałów[468] - np. giętkich taśm metalicznych[469] i plastiku. Wraz z możliwością integracji giętkich elementów solarnych pojawiły się zupełnie nowe opcje dla zastosowania fotowoltaiki w architekturze. Elastyczność i brak szkła w tego rodzaju produktach pozwalają na wykorzystanie zaawansowanego technologicznie materiału na powierzchniach każdego kształtu - zarówno prostych, jak i zakrzywionych, wklęsłych czy wypukłych, co dla nowoczesnych konstrukcji jest szczególną zaletą. Wysoki poziom prefabrykacji produktów końcowych ułatwia i usprawnia montaż znacznie redukując koszty. Trzeba też dodać, iż w technologii cienkowarstwowej małe ilości energii potrzebne w procesie produkcji i wysoka wydajność funkcjonującego elementu powodują zwrot inwestycji w okresie ~3 lat, co stanowi jedynie ułamek w przypadku typowych modułów z ogniw krystalicznych.

Zupełnie nowe rozwiązania stały się możliwe wraz z opatentowaniem przez United Solar i ECD Ovonic trójzłączowych ogniw z krzemu amorficznego (a-Si), tzw. *triple-junction solar cells*[470]. W tej technologii ogniwa solarne w trakcie produkcji osadzane są za pomocą specjalistycznej metody *roll-to-roll* na metalicznym podłożu z taśmy stalowej. Następnie całość jest ochronnie zakapsułowana w polimerach EVA i ETFE tworząc w efekcie cienki i giętki laminat[471]. Od 1998 United Solar Ovonic wytwarza na skalę masową tego rodzaju cienkowarstwowe, rolowe moduły (fot. 117), które za pomocą specjalnych substancji klejących można w prosty sposób trwale zintegrować z konwencjonalnymi elementami budowlanymi, tj.:

- materiałami metalicznymi (blachami ze stali galwanizowanej lub nierdzewnej, blachami cynkowo-tytanowymi, Galvalume®),
- tworzywami sztucznymi, membranami (PVC, PVC-EVA, EPDM, TPO/FPO, TPE, ETFE),
- zmodyfikowanymi materiałami bitumicznymi,
- materiałami kompozytowymi[472].

Partnerskie firmy[473] produkujące materiały budowlane opracowują innowacyjne, wielofunkcyjne produkty końcowe bazując na swoim standardowym produkcie, który trwale łączą z laminatem Uni-Solar®. Dzięki produk-



Fot. 117. Laminat Uni-Solar®. Rolowany, cienkowarstwowy laminat (ogniwa amorficzne w technologii *triple-junction solar cells* na podłożu z giętkiej taśmy stalowej) dla integracji z materiałami budowlanymi.

[468] Komercyjnie produkowane cienkowarstwowe moduły BIPV na podłożu innym niż szkło dostępne są w technologii ogniw z krzemu amorficznego (a-Si) - pojedyncze, tandemowe lub trójzłączowe ogniwa osadzane są na giętkich taśmach metalowych, plastiku, żywicach syntetycznych.

[469] W 2006 w fabryce Odersun AG we Frankfurcie nad Odrą ruszyła pierwsza masowa produkcja giętkich modułów CIS na podłożu z cienkiej taśmy miedzianej. Firma planuje rozwinięcie specjalnej linii produkcyjnej materiałów dla zastosowań architektonicznych o nazwie Solar4Building. Produkty będą najpierw testowane wraz z chętnymi firmami partnerskimi, na rynku pojawią się nie wcześniej niż w 2008 r. SIEMER J. *Finally, at the beginning*, in: PHOTON International, 6/2006, s. 16.

[470] Patrz rozdz. III/4.1. rys. 31, fot. 69.

[471] UNITED SOLAR OVONIC, *Technical Report 2006*, http://www.uni-solar.com/.

[472] VAN CLEEF M., *Uni-Solar® - BIPV products*, Building with PV: New product opportunities, Sustain 2001, Amsterdam Rai 2001.

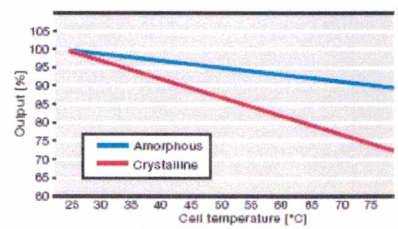
[473] M.in.: Alwitra, ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme, Solar Integrated Technologies SIT, Corus Bausysteme, Sarnafil, Chevron Energy Solutions.

tom *OEM*[474] gama materiałów BIPV III generacji w ostatnich latach znacznie się rozwinęła.

Dla bezpośredniej integracji z materiałami budowlanymi moduły wykonane z ogniw trójzłączowych (*triple junction technology*) charakteryzują się zdecydowanie lepszymi właściwościami niż materiały krystaliczne. Ich właściwości pozwalają na rolowanie materiału (np. do transportu) oraz użycie go na powierzchniach wszelkiego kształtu. Giętkie laminaty bez szkła nie rozbiją się, są odporne na uszkodzenia i wandalizm (można po nich chodzić) i co ważne dla zastosowań budowlanych, wyjątkowo lekkie. Fakt, iż mały ciężar nie wpływa istotnie na obciążenie budynku, jest szczególnie ważny w przypadku lekkich konstrukcji szkieletowych najbardziej powszechnych w budownictwie industrialnym.

Kolejne zalety to zdecydowanie mniejsza wrażliwość na wysoką temperaturę, zacienienie i gorsze warunki oświetleniowe. Dzięki unikalnej technologii laminaty Uni-Solar® osiągają wysokie parametry sprawnościowe w porównaniu do modułów z krzemu krystalicznego o tej samej mocy znamionowej[475]. W procesie konwersji fotowoltaicznej wykorzystywane jest promieniowanie w bardzo szerokim zakresie fal, łącznie z promieniowaniem rozproszonym[476]. Jest to szczególnie korzystne w przypadku aplikacji fasadowych (szczególnie pionowych), ze względu na ich zazwyczaj nie najlepsze zorientowanie w kierunku Słońca[477].

Materiały amorficzne nie reagują również tak silnie na wzrost temperatury, która jak wiadomo bardzo niekorzystnie wpływa na obniżenie sprawności ogniw krystalicznych (rys. 49). Dlatego mogą zostać trwale zintegrowane z wszelkiego typu materiałami bez potrzeby zapewniania tylnej wentylacji, np. z powszechnymi w budownictwie industrialnym izolowanymi płytami warstwowymi[478].



Rys. 49. Wpływ wzrostu temperatury na obniżenie wydajności ogniw. Porównanie technologii krystalicznej i amorficznej.

Cienkowarstwowe moduły dokonały prawdziwej rewolucji w technologii BIPV, ale na rynku materiałów budowlanych aktywna jest jeszcze stosunkowo niewielka grupa firm wykorzystująca te technologie. Niekwestionowanym liderem wśród producentów giętkich laminatów PV dla integracji z konwencjonalnymi materiałami pozostaje cały czas United-Solar Ovonic.

---

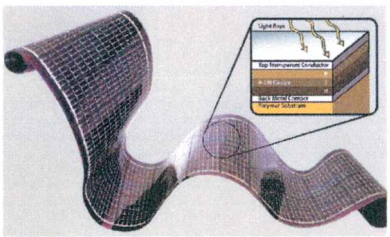
[474] OEM - z ang. *Original Equipment Manufacturer* to termin odnoszący się do sytuacji, gdy jedna firma kupuje wyprodukowany przez inną produkt i wykorzystuje go do wytworzenia innego produktu, który sprzedaje pod własną marką. Brak jednak zgody co do tego, do czego odnosi się sama nazwa „OEM" – do firmy, która kupuje produkt i sprzedaje go dalej, czy do tej, która wytwarza produkt jako pierwsza.

[475] Poprzez spiętrzenie warstw materiału półprzewodnikowego poszczególne fotoogniwa składają się z trzech pod-ogniw zoptymalizowanych w taki sposób, aby każde z nich reagowało na inne spektrum światła słonecznego. http://www.uni-solar.com/.

[476] Promieniowanie rozproszone jest dominującą formą oświetlenia dziennego w centralnej i północnej Europie, tym bardziej w strefach industrialnych.

[477] Dodatkowo, dzięki zastosowaniu bocznikującego obwodu elektrycznego na ogniwach, w przypadku częściowego lub czasowego zacienienia energia systemu nie jest znacząco redukowana. W systemach zbudowanych z ogniw krystalicznych obwody bocznikujące znajdują się między modułami, w laminatach a-Si pomiędzy ogniwami solarnymi. Zacienienie (zabrudzenie) 3% powierzchni modułu c-Si redukuje energię wyjściową o ponad 50%, natomiast w przypadku laminatów wykorzystujących technologię trójzłączowych ogniw a-Si jedynie o 3%. Patrz rozdz. IV/1.3.1 rys. 44. http://www.ovonic.com/.

[478] Patrz rozdz. IV/2.2.3.



Rys. 50. PowerFilm® Solar. Ogniwa z krzemu amorficznego na plastikowym podłożu.

Działalność zaczynają rozwijać firmy oferujące zupełnie nowe rozwiązania. Amerykańska PowerFilm Solar Inc produkuje i sprzedaje materiały fotowoltaiczne zintegrowane z plastikiem[479] (rys. 50). Nowoczesnej generacji moduły zbudowane są z pojedynczych lub tandemowych ogniw z krzemu amorficznego (a-Si) osadzanego na giętkim podłożu plastikowym grubości 0,025 mm. Są to najlżejsze z modułów, a podłoże z cienkiego polimeru jest wyjątkowo trwałe[480] (wg producenta bardziej niż szkło i metale). Wyjątkowa giętkość pozwala na zakrzywienie modułu już od średnicy 5 cm. Przystosowane do funkcjonowania w bardzo różnych warunkach plastikowe moduły można w łatwy, szybki, tani i zadowalający pod względem estetycznym sposób integrować z konwencjonalnymi materiałami takimi jak metal, membrany dachowe oraz architektoniczne tkaniny i inne struktury specjalnej funkcji.



Fot. 118. Flexcell®. Giętka folia PV z ogniw amorficznych na plastikowym podłożu.

Materiały cienkowarstwowe z krzemu amorficznego na podłożu plastikowym produkuje m.in. szwajcarska firma Flexcell, która dla osadzania ogniw rozwinęła specjalną technologię VHF (*Very-High-Frequency plasma technology*). Lekkie i giętkie moduły PV (fot. 118), które mogą być produkowane w wymiarach dopasowanych do konkretnych wymagań, także nadają się do integracji z różnymi materiałami budowlanymi. Aktualnie Flexcell rozwija nowe produkty BIPV tj. plastikowe okładziny, membrany dachowe, dachówki cementowe, pokrycia metalowe[481].

Na rynku komercyjnych materiałów budowlanych jest coraz więcej produktów solarnych. Integracja modułów fotowoltaicznych ze znanymi i sprawdzonymi materiałami budowlanymi zwiększa wiarygodność nowych produktów BIPV. Niektóre posiadają już certyfikaty trwałości i jakości. Jeżeli proces integracji ogniw PV z materiałami budowlanymi będzie kontynuowany, prognozuje się dalszą, istotną redukcję kosztów dla technologii fotowoltaicznej w środowisku architektonicznym. Prawdopodobnie jest tylko kwestią czasu, żeby przemysł budowlany w pełni zaakceptował ogniwa fotowoltaiczne jako integralny element swoich produktów, na dużą skalę udostępniając na rynku komercyjnym wielofunkcyjne, trwałe, atrakcyjne kosztowo i zróżnicowane pod względem estetycznym materiały BIPV. Nieustannie badane są prototypy nowych rozwiązań, można więc przypuszczać, że wraz z rozwojem rynku estetyka i różnorodność produktów będą rosnąć, a trudności związane z powszechną akceptacją i aplikacją zmniejszą się.

W kolejnych podrozdziałach omówiono następujące produkty BIPV: szkło fotowoltaiczne, płytki (dachówki, gonty, itp.), materiały metaliczne

[479] Firma PowerFilm Solar Inc. sprzedająca materiały dla wojska, produktów przenośnych i urządzeń w miejscach oddalonych od sieci jest aktualnie w zaawansowanym stadium rozwoju materiałów BIPV. Pierwszym krokiem do integracji materiałów solarnych z elementami budowlanymi były polowe osłony ochronne rozwinięte dla wojska US wraz z Johnson Outdoors/Eureka Tents. http://www.powerfilmsolar.com/.

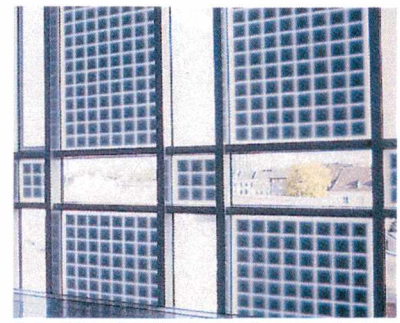
[480] Funkcjonują dobrze w różnych warunkach środowiska, łącznie z wysokimi temperaturami. http://www.powerfilmsolar.com/.

[481] http://www.flexcell.com/.

oraz tworzywa sztuczne. Choć wszystkie one znalazły już praktyczne zastosowanie w kształtowaniu powłok budynków, nadal jednak ich użycie w sektorze industrialnym jest mało powszechne.

2.2.1. SZKŁO

Szkło było pierwszym materiałem budowlanym, z którym trwale zintegrowano ogniwa słoneczne - w ten sposób, z początkiem lat 90. powstał „prawdziwy" produkt BIPV (fot. 64, fot. 119). Działania naukowców, firm solarnych i budowlanych, a także rosnące zainteresowanie projektantów[482] spowodowały, że rynek szklanych materiałów BIPV szybko się rozwinął. Dziś, projektanci mają do wyboru różne technologie budowy i parametry szklanych materiałów fotowoltaicznych.



Fot. 119. STAWAG, Aachen (arch. Georg Feinhals, 1991). Pierwsza elewacja BIPV - szklana fasada BIPV z ogniwami z krzemu polikrystalicznego. 104 moduły PV o łącznej mocy 4,2 kWp.

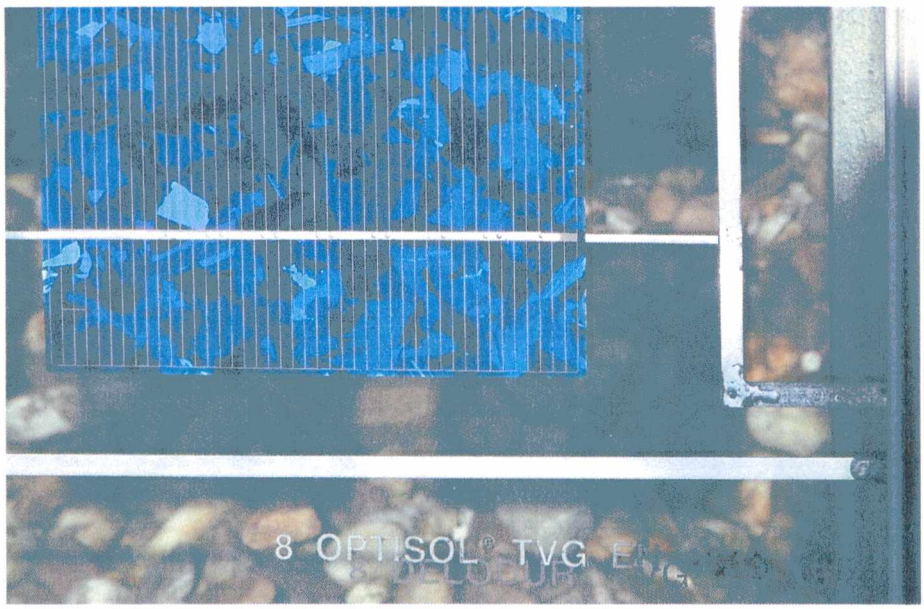
Najprostsze i najtańsze rozwiązanie polega na wykorzystaniu standardowych, bezramowych modułów ze szklaną obudową[483], bowiem ich kształty i rozmiary mogą być takie same, jak w przypadku zwykłych tafli szkła. Niezależnie od wybranej technologii (materiały krystaliczne czy cienkowarstwowe) efektem końcowym jest zaawansowany technologicznie materiał budowlany, który może zastąpić tradycyjne szkło[484].

W nowoczesnych szklanych powłokach elementy BIPV powinny mieć bardziej wyspecjalizowane właściwości, ponieważ poza generowaniem energii elektrycznej, spełniają wiele dodatkowych funkcji[485]. Dlatego producenci poszerzają ofertę o nowoczesne produkty optymalizowane specjalnie dla celów architektonicznych. Szkło fotowoltaiczne dla zastosowań budowlanych produkowane jest w większości przypadków na zamówienie – składa się ze standaryzowanych elementów, które odpowiednio połączone ze sobą tworzą w rezultacie wielofunkcyjny materiał, o parametrach dostosowanych do konkretnych potrzeb. Dobierane są ogniwa o pożądanych parametrach, kształt, wymiary modułu i odpowiednie rodzaje szkła w obudowie.

Postęp technologiczny (zarówno w dziedzinie fotowoltaiki, jak i materiałów szklanych) pozwala na realizację niejednokrotnie bardzo wyszukanych rozwiązań, w których poza praktyczną funkcją i techniką, coraz większą rolę odgrywa estetyka. Choć wiążą się z tym dość wysokie koszty materiału, dla odpowiednio zaprojektowanej powłoki, wykonanej ze szklanych materiałów BIPV, końcowy bilans okazuje się korzystny, co wynika bezpośrednio z kombinacji różnych właściwości, powiązanych w jeden kompleksowy i wielofunkcyjny element.

---

[482] Np. aktywność architektów Kiss Cathcart Architects z USA.
[483] Patrz tablice B/1.1 rys. 3.
[484] Najprostszy moduł typu szkło-szkło, w którym obustronną obudowę ogniw tworzy pojedyncze szkło (półhartowane TVG lub hartowane ESG) może być wykorzystany tylko tam, gdzie nie ma specjalnych wymogów, co do kwestii bezpieczeństwa oraz właściwości termalnych szklanej przegrody.
[485] Patrz rozdz. IV/2.



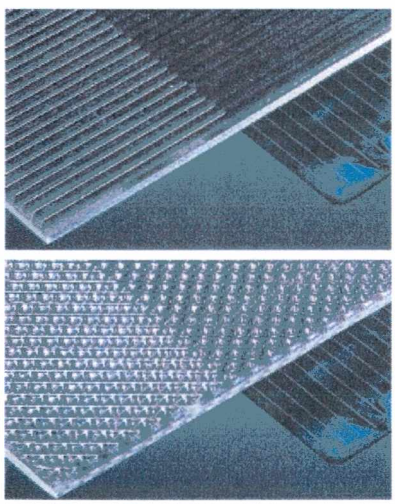
Fot. 120. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Element pochylonej fasady budynku - szklany moduł Optisol® dla zastosowań budowlanych (prod. Scheuten Solar). Poszczególne komponenty (ogniwa, szkło, itd.) dobierane są w tego rodzaju produktach odpowiednio do wymagań projektowych.

BUDOWA ELEMENTU

Odpowiedni dobór fotoogniw jest kwestią niezwykle istotną w kształtowaniu szklanej powłoki budynku - wiąże się nie tylko z wyborem materiału półprzewodnikowego, ale i kształtem poszczególnych ogniw, ich wymiarem, ułożeniem w module, kolorem. Wszystko razem wpływa na efektywność energetyczną szkła fotowoltaicznego, jego walory funkcjonalne i estetyczne. Firmy wytwarzające materiały BIPV wykorzystują materiały różnych producentów, co daje projektantom dużą wolność twórczą (fot. 120). Ten sam system szklanej fasady połączony z ogniwami innego typu będzie dla architekta zupełnie nowym narzędziem[486].

Istotną zaletą technologii BIPV jest możliwość integracji z wieloma rodzajami szkła budowlanego. Szczególne korzyści wynikają z zastosowania szkła wielofunkcyjnego, tj. izolacyjnego, laminowanego, rozpraszającego światło, antywłamaniowego, itd. Różnorodność właściwości dostępnych produktów otwiera szerokie spektrum możliwości kształtowania nowoczesnej powłoki budynku.

Ze względu na konieczność maksymalnego wykorzystania promieniowania słonecznego przez ogniwa fotowoltaiczne, frontowa warstwa szklanego elementu BIPV musi zawsze spełniać warunki optymalnej transmisji światła[487]. W tym celu stosowane są nowoczesne materiały antyrefleksyjne, które ograniczają straty związane z odbiciem światła od przedniej szyby modułu PV[488] (fot. 121, 122). Wg badań, zastosowanie takiego szkła może zwiększyć efektywność energetyczną nawet o 3% w skali roku.



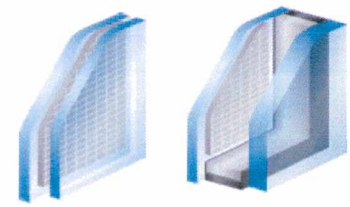
Fot. 121, 122. Białe szkło ornamentowe SGG Albarino, prod. Saint-Gobain Glass. Odpowiednia teksturyzacja zwiększa transmisję światła docierającego do ogniw nawet o 8% w porównaniu do zwykłego, płaskiego szkła float. Od góry: SGG Albarino G (rowkowanie zapewnia swobodny odpływ wody z powierzchni modułu), SGG Albarino P (teksturyzacja w formie piramid).

[486] Patrz rozdz. IV/4.

[487] Na przedniej warstwie modułu nie można stosować szkła z powłoką, zabarwieniem, czy nadrukiem ograniczającym transmisję promieniowania solarnego. Najczęściej stosowane szkło białe o niskiej zawartości żelaza charakteryzuje się dużą przepuszczalnością, choć pewna ilość światła ulega odbiciu i absorpcji.

[488] Dodatkowo zmniejsza się ilość odblasków od zewnętrznej powierzchni, które mogą oślepiać obserwatora. Jest to niebezpieczne w przypadku dużych powierzchni szkła na elewacjach budynków usytuowanych przy drogach komunikacyjnych. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 32.

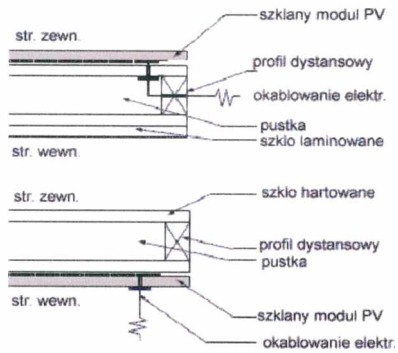
Zastosowanie szkła w elewacji wiąże się z koniecznością spełnienia przez nie wysokich wymagań pod względem bezpieczeństwa. **Szkło bezpieczne** należy stosować w konstrukcjach o dużych powierzchniach, zawieszonych nad głową i innych elementach związanych z elewacją (zadaszenia, balustrady, żaluzje), gdzie istnieje ryzyko zranienia. Odpowiednie będą różne rozwiązania, np. wykorzystanie szkła laminowanego VSG[489] w tylnej obudowie szklanego modułu (rys. 51). W zależności od potrzeb realizowane są inne, bardziej złożone konstrukcje (tablice B/1.3 rys. 1, 2, 3, 7, 8).



Rys. 51. Schematy budowy różnych typów szkła fotowoltaicznego. Z lewej ogniwa solarne zintegrowane ze szkłem bezpiecznym VSG, z prawej ze szkłem izolacyjnym.

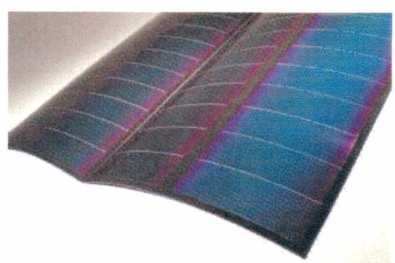
Innym sposobem jest użycie w obudowie modułu tworzywa sztucznego. Zastąpienie konwencjonalnego szkła **akrylicznym (PMMA)** spowoduje, że element końcowy będzie tańszy, lżejszy i będzie mógł osiągnąć większe rozmiary. Przykładowo, Sunovation oferuje moduły wykonane z użyciem transparentnego Plexiglas® jako warstwy frontowej, tylną obudowę ogniw stanowi zaawansowany technologicznie materiał Makrolon® firmy Bayer[490].

Zastosowanie ogniw solarnych w **szybach zespolonych** powoduje, że materiał BIPV zyskuje lepsze właściwości termalne, dzięki czemu staje się atrakcyjniejszym produktem budowlanym. Budowa takiego elementu różni się od konwencjonalnego rozwiązania jedynie tym, iż zewnętrzną taflę szkła zastępuje szklany moduł PV[491]. Teoretycznie, ogniwa solarne mogą być umieszczane zarówno w zewnętrznej, jak i wewnętrznej warstwie szklenia (rys. 52). Z reguły jednak moduły PV tworzą warstwę zewnętrzną[492], ze względu na bezpośrednie wystawienie ogniw na działanie promieniowania słonecznego[493]. Wadą tego rozwiązania jest brak wentylacji tylnej strony modułu. Przeprowadzenie okablowania elektrycznego do tyłu uszczelnionej jednostki musi być wykonane z dużą starannością, bowiem jakakolwiek penetracja do przestrzeni międzyszybowej może się przyczynić do zamglenia szyb, obniżenia wartości izolacyjnej lub krótkiego spięcia[494].



Rys. 52. Możliwości integracji modułu PV z szybami zespolonymi. Od góry: moduł tworzący szklenie zewnętrzne i użyty od strony wewnętrznej. Na podst. Kiss G., Kinkead J.

Szkło budowlane kojarzone głównie z płaskimi powierzchniami, może mieć zupełnie inne oblicze - w procesie gięcia nadawana jest nowa jakość funkcjonalna i estetyczna, która pozwala architektom na projektowanie bardziej zróżnicowanych form. **Szkło gięte** odpowiednie dla integracji z ogniwami PV oferuje m.in. włoska firma Curvet Spa[495] (fot. 123).



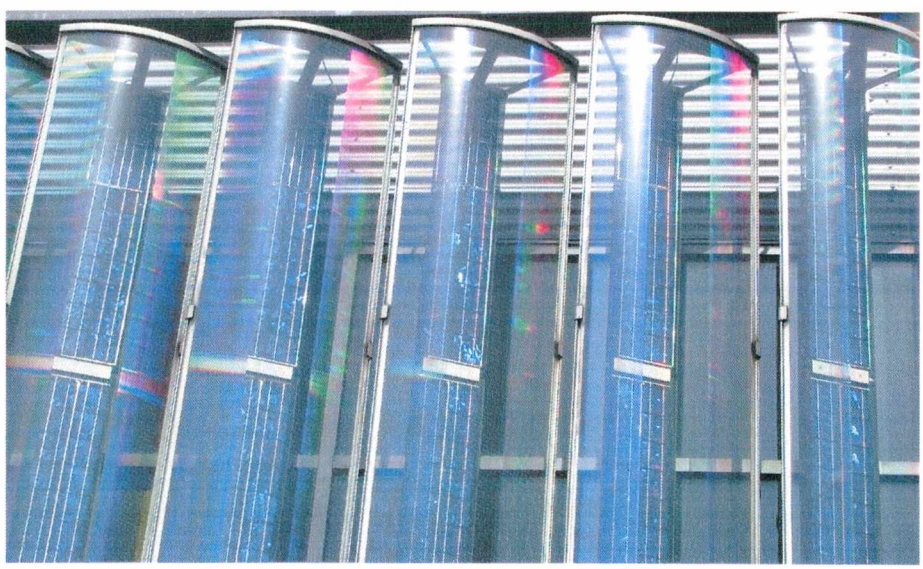
Fot. 123. Laminat z krzemu amorficznego (Uni-Solar®) zintegrowany ze szkłem giętym Curvet Spa.

[489] Folia PVB zabezpiecza przed rozsypaniem szkła, stanowiąc jednocześnie dobrą ochronę antywłamaniową. Wielowarstwowe laminaty umożliwiają uzyskanie elementów większych rozmiarów - zastosowanie szkła klejonego pozwala na zmniejszenie grubości szkła, co pociąga za sobą redukcję wagi materiału BIPV.
[490] Makrolon® pozwala na redukcję wagi modułu o 60 % w stosunku do elementu wykonanego z konwencjonalnego szkła. http://www.sunovation.de/.
[491] Tak jak w konwencjonalnych systemach, zestaw szyb połączony jest na obwodzie ramką dystansową z elastycznym uszczelnieniem, przestrzeń międzyszybowa wypełniona jest specjalnym gazem.
[492] Wewnętrzną warstwę szklenia tworzy pojedyncza szyba float lub szkło wielowarstwowe - możliwości materiałowe są w zasadzie nieograniczone. Dla polepszenia parametrów termicznych, szkło można pokryć warstwą niskoemisyjną, a gdy efekt transparentności nie jest pożądany, może być barwione lub pokryte sitodrukiem. W konstrukcjach wymagających zwiększonych środków bezpieczeństwa, wewnętrzna szyba będzie wykonana ze szkła bezpiecznego.
[493] Zastąpienie wewnętrznego szklenia jest możliwe, ale powoduje zbyt duże straty wskutek odbicia i absorpcji światła od zewnętrznej szyby. Z drugiej strony moduł PV jest wówczas chłodniejszy.
[494] KISS G., KINKEAD J., *Optimal...*, s. 14.
[495] http://www.curvetspa.com/home.html.

Dla uzyskania efektu zakrzywienia można też wykorzystać szkło organiczne, którego giętkość pozwala na uzyskanie każdego w zasadzie kształtu - np. moduły z Plexiglas® i Makrolon® firmy Sunovation (tablice C/10.4).

Zastosowanie odpowiednich powłok i pokryć na szkle może istotnie wpływać na parametry funkcjonalno-użytkowe oraz aspekty estetyczne całego elementu BIPV. Warunkiem jest, aby nie ograniczały one docierającego do ogniw solarnych promieniowania w tym zakresie fal, które w rezultacie konwersji fotowoltaicznej przekształcone będzie w energię elektryczną. Z tego powodu powłoki niskoemisyjne, ceramiczne, kolorowe folie, nadruki, itp., można stosować na elementach BIPV jedynie na wewnętrznej stronie szklanego systemu (tzn. z tyłu fotoogniw). Dla warstwy frontowej odpowiednie będą przede wszystkim **powłoki antyrefleksyjne**. Szczególne korzyści zapewniają specjalne materiały o absorpcji selektywnej - umożliwiając selekcję promieniowania docierającego do ogniw solarnych, mogą istotnie wpływać na zwiększenie ich efektywności energetycznej[496].

Interesującym materiałem są innowacyjne folie specjalnie ukierunkowujące światło, jak **folie holograficzne** określane mianem **HOE** – holograficznych elementów optycznych. Badania prowadzone przez Helmuta F.O. Müllera na Uniwersytecie w Dortmundzie wykazały, że są one skuteczne w zarządzaniu światłem oraz w optymalizacji zysków z energii solarnej dla konwersji fotowoltaicznej[497]. Transparentna folia Holo-Volt® zalaminowana w szkle klejonym i umieszczona przed fotoogniwami skupia na nich bezpośrednie promieniowanie solarne, jednocześnie pozwalając na przejście przez przegrodę światła rozproszonego. Taki system, zastosowany m.in. w elewacji fabryki Scheuten Solar w Gelsenkirchen (fot. 124, V/011), skutecznie chroni wnętrze budynku przed olśnieniem i przegrzaniem[498].



Fot. 124. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999). Na południowej fasadzie budynku zastosowano system szklanych, przeciwsłonecznych lameli BIPV z holograficzną folią Holo-Volt®.

[496] Produktem opracowanym specjalnie dla systemów PV jest powłoka SGG PV-Lite firmy Saint-Gobain - zwiększa transmisję światła w zakresie tych fal, które przekształcane są w energię elektryczną, redukuje transmisję w zakresie podczerwonym chroniąc ogniwa od przegrzania. http://www.saint-gobain-glass.com.
[497] HUI S.C.M., MÜLLER H. F. O., *Holography: Art and Science of Light in Architecture*, Architectural Science Review, Volume 44, Issue 3, s. 224.
[498] Patrz rozdz. IV/3.4.

TRANSPARENTNOŚĆ

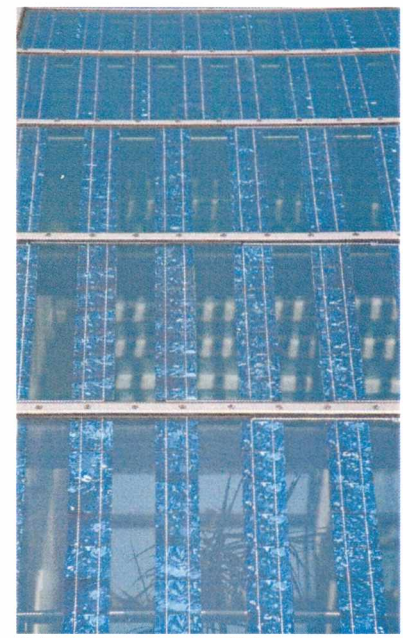
Szklane materiały BIPV w zależności od przyjętej technologii będą nieprzezierne lub częściowo transparentne (jak dotąd żadna z technologii nie pozwala na całkowitą przezroczystość materiału).

Elementy **nieprzeźroczyste**, stosowane w roli okładziny fasad zimnych i w systemach ciepło-zimnych jako spandrele, mogą być zbudowane w różny sposób. W przypadku zastosowania konwencjonalnych materiałów krystalicznych (c-Si) nieprzeźroczyste ogniwa ułożone blisko siebie nie pozwalają na większe prześwity światła pomiędzy nimi. Dodatkowo, tylna warstwa obudowy ochronnej modułu może być wykonana z materiału nieprzeźroczystego – np. ze szkła barwionego, pokrytego nadrukiem lub specjalną folią. Jako nietransparentne, produkowane są też różnego rodzaju moduły z ogniwami cienkowarstwowymi (np. a-Si opak RWE Schott Solar, czy CIS firmy Würth Solar). Wizualnie cechuje je homogeniczna, ciemna powierzchnia.

Moduły **półprzeźroczyste**, to jak twierdzą niektórzy, *„prawdopodobnie najbardziej atrakcyjne rozwiązanie BIPV."*[499] Tego rodzaju materiały mają szczególny sens w przypadku zastosowania w szklanych powłokach. Ogniwa solarne zintegrowane z przepuszczającym światło materiałem tworzą prawdziwie wielofunkcyjny i interesujący wizualnie komponent budynku. W zależności od rodzaju użytych ogniw, sposobu ich umieszczenia w module oraz rodzaju podłoża, można uzyskać różne efekty – dotyczy to zarówno kwestii wizualno-estetycznych, jak i parametrów funkcjonalno-technicznych. Aktualne technologie pozwalają uzyskać efekt transparentności za pomocą 3 różnych metod takich jak:

- Zwiększenie rozstawu pomiędzy ogniwami solarnymi (c-Si);
- Perforacja ogniw (c-Si);
- Zastosowanie częściowo transparentnych ogniw cienkowarstwowych (a-Si, CIS, CdTe).

W modułach zbudowanych z konwencjonalnych ogniw krystalicznych, efekt częściowej transparentności uzyskuje się układając poszczególne ogniwa w większych odstępach - ponieważ z natury są one nieprzeźroczyste, światło przedostaje się przez przestrzenie pomiędzy nimi[500] (fot. 125). Innym sposobem jest mechaniczna perforacja ogniw (fot. 68). Dla zwiększenia efektu oba sposoby można ze sobą połączyć (fot. 126, 127).



Fot. 125. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999). Zagęszczenie ogniw (c-Si) zmienia się w zależności od kąta nachylenia przegrody, zwiększając dopływ światła do wnętrza tam, gdzie Słońce pada pod mniejszym kątem. Ogniwa rzadziej rozmieszczone od frontu zagęszczają się ku górze, gdzie promienie słoneczne padają pod kątem prostym.



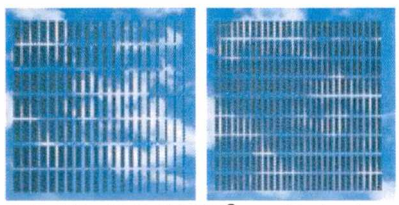
Fot. 126, 127. Centrum recyklingu, Pont de Vilomara i Rocafort (arch. Siliken, 2003). Szklaną fasadę tworzą 3 pasy szklanych modułów z ogniwami polikrystalicznymi (prod. Sunways) - górny nieprzeźroczysty, pozostałe semitransparentne z ogniwami perforowanymi. Dodatkowy efekt uzyskano rozsuwając ogniwa.

[499] Denis Lenardic, http://www.pvresources.com/en/transparent.php.

[500] Szerokością przestrzeni między ogniwami, a także rodzajem i grubością warstw szklanej obudowy modułu można regulować ilość i sposób, w jaki światło przedostaje się do wnętrza budynku.



Fot. 128. Deutsche Solar, Freiberg. Połączenie metalowej ściany osłonowej i ciemnych, szklanych paneli BIPV z semitransparentnymi ogniwami cienkowarstwowymi. Widziane z zewnątrz moduły sprawiają wrażenie czarnych i nieprzeźroczystych. Z bliższej odległości widać przez nie wnętrze fabryki.



Fot. 129. VOLTARLUX® - szkło laminowane z cienkowarstwowymi ogniwami solarnymi (ISOLAR® GLAS). Moduły produkowane jako monolityczna konstrukcja lub szkło izolacyjne.

Inną koncepcją są cienkowarstwowe ogniwa solarne od razu wyprodukowane w postaci materiałów półprzeźroczystych (tablice B/1.2 rys. 1, 3, 6). Ich transparentność kształtowana jest zazwyczaj w granicach 10-30%, ale może sięgnąć nawet 50 %. Należy pamiętać, że wraz z jej wzrostem maleje powierzchnia aktywna ogniwa, co wiąże się bezpośrednio ze stratami efektywności energetycznej systemu BIPV. Promienie przedostają się przez małe otwory, przy czym spektrum światła pozostaje niezmienione. Poziom jego transmisji zależy od wielkości i zagęszczenia otworów, natomiast sam efekt częściowej transparentności odbierany przez obserwatora, tzw. widzenie na wskroś, zależy dodatkowo od jego usytuowania i kierunku oświetlenia (fot. 128, 130-131, V/009, V/017, V/019).

Firmy solarne oferują obecnie szereg zróżnicowanych rozwiązań, zarówno jeśli chodzi o poziom transparentności ogniw, jak i kwestie plastyczne[501]. Na rynku komercyjnym dostępna jest cała gama produktów – z perforacją w kształcie okrągłym, rombowym czy pasmowym, o zróżnicowanym a nawet zmiennym w obrębie jednego modułu zagęszczeniu[502].

Dość często stosowanym materiałem są moduły z krzemu amorficznego ASI Thru® wytwarzane przez RWE SCHOTT Solar. Wiele firm z przemysłu budowlanego wykorzystuje je jako półprodukt w realizacji złożonych elementów BIPV (np. Glaswerke Arnold w produkcji szkła Voltarlux® - fot. 129).

Japoński producent elementów fotowoltaicznych MSK Corporation wraz z firmą Kaneka oraz firmą architektoniczną Taiyo Kogyo opracowali materiał o nazwie Photovol™ Glass, który uznali za *„rewolucję w architekturze solarnej."*[503] Udział architektów wpłynął na wysoki standard, estetyczny wygląd produktu, oraz różnorodne możliwości jego zastosowania w budownictwie (fot. 130, 131, V/025, tablice C/6.6).





Fot. 130, 131. Oskomera, Deurne (2005). Na fasadzie hali produkcyjnej zainstalowano 74 elementy BIPV w postaci szkła izolacyjnego MSK Photovol™Glass. Semitransparentne szklane moduły, które widziane z zewnątrz sprawiają wrażenie nieprzeźroczystych, zapewniają znajdującym się wewnątrz pracownikom widok na otoczenie. Chronią ich jednocześnie od nadmiernego nasłonecznienia.

Testowane są także inne materiały. Dużym potencjałem charakteryzują się ogniwa nanokrystaliczne oferujące nie tylko znaczny stopień transparentności, ale i możliwości kolorystyczne. Pierwsze realizacje już powstały

[501] Ponad dekadę temu architekci Kiss i Cathcart rozpoczęli badania dotyczące możliwości uzyskania różnego rodzaju wzorów perforacji oraz związanego z tym poziomu transmisji światła. KISS AND CATHCART ARCHITECTS, *Transparent Building-Integrated PV Modules*, National Renewable Energy Laboratory, DOE/GO/10262-T1, Golden 1998.

[502] Würth Solar opracowała własne technologie produkcji semitransparentnych modułów CIS z różnymi wariacjami transparentności w zakresie 0-50% i wzorami - dostępna jest perforacja pasmowa, okrągłe otwory lub rombowe o różnej wielkości i zagęszczeniu. Patrz rozdz. IV/4.2.

[503] http://www.msk.ne.jp/en/glass.shtml#2.

(fot. 132, 133), aktualnie są one w fazie eksperymentalno-badawczej. Być może już wkrótce nowego rodzaju materiały będą kolejną, dostępną komercyjnie opcją dla projektantów.



Fot. 132. CSIRO, Australia (arch. Cox Richardson). Semitransparentne płytki DSC zalaminowane między dwiema taflami szkła w standardowym obramowaniu.

Fot. 133. CSIRO, Australia (arch. Cox Richardson). Pierwsza, eksperymentalna instalacja BIPV z modułów DSC (Dye Sensitised Cells) w formie nachylonej elewacji o powierzchni 200 m^2. Produkcja paneli, projekt i instalacja systemu - Sustainable Technologies International.

SYSTEMY KONSTRUKCYJNE, MOCOWANIE

W architekturze przemysłowej nowoczesne szkło budowlane znajduje coraz szersze zastosowanie. Przeszklone przegrody zewnętrzne projektowane są najczęściej w części reprezentacyjno-wejściowej oraz administracyjno-biurowej. Mniejsze fragmenty pojawiają się w strefie produkcyjnej, laboratoryjnej czy magazynowej w postaci okien, szklanych ścian lub świetlików, a także w różnego rodzaju strukturach specjalnych, dodawanych do powłoki. Dla budowy wymienionych wyżej elementów materiały BIPV stanowią interesującą alternatywę. Dzięki nim szklana powłoka zyskuje dodatkowe właściwości, takie jak: zdolność generowania energii elektrycznej, możliwość optymalizacji komfortu wnętrza poprzez kontrolę oświetlenia, widoczności i przepływu energii cieplnej, nabiera przy tym nowych wartości estetycznych.

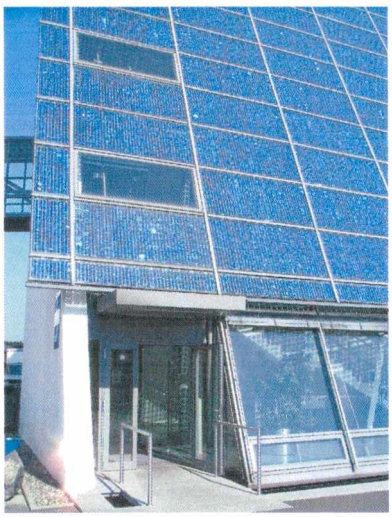
Materiały BIPV ze względu na swój modularny charakter, kształty, wymiary i strukturę porównywalną do zwykłego szkła budowlanego[504] mogą być użyte w większości standardowych systemów konstrukcyjnych. W przypadku fasad odpowiednie będą systemy lekkich ścian osłonowych typu zawieszanego, wypełniającego, systemy strukturalne, itd.

Konstrukcja ścian wykorzystujących tradycyjne szklenie i szkło zintegrowane z ogniwami PV może być taka sama (fot. 134). Należy jednak pamiętać, iż szkło fotowoltaiczne jest zazwyczaj grubsze i cięższe od konwencjonalnego, do czego dochodzą wymogi związane ze sprawnym funkcjonowaniem systemu solarnego. I tak, poza odpowiednią ekspozycją względem Słońca, odpowiedni dobór systemu konstrukcyjnego jest niezbędny dla uniknięcia problemów związanych np. z zacienianiem ogniw przez elementy konstrukcyjne, przegrzewaniem się modułów, zaleganiem śniegu, wody opadowej, brudu.

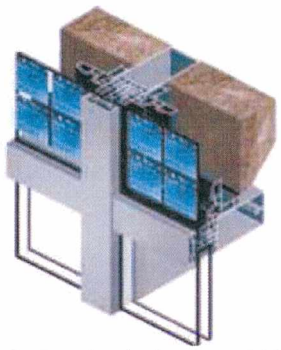


Fot. 134. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Okna fabryki z konwencjonalnym szkłem (z prawej) oraz szkłem fotowoltaicznym zintegrowanym z semitransparentnymi ogniwami cienkowarstwowymi (z lewej).

[504] W latach 90. Kiss i Cathcart przeprowadzili badania na temat różnych systemów konstrukcyjnych odpowiednich dla szkła PV. Już w początkach realizacji szklanych powłok BIPV różni projektanci podkreślali konieczność zwiększenia dostępności elementów w wymiarach odpowiednich dla standardowych konstrukcji fasadowych. KISS CATHCART ANDERS ARCHITECTS P.C., *Building-Integrated Photovoltaics*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-472-7851, Golden 1993; KISS G., KINKEAD J., *Optimal...*



Fot. 135. SMA - budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten BDA, 2001-2002). Szklana elewacja BIPV – pochylona konstrukcja ciepłej fasady. Moduły z ogniwami polikrystalicznymi zintegrowano ze szkłem izolacyjnym.



Rys. 53. Fasada ciepło-zimna FW 50+, prod. Schüco International. Moduły PV jako spandrele.



Fot. 136. Szklany moduł PV. Zamocowanie wymagające rozsunięcia ogniw.

Najczęściej szklane fasady BIPV to systemy niewentylowane, zamknięte, zewnętrzne powłoki składające się z transparentnych materiałów przejmujących wszystkie funkcje zewnętrznej przegrody. Taką elewację można formować w całości z modułów PV (częściowo transparentnych lub nieprzeźroczystych), lub na zasadzie kontrastu w połączeniu z konwencjonalnym szkłem (fot. 135). Ze względu na wymagania termiczne z reguły stosowane są moduły w obudowie ze szkła izolacyjnego.

W wielowarstwowych, wentylowanych strukturach fasad zimnych szkło zintegrowane z ogniwami solarnymi zastępuje konwencjonalną, zewnętrzną okładzinę[505]. Ponieważ elementy BIPV są w tym wypadku nieprzeźroczyste i tylna strona modułu nie jest widoczna, najczęściej stosuje się jednak w takich strukturach standardowe, masowo produkowane moduły typu szkło-folia z ogniwami krystalicznymi, ponieważ są one tańsze i lżejsze.

Szklane moduły mogą być też użyte w fasadach ciepło-zimnych – w zależności od potrzeby jako przepuszczające światło (szyby w oknach), lub w postaci nieprzeziernych, wentylowanych spandreli (rys. 53, V/015).

Jednym z najczęściej stosowanych systemów konstrukcyjnych są systemy słupowo-ryglowe, gdzie materiały BIPV tworzą wypełnienie aluminiowej konstrukcji. Szyby zespolone zintegrowane z ogniwami solarnymi dociśnięte są listwą do słupów i rygli na całym obwodzie.

W fasadach strukturalnych moduły klejone na rantach do profili nośnych specjalnym szczeliwem silikonowym są dodatkowo mocowane mechanicznie ze względów bezpieczeństwa. W przypadku systemu punktowego[506], bezramowe elementy BIPV przytwierdzane są do znajdującej się z tyłu konstrukcji nośnej. Wizualnie taka elewacja nabiera lekkości i charakteryzuje się jednolitą, szklaną płaszczyzną. Bezramowe moduły trzeba dobrze chronić na brzegach, a także odpowiednio zabezpieczyć okablowanie elektryczne przed promieniowaniem UV i warunkami atmosferycznymi[507].

Szczególną formą szklanych fasad BIPV są konstrukcje pochylone (tablice D/2). W budynkach przemysłowych realizowane są one głównie w strefach wejściowych, reprezentacyjnych, najczęściej jako półtransparentne. Ponieważ nachylenie pozwala lepiej wykorzystać nasłonecznienie, mimo wyższych kosztów budowy jest to rozwiązanie szczególnie korzystne dla syste-

[505] Zaletą konstrukcji wentylowanych jest możliwość demontażu poszczególnych elementów zewnętrznego pokrycia bez przeszkód dla funkcjonowania budynku, poza tym uchwyty i profile mocujące nie muszą być izolowane termicznie. Patrz rozdz. IV/2.1.

[506] Dla rozwiązań wymagających wiercenia na wylot materiały BIPV produkowane są w taki sposób, aby ułożenie ogniw nie kolidowało z systemem mocującym. Ogniwa rozmieszczone są wówczas nieregularnie lub zachowuje się wymaganą szerokość rantu dookoła powierzchni aktywnej (fot. 136). Wiercenia i związanych z tym ewentualnych uszkodzeń lub rozszczelnienia modułów można uniknąć dzięki nowoczesnym systemom punktowego mocowania, jak tzw. „pająki". http://solarintegration.de.

[507] Pierwszą strukturalną fasadę BIPV z elementami klejonymi do konstrukcji zrealizowano w budynku SST we Freiburgu. Przykład ten pokazuje wady i problemy związane z integracją ogniw PV ze szkleniem strukturalnym. Liczne pęknięcia i delaminacja elementów pojawiły się przypuszczalnie w wyniku ekstremalnych napięć termicznych materiału. Ciemna, zorientowana na południe fasada bardzo silnie się nagrzewa – jak okazało się w praktyce, krawędzie modułów przykryte silikonem nie zapewniły trwałego zabezpieczenia od wilgoci, osadzania się brudu i zacieków. HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 112.

mów solarnych[508]. Skośna, szklana fasada fotowoltaiczna budynku nr 6 firmy SMA w Kassel (fot. 135, V/016), czy Solar-Fabrik we Freiburgu (V/008) to przykłady efektywnego połączenia aktywnych i pasywnych metod pozyskiwania energii słonecznej.

Inną formą są konstrukcje zakrzywione, które charakteryzuje zmienny kąt nachylenia modułów fotowoltaicznych względem Słońca. Takie rozwiązanie zastosowano np. w budynku straży pożarnej Houten (V/014) i fabryce ogniw solarnych Scheuten Solar w Gelsenkirchen (V/011). Niezależnie od rozwiązania struktury nachylone pozwalają uzyskać w architekturze interesujące efekty wizualne (fot. 137).

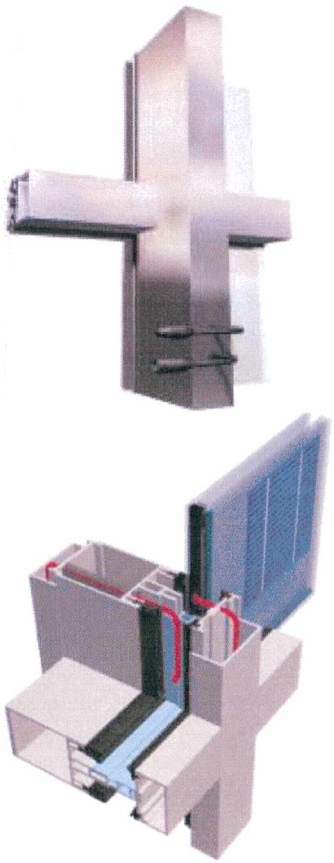


Fot. 137. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Na głównej fasadzie od strony południowej zainstalowano 3 różne systemy BIPV. U góry nieprzeźroczyste, szklane moduły z ogniw polikrystalicznych pełnią rolę wertykalnej okładziny. Na środku w fasadzie ciepłej konwencjonalne, przeźroczyste panele sąsiadują z semitransparentnym szkłem, z którym zintegrowano ogniwa cienkowarstwowe. Najniżej, nachylona struktura z metalowych profili wypełniona jest częściowo szklanymi modułami specjalnymi wykorzystującymi technologię krystaliczną (elementy OPTISOL®).

Popyt na energooszczędne koncepcje fasad doprowadził do realizacji różnego typu wyszukanych i zaawansowanych technologicznie struktur spełniających podwyższone wymagania dotyczące oszczędności energii. Podwójne fasady są jednym z rozwiązań, ale te kompleksowe konstrukcje indywidualnie projektowane dla danego budynku, ze względu na wysokie koszty raczej nie są stosowane w budownictwie przemysłowym. W kwestii techniczno-funkcjonalnej integracja fotoogniw z systemem podwójnej fasady ma jednak wiele zalet. Ogniwa zintegrowane z zewnętrznym szkleniem przejmują od razu funkcje zacieniania od nadmiernego nasłonecznienia. Przestrzeń między dwiema elewacjami wykorzystywana do wentylacji może jednocześnie chłodzić nagrzewające się moduły, lub też ciepło pochodzące od nich można wykorzystać przy pomocy pomp i wymienników ciepła do ogrzewania wody lub pomieszczeń[509].

[508] W niektórych wypadkach wadą struktur nachylonych może być zwiększone ryzyko spiętrzenia śniegu, wody opadowej i osadzanie się brudu. Należy unikać wystających ponad płaszczyznę modułu profili (w kierunku poprzecznym), uważać na zacienianie ogniw. Elementy bezramowe najlepiej odprowadzają wodę opadową, ale są narażone na większe uszkodzenia rantów i delaminację.

[509] Umieszczenie elementów BIPV od strony wewnętrznej jest nieefektywne, bowiem światło słoneczne docierające do ogniw jest redukowane nawet o 20-50%.



Rys. 54. Systemy fasad słupowo-ryglowych - przeprowadzenie okablowania elektrycznego przez profile konstrukcyjne.



Fot. 138. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen (2006). Nad oknami zainstalowano chroniący od Słońca system BIPV składający się z 37 szklanych elementów typu Optisol®.

W konstrukcjach dodanych do powłoki budynku, takich jak np. zadaszenia, żaluzje, wykorzystywane są zarówno systemy standardowe, przeznaczone dla szkła konwencjonalnego, jak i specjalnie projektowane dla integracji z fotowoltaiką (tablice C/11, C/12, D/3).

Niezależnie od miejsca i sposobu integracji projektanci w każdym wypadku muszą wziąć pod uwagę kwestię odpowiedniego zabezpieczenia okablowania. Musi być ono zintegrowane z systemem konstrukcyjnym powłoki w sposób zapewniający ochronę od wilgoci i promieni UV. Szkło fotowoltaiczne zastępujące konwencjonalny materiał budowlany pozostaje elementem systemu elektrycznego, dlatego wszędzie tam, gdzie okablowanie i puszki łączeniowe pozostają „na widoku", trzeba wziąć pod uwagę względy bezpieczeństwa. Ze względów estetycznych, okablowanie oraz wszelkie elementy układu elektrycznego powinny być umiejscowione w taki sposób, aby optymalnie spełniać swoje funkcje, nie rzucając się zbytnio w oczy[510]. W modułach produkowanych specjalnie dla zastosowań fasadowych okablowanie wystaje z boków szklanych paneli. W zależności od konstrukcji można je ukryć w metalowych profilach (rys. 54) lub pod listwami maskującymi.

WIELOFUNKCYJNOŚĆ

W nowoczesnych konstrukcjach szklanych fasad projektanci próbują połączyć innowacyjne techniki z proekologicznymi, estetycznymi oraz ekonomicznymi aspektami nowoczesnej „skóry" budynku. Przemysł szklany musi rozwijać nowe produkty, które będą zarządzać energią bardziej efektywnie i charakteryzować się zmiennymi właściwościami. Szkło fotowoltaiczne, będące połączeniem konwencjonalnego tworzywa i zaawansowanej technologii, jest w tym wypadku interesującą propozycją. Jako integralny fragment zewnętrznej przegrody w roli tarczy ochronnej, bariery między wnętrzem a strefą zewnętrzną, ten nowoczesny materiał budowlany może zastępować konwencjonalne materiały o właściwościach transparentnych[511].

Powłoki przepuszczające promieniowanie słoneczne mają szczególne znaczenie w odniesieniu do architektury energooszczędnej. W połączeniu z instalacją fotowoltaiczną ich funkcja energetyczna jest podwójna: generują czystą energię elektryczną i wpływają na optymalizację efektywności energetycznej budynku. Jednym z głównych obszarów zainteresowań jest ukierunkowanie przechodzącego przez materiał światła naturalnego. Częściowo transparentne elementy BIPV odgrywają tu znaczącą rolę. Zintegrowane ze szkłem fotoogniwa mogą być użyte zarówno do zacienienia (fot. 138), jak i optymalizacji oświetlenia (fot. 124). Możliwość kształtowania warunków oświetlenia naturalnym światłem dziennym wpływa na komfort wnętrza bu-

[510] http://www.demosite.ch/.
[511] Naturalnie jedynie w takich wypadkach, gdzie nie jest konieczna całkowita transparentność.

dynku i pozwala zredukować energię zużytą dla oświetlenia sztucznego[512]. Szkło fotowoltaiczne może równocześnie brać udział w zarządzaniu energią termalną. W zależności od potrzeb promieniowanie cieplne przechodzące przez szklany element BIPV można ograniczyć zapobiegając nadmiernemu przegrzewaniu wnętrza[513]. Dlatego też szczególnie korzystne i wielofunkcyjne jest zastosowanie szkła BIPV w różnego rodzaju systemach chroniących od nasłonecznienia[514] (fot. 139-141, V/003, V/004, V/008, V/010, V/011).

Częściowa transparentność zewnętrznej przegrody wpływa też na możliwość i rodzaj kontaktu wzrokowego pomiędzy wnętrzem, a strefą zewnętrzną. Należy pamiętać, że w zależności od zastosowanego materiału fotoogniw, uzyska się zupełnie różne efekty wizualne. W ciągu dnia ogniwa krystaliczne ułożone w zwiększonym rozstawie stworzą charakterystyczną siatkę/szachownicę ciemnych i jasnych pól (fot. 138, 141, 142), natomiast w przypadku materiałów cienkowarstwowych nie będzie tak silnych kontrastów (V/003, V/019, V/025, V/026).



Fot. 139, 140, 141. Fabryka okien SIMON Glas, Bückeburg (2000). Firma SOLON AG zrealizowała wielofunkcyjną szklaną fasadę BIPV będącą jednocześnie generatorem energii, elementem architektonicznym, systemem zacieniającym i szkleniem izolacyjnym. Zestawiono dwa różne systemy PV o łącznej powierzchni 21 m^2 i mocy 900 Wp. Po raz pierwszy zastosowano izolowane termicznie szklenie ISO FIX PV ze zintegrowanymi w przestrzeni międzyszybowej lamelami PV. Pióra lameli tworzą cienkowarstwowe moduły CIS, które generując energię jednocześnie chronią wnętrze od nadmiernego nasłonecznienia. Drugi element BIPV tworzą częściowo transparentne panele szklane z rozsuniętymi ogniwami z krzemu krystalicznego (prod. Sunways). Szklana fasada zapewnia pracownikom widok na zewnątrz. Nocą sztuczne światło z wnętrza fabryki przedostaje się na zewnątrz pomiędzy ogniwami PV całkowicie zmieniając wizualny charakter fasady.

Wieloaspektowa kombinacja tradycyjnych i nowoczesnych, zaawansowanych technologicznie elementów w jedną sprawnie funkcjonującą całość pozwala nie tylko spełniać wiele różnych zadań, ale i oszczędzić koszty, materiały oraz energię. Ze wszystkich budowlanych produktów BIPV, szkło zintegrowane z ogniwami fotowoltaicznymi jest jak dotąd najbardziej wielofunkcyjnym materiałem[515].

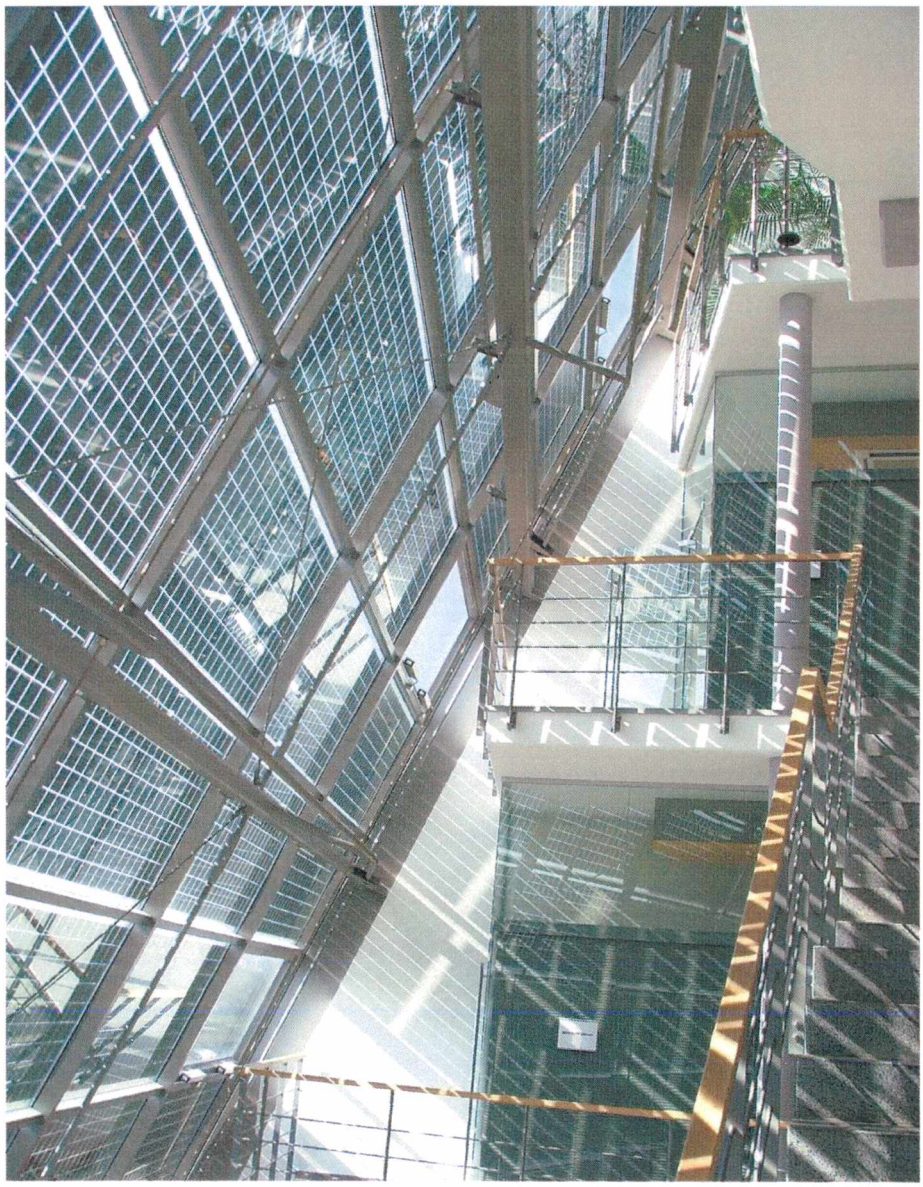
---

[512] Patrz rozdz. IV/3.4.1.

[513] Ciepło wytworzone w procesie generowania konwersji fotowoltaicznej, wraz z energią cieplną przechodzącą przez szklany materiał może być odzyskane i wykorzystane do różnych celów – ogrzania powietrza, wody, w systemach chłodzących. Patrz rozdz. IV/3.4.

[514] Patrz rozdz. IV/3.4.

[515] Szklane elementy BIPV produkowane są w większości przypadków na specjalne zamówienie, co pozwala na optymalny dobór rozmaitych cech i parametrów odpowiednio wg potrzeb. Jednym z tego rodzaju komercyjnie dostępnych produktów jest szkło fotowoltaiczne Optisol® wytwarzane przez Scheuten Solar. Wielofunkcyjny materiał o innowacyjnym wyglądzie zastosowany w fasadzie budynku zapewnia jednocześnie izolację termiczną, dźwiękową, ochronę od Słońca i olśnienia, generując przy tym zieloną energię elektryczną (fot. 138). Jako produkt przyjazny środowisku wykonany jest z elementów, które można poddać recyklingowi. http://www.scheutensolar.com.



Fot. 142. SMA budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten BDA, 2001-2002). Pochylona szklana fasada z ogniwami z krzemu krystalicznego. Promienie słoneczne przedostają się do wnętrza przez przestrzenie pomiędzy ogniwami tworząc interesującą, dynamiczną grę światła i cienia.

Przykłady zastosowania szkła BIPV (fasady, struktury specjalnej funkcji):

- APS Photovoltaics Manufacturing Facility - **V/003**
- Fabryka mebli Wilkhahn - **V/004**
- Solar-Fabrik - **V/008**
- Tobias Grau - **V/009**
- Wasserwerk Mühlenscharrn - **V/010**
- Scheuten Solar Cells - **V/011**
- Straż pożarna Houten - **V/014**
- ZF-BOGE – Elastmetall AG - **V/015**
- SMA – budynek nr 6 – **V/016**
- Tsukuba Open Space Laboratory (OSL) - **V/017**
- Bauer Enegietechnik - **V/018**
- SmartSolarFab® - **V/019**
- MSK Fukuoka - **V/025**
- Kameyama Plant - **V/026**
- Isofotón - **V/027**

- **Tablice D/1.2**
- **Tablice D/2.1** fot. 440-442, 444
- **Tablice D/2.2** fot. 450,451

Produkty komercyjne:

- Szkło fotowoltaiczne – **Tablice C/6**
- Struktury specjalnej funkcji – **Tablice C/11, C/12.2**

2.2.2.
PŁYTKI, DACHÓWKI, GONTY

Grupa materiałów BIPV takich jak: dachówki, gonty, łupki, itp. niewielkiego rozmiaru płytki, pojawiła się na rynku już w pierwszej połowie lat 90., jako rezultat poszukiwania nowych rozwiązań dla lepszej integracji modułów PV z płaszczyzną dachu[516]. Od tej pory gama produktów znacznie się poszerzyła, ewoluowały też istotnie ich techniczne właściwości. Dość powiedzieć, że pierwsze dachówki fotowoltaiczne projektowane dla mocy znamionowej 3 Wp dziś osiągają nawet 200 Wp[517]. Nowe rozwiązania opracowywane są z myślą nie tylko o zwiększeniu efektywności energetycznej systemu, ale też coraz bardziej ze zwróceniem szczególnej uwagi na kwestie estetyczne oraz sposób montażu.

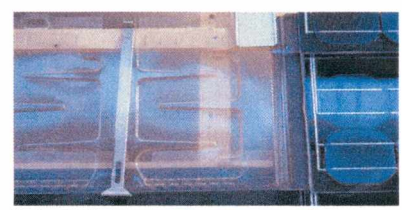
Do kategorii fotowoltaicznych płytek dachowych i/lub elewacyjnych zalicza się bardzo różnorodne produkty różniące się kształtem, wielkością, materiałem podłoża budowlanego, rodzajem technologii PV, mocą znamionową, sposobem montażu, funkcją.

Konwencjonalne elementy pokrycia, takie jak dachówki ceramiczne, cementowe, blachodachówki, gonty, itp., można fabrycznie zintegrować z bardzo małymi modułami PV (fot. 143, tablice C/7.1 do C/7.3). W tym wypadku niewielkie rozmiary materiału fotowoltaicznego i konieczność wyprodukowania go w rozmiarze dokładnie dostosowanym do wymiarów danego elementu budowlanego stanowią wadę rozwiązania. Oprócz zwiększonych kosztów produkcji dochodzi do tego duża ilość połączeń elektrycznych między poszczególnymi płytkami, a w przypadku konieczności wymiany jednego elementu trzeba zazwyczaj zdemontować sąsiadujące[518]. Niektóre ze standardowych produktów BIPV tego typu, np. Solardachziegel (fot. 143), wycofano już z rynku.



Fot. 143. Solardachziegel, prod. Gebrüder Laumanns GmbH & Co KG. Zmodyfikowane konwencjonalne dachówki Laumanns typu Rheinland lub Tiefe XL jako podłoże dla małych, szklanych modułów PV (3 ogniwa krystaliczne / moduł). Produkt wycofany z rynku.

Dla uniknięcia wyżej wymienionych problemów, można zastosować innego typu materiały BIPV, które wytwarzane są w postaci większych elementów, zastępujących na raz kilka tradycyjnych płytek budowlanych (tablice C/7.4 do C/7.6). Zazwyczaj prefabrykowane formy wykonane z tworzywa sztucznego, tj. plastiku, PMMA[519], stanowią bazę dla różnego typu modułów PV, trwale z nimi połączonych (fot. 144). Odpowiednio wyprofilowane i ukształtowane elementy poza zapewnieniem możliwości integracji z materiałem fotowoltaicznym, muszą dobrze komponować się pod względem technicznym oraz wizualnym z sąsiadującymi, konwencjonalnymi materiałami



Fot. 144. Baza z tworzywa sztucznego dla integracji z modułem PV.

[516] Ponieważ tego rodzaju materiały wykorzystywane są przede wszystkim w pokryciach dachowych, zdecydowanie rzadziej w innego rodzaju przegrodach (tj. strukturach nachylonych o funkcji elewacji i dachu, czy typowych elewacjach) w pracy omówiono je w sposób ogólny i skrótowy.

[517] HUG R., *Solar Roof Tile Exhibition shows developments in photovoltaic roofing*, in: the Solarserver, http://www.solarserver.de/solarmagazin/solar-report_0206_e.html.

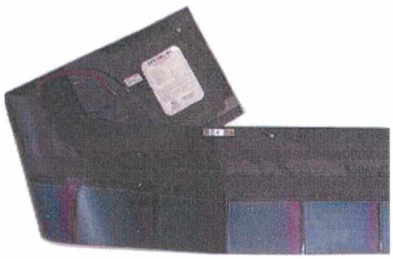
[518] HAGEMANN I. B. *Gebäudeintegrierte...*, s. 86.

[519] Materiały dobierane są najczęściej tak, aby można było je poddać procesowi recyklingu. Często same pochodzą już z odzysku.

pokrycia. Bazę mogą także stanowić inne materiały, np. metaliczne. Przykładowo firma Rheinzink oferuje produkt, w którym do integracji z modułami PV z krzemu krystalicznego użyła własne, standardowe rozwiązanie systemowe Quick-Step w postaci elementów z blachy cynkowo-tytanowej[520] (tablice C/8.9).

Do integracji z konwencjonalnym materiałem budowlanym wykorzystywane mogą być moduły wykonane w różnej technologii - zarówno z ogniwami z krzemu krystalicznego (c-Si) jak i materiałami amorficznymi (a-Si). Materiały krystaliczne są co prawda najbardziej powszechne, osiągają wysokie sprawności, ale są grubsze i cięższe, bardziej wrażliwe na uszkodzenia (ze względu na szkło) i wysokie temperatury, muszą być więc umieszczane na strukturach zapewniających dobry przepływ powietrza. Ciekawym rozwiązaniem są specjalnie projektowane dla integracji krystalicznych modułów PV formy (bazy) z otworami umożliwiającymi bezpośrednie chłodzenie ich tylnej strony (tablice C/7.4, C/7.5).

Najnowszy typ materiałów BIPV bazuje na technologii cienkowarstwowych, giętkich laminatów PV z trójzłączowych ogniw amorficznych (tablice C/7.9) klejonych do podłoża metalicznego lub tworzywa sztucznego. Większość produktów tego rodzaju wykorzystuje robione na zamówienie cienkowarstwowe laminaty, które umieszczane są na tradycyjnym materiale budowlanym i trwale integrowane z nim. Dużą zaletą tego typu elementów BIPV jest stosunkowo mały ciężar, możliwość osiągania dużych rozmiarów, oraz giętkość (fot. 145).



Fot. 145. Gont fotowoltaiczny SHR17, prod. United Solar Ovonic. Cienkowarstwowy laminat Uni-Solar® z ogniw amorficznych (triple-junction solar cells) na podłożu z giętkiej taśmy stalowej zakapsułowany w polimerach odpornych na UV.



Fot. 146. Płytki włóknisto-cementowe zintegrowane z giętką folią PV, prod. Flexcell. Ogniwa amorficzne na podłożu plastikowym.



Fot. 147. SunSlate™ - płytki eternitowe zintegrowane z modułem PV, prod. Atlantis. Z lewej: standardowa płytka z ogniwami z krzemu krystalicznego, z prawej: prototyp płytki z modułem cienkowarstwowym CIS.

Prowadzone są badania nad bezpośrednim laminowaniem ogniw solarnych z różnymi materiałami budowlanymi, tj. betonem, cementem włóknistym, plastikiem[521] (fot. 146). Przykładowo, Sunny Tile składa się z laminatu PV zintegrowanego z płytką plastikową (tablice C/7.2), natomiast SunSlate™ firmy Atlantis to laminat klejony do płytki z eternitu, którą można pokryć zarówno dachy jak i elewacje[522] (fot. 147, tablice C/7.7).

Omawiane wyżej produkty, choć różne, mają wspólną cechę – zastępują konwencjonalne pokrycie. Poszczególne elementy połączone są od tyłu okablowaniem elektrycznym i montowane bezpośrednio do struktury zewnętrznej przegrody (w zależności od rodzaju konstrukcji do rygli lub łat). Płytki fotowoltaiczne układane są różnymi metodami, podobnie jak tradycyjne materiały, tzn. na zakładkę, przykręcane są wkrętami do łat, itd. Niektóre elementy mocowane są za pomocą wstępnie przytwierdzonych klamr (zacisków) znajdujących się na obrzeżach prefabrykowanych, plastikowych form.

Systemy BIPV w postaci płytek fotowoltaicznych w zależności od technologii mogą tworzyć wodoszczelne pokrycie (uszczelnione za pomocą spe-

[520] http://pl.rheinzink.de/print/228.aspx?view=overview.
[521] http://www.flexcell.com/galerie.php?langue=en&id=1.
[522] http://www.atlantisenergy.org/.

cjalnych profili, uszczelek gumowych) lub funkcjonować tak samo, jak np. standardowe pokrycie dachówką ceramiczną. W większości przypadków podejście projektowe dla tego rodzaju instalacji BIPV jest więc podobne, jak w przypadku normalnych materiałów budowlanych, oczywiście poza dodatkową kwestią optymalnej orientacji względem Słońca oraz odpowiedniego przeprowadzenia okablowania i umieszczenia innych elementów instalacji elektrycznej.

Produkty komercyjne:

- Płytki, dachówki, gonty – **Tablice C/7**

2.2.3.
MATERIAŁY METALICZNE – BLACHY, PŁYTY WARSTWOWE

Lekkie, modularne konstrukcje szkieletowe z metalową obudową od kilku dekad stanowią najbardziej powszechną metodę kształtowania powłok budynków przemysłowych. Materiały w postaci blach, kaset, prefabrykowanych paneli, czy płyt warstwowych pokrywają rozległe powierzchnie płaskich najczęściej dachów i pionowych elewacji, ale też i coraz częściej pojawiające się w architekturze industrialnej bardziej wyszukane, nowoczesne formy.

Pierwsze próby bezpośredniej integracji modułów fotowoltaicznych z materiałami metalicznymi nie były satysfakcjonujące, ani ze względów techniczno-funkcjonalnych[523], ani estetycznych[524]. Główne ograniczenia wynikały z ówczesnego poziomu technologii PV - najbardziej powszechne moduły z krzemu krystalicznego połączone z takim materiałem traciły efektywność, wskutek braku odpowiedniej wentylacji nagrzewających się ogniw. Nawet wtedy, gdy pojawiły się mniej wrażliwe na wysokie temperatury pierwsze moduły cienkowarstwowe, pozostawał wciąż problem szkła w ich obudowie. Uniemożliwiało ono integrację z elementami o zakrzywionych kształtach, zwiększało ciężar materiału i podatność na zniszczenie.

Charakterystyczną cechą metali jest duża odkształcalność materiału w zmiennych temperaturach. W konsekwencji wymiary, sposób mocowania, układ i odległości pomiędzy elementami metalowymi oraz tymi, z którymi są one połączone, muszą zawsze umożliwiać zmiany i ruch materiału w różnych

[523] W latach 90. w Japonii przeprowadzono badania i doświadczenia związane z integracją materiałów fotowoltaicznych z metalowymi fasadami. Testowano np. metodę integracji standardowych, obramowanych modułów z płaską blachą mocowaną na rąbek stojący lub listwy zatrzaskowe. Oba rozwiązania uznano za mało przekonujące ze względu na ograniczenie fleksybilności metalowych elementów, konieczność dopasowania wymiarów modułów do wymiarów blachy i systemu mocowania oraz utrudnienia w przypadku płaszczyzn zakrzywionych. HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 87.

[524] W eksperymentalnych instalacjach Daido Hoxan/Kajima/Showa Shell (tablice C/3) wykorzystywano różne materiały i kolory ogniw. Firma YKK wraz z producentem materiałów solarnych Kyocera opracowała specjalnie prefabrykowane moduły dla integracji z systemem metalowej ściany kurtynowej. Charakterystycznie zbudowane elementy z użyciem aluminium ze specjalnymi żebrami umożliwiły redukcję temperatury operacyjnej modułów, łatwy demontaż poszczególnych podjednostek i różne nachylenie względem światła. YOSHINO M. et al., *Development of photovoltaic modules integrated with a metal curtain wall*, Solar Energy Materials and Solar Cells 47 (1997) 235-242, Elsevier 1997.



Fot. 148. Mercedes Motorenwerk, Bad Cannstadt (1996). Mocowanie modułów PV do aluminiowej blachy trapezowej.



Fot. 149. Kalzip® SolarClad, prod. Corus Bausysteme GmbH.



Fot. 150. Nowoczesny system mocowania modułów fotowoltaicznych do blachy trapezowej. Elementy dostępne w szerokiej gamie wymiarów odpowiednich dla wszystkich typowych pokryć trapezowych. (Intersolar 2006).



Fot. 151. BIOSOL PV Plate. System przekryć metalowych dla budynków przemysłowych - arkusze blachy stalowej z naklejonymi fabrycznie laminatami Uni-Solar® (elementy o wymiarach 5,55m x 0,90 m).

warunkach termicznych[525]. Dla integracji z zupełnie inaczej zbudowanymi i reagującymi materiałami PV stanowiło to kolejne utrudnienie. Początkowo, moduły PV łączono z metalem jedynie pośrednio[526], poprzez specjalne elementy mocujące lub profile, które utrzymywały je w odpowiednim dystansie od blachy. W ten sposób zapewniona była tylna wentylacja i chłodzenie. Taka metoda integracji modułu fotowoltaicznego z konwencjonalnym materiałem budowlanym jest wciąż stosowana, choć obecne technologie umożliwiają już zupełnie inne rozwiązania. Nowoczesne realizacje różnią się od pierwszych prób integracji jakością, estetyką, różnorodnością i właściwościami przede wszystkim samego materiału fotowoltaicznego, który jest coraz lżejszy, cieńszy, a przy tym bardziej efektywny (fot. 148, 149).

Zupełnie nowa generacja metalicznych produktów solarnych dla systemów osłonowych pojawiła się na rynku budowlanym z końcem XX wieku. Gdy postęp technologii fotowoltaicznej pozwolił na bezpośrednie osadzanie ogniw z krzemu amorficznego (a-Si) na podłożu innym niż szkło, rozpoczęto wytwarzanie cienkowarstwowych giętkich laminatów na taśmach stalowych.

Tego rodzaju materiały można w łatwy i szybki sposób trwale zintegrować z arkuszami nierdzewnej blachy stalowej, galwanizowanej, a także z metalami nieżelaznymi, tj. cynkiem, aluminium, czy materiałami cynkowo-tytanowymi. Laminaty PV naklejane są całopowierzchniowo na poszczególne pasy metalu. Powstający w rezultacie produkt końcowy to zaawansowany technologicznie, wielofunkcyjny materiał BIPV, łączący w sobie cechy dobrze znanego tworzywa i nowoczesnego generatora energii elektrycznej. Dla zastosowań budowlanych wyróżnia się on wysoką jakością, trwałością, jak również dobrą odpornością na wilgoć i inne czynniki atmosferyczne.

Od roku 1998 liderem w produkcji cienkowarstwowych modułów dla integracji z konwencjonalnym materiałem budowlanym pozostaje firma United Solar Ovonic oferująca rolowane moduły w technologii trójzłączowych ogniw z krzemu amorficznego (*triple-junction technology*[527]). Wykorzystując laminaty Uni-Solar® wiele znanych na rynku firm budowlanych poszerzyło swoją standardową ofertę o nowoczesne produkty BIPV (fot. 151, 152).

ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme połączyło 30 letnie doświadczenie w produkcji metalowych systemów dachowych i fasadowych z technologią fotowoltaiczną, otwierając w roku 1998 linię produkcyjną innowacyjnych materiałów solarnych o nazwie ThyssenKrupp Solartec® (tablice C/8.1, C/8.2, C/8.3)[528]. Standardowe produkty z użyciem laminatów Uni-Solar® wytwarzają też m.in. Corus Bausysteme w postaci aluminiowych blach Kalzip® Alu-

[525] HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 87.
[526] W zasadzie nie jest to integracja w pełnym tego słowa znaczeniu, ale raczej dodanie fotowoltaicznego materiału do istniejącej struktury.
[527] Patrz rozdz. IV/2.2.
[528] http://www.thyssen-solartec.com/.

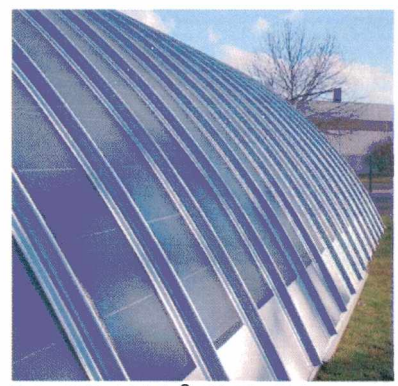
PlusSolar (fot. 153, 154, tablice C/8.6)[529], a także Rheinzink oferujący dwa różne systemy BIPV o nazwie Rheinzink® - Solar PV (tablice C/8.7, C/8.8)[530].



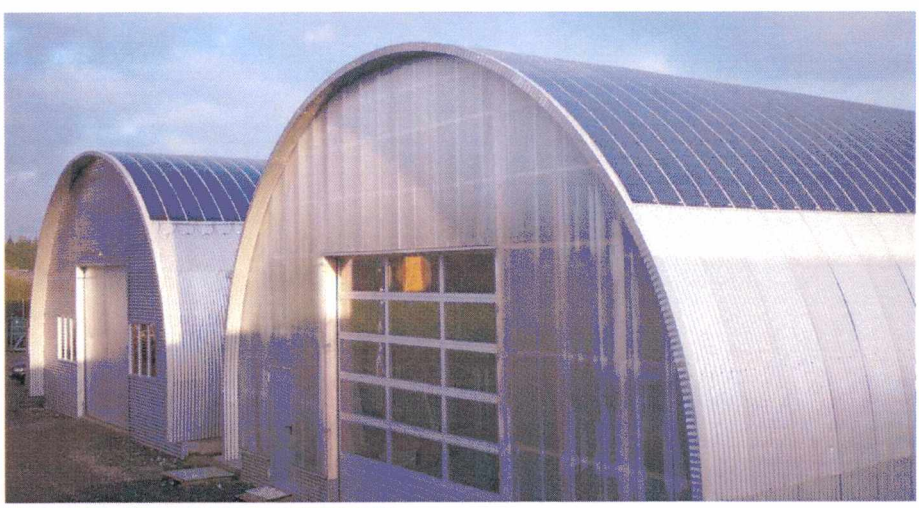
Fot. 152. Metalowe materiały BIPV (targi Intersolar, 2006). United Solar Ovonic zaprezentowała produkty partnerskich firm (OEM), które wykorzystują cienkowarstwowe laminaty Uni-Solar® (*triple-junction solar cells*) do trwałej integracji z własnym, konwencjonalnym materiałem budowlanym, tj. różnego typu blachami czy płytami warstwowymi.

Cienkie laminaty dodają jedynie kilka kilogramów obciążenia na $1m^2$. Brak wystających ponad powierzchnię materiału elementów oraz dodatkowych systemów mocujących i podkonstrukcji, są w powiązaniu z lekkością[531] materiału solarnego ogromną zaletą dla wszelkiego rodzaju budynków przemysłowych wykonywanych zazwyczaj w lekkiej konstrukcji szkieletowej.

Pozbawione kruchego, tłukącego się szkła w obudowie, cienkowarstwowe laminaty Uni-Solar® nadają się do integracji z blachą każdego kształtu. Dzięki temu mogą być użyte w budowie klasycznych przegród w postaci płaskich, prostych ścian i dachów, ale też nowoczesnych powłokach o zmiennych, zakrzywionych kształtach, wklęsłych i wypukłych (fot. 153, 154)[532].



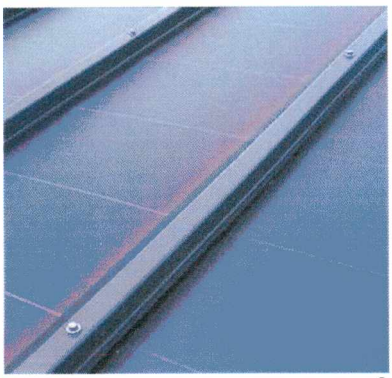
Fot. 153. Kalzip® AluPlusSolar, prod. Corus Bausysteme GmbH. Kompletny system BIPV w postaci laminatu fotowoltaicznego z krzemu amorficznego (Uni-Solar®) zintegrowanego z aluminiowym panelem na rąbek stojący Kalzip® (tablice C/8.6).



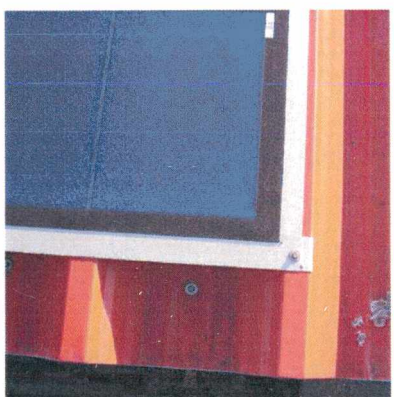
Fot. 154. Zakład produkcyjny EnCon EnergieConcept, Kell am See (2006). System BIPV o powierzchni 290 m i mocy 16,32 kWp wykonano z materiałów BIOSOL PV Plate T272 z laminatami Uni-Solar®.

[529] http://www.aluplussolar.com/.
[530] http://www.rheinzink.co.uk/231.aspx.
[531] Kalzip AluPlusSolar – 2,6 kg/m^2, dla porównania system okładzin Kalzip® SolarClad - 4,8-7,1 kg/m^2.
[532] Producenci określają minimalny promień zakrzywienia dla swoich materiałów. Średnio kształtuje się on w zakresie 12-15 m.

Producenci oferują ten sam rodzaj budowlanego materiału w zwykłej wersji oraz w postaci zintegrowanej z laminatem PV. Płaszczyzna metalu pokrywana jest ogniwami w różnym stopniu, zależnie od potrzeb i rodzaju podłoża – np. w przypadku blach profilowanych pasy modułów naklejane są pomiędzy rąbkami (w kierunku pionowym lub poziomym). Możliwość użycia i połączenia tego samego materiału w postaci tradycyjnej oraz jako BIPV pozwala zaprojektować metaliczną powłokę o jednolitej konstrukcji. Odpowiednio do miejsca i charakteru pokrycia zarówno płaskie, jak i profilowane elementy układane są i przytwierdzane w tradycyjny sposób (tzn. bezpośrednio lub pośrednio). Najczęściej jest to mocowanie na rąbek stojący, podwójny rąbek kątowy, listwy zatrzaskowe, itp. (tablice C/8).



Fot. 155. ThyssenKrupp-Solartec®, prod. ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme. System metalowego pokrycia BIPV z listwami maskującymi.



Fot. 156. BIOSOL PV Plate. Blacha stalowa fabrycznie zintegrowana z laminatem fotowoltaicznym Uni-Solar® przytwierdzona śrubami do fali blachy trapezowej.

Przykładowo, w systemie RHEINZINK® pokrycia elewacyjne ze względów wizualnych wykonywane są na rąbek kątowy (tablice D/2.1 fot. 439)[533].

Z kolei materiały ThyssenKrupp-Solartec® dostępne są w różnych wersjach. W systemie *trend (T)* i *classic (S)* pasy blachy zintegrowanej fabrycznie z laminatami PV mocowane są w układzie wertykalnym bezpośrednio do podkonstrukcji na zakładkę, tak jak konwencjonalna blacha trapezowa (tablice C/8.3). W systemie *design (L)* łączenia poszczególnych pasów blachy pokryte są listwami maskującymi (fot. 155, tablice C/8.2).

Laminaty cienkowarstwowe zintegrowane z arkuszami blachy mocowane są też na różne sposoby bezpośrednio do pokrycia z blachy profilowanej (fot. 156).

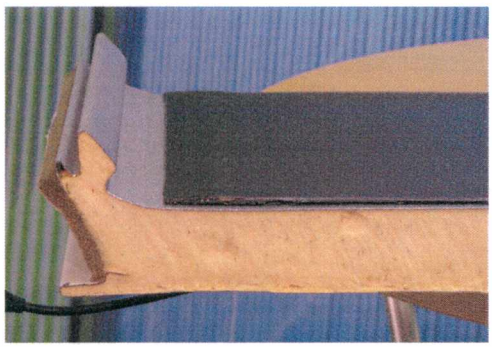
Metaliczne materiały BIPV mogą tworzyć okładzinę konstrukcji wentylowanej lub też skórę fasady ciepłej, np. zewnętrzną warstwę wielowarstwowej, izolowanej termicznie struktury. W przeciwieństwie do ogniw krystalicznych stosowane materiały cienkowarstwowe (w tym wypadku technologia *triple-junction solar cell*) nie reagują bowiem tak silnie na wzrost temperatury, wentylacja tylnej strony nie jest zatem konieczna dla sprawnego funkcjonowania generatora PV.

Dzięki temu pojawiła się tzw. piąta generacja[534] budowlanych materiałów metalowych będąca połączeniem modułu fotowoltaicznego z powszechnie stosowaną w budownictwie industrialnym płytą warstwową. Rezultatem takiej integracji jest kolejny wielofunkcyjny produkt BIPV, stanowiący powiązanie generatora energii, izolacji cieplnej i nośności w jednym elemencie (tablice C/9).

Także i w tym wypadku do wytworzenia produktu końcowego różne firmy z przemysłu budowlanego wykorzystują laminaty Uni-Solar®. Standardowe produkty w postaci solarnej płyty typu *sandwich* z metalowo-fotowoltaiczną okładziną oferują m.in. ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme

[533] http://www.rheinzink.co.uk/231.aspx.
[534] http://www.thyssen-solartec.com.

(dla dachów Thermodach Solartec, dla systemów fasadowych Thermowand Solartec – fot. 157, 158, tablice C/9.1), Metenergy (rys. 55, tablice C/9.2).

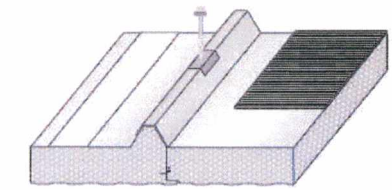




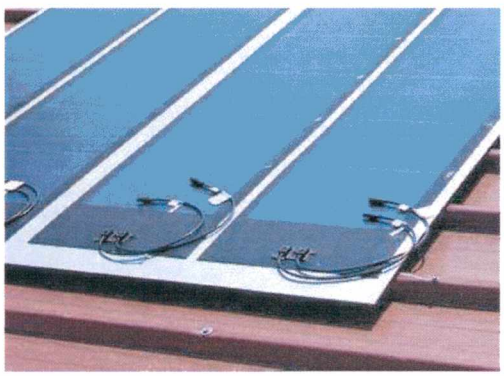
Fot. 157, 158. Thermowand Solartec, prod. ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme. Płyta warstwowa z rdzeniem z pianki poliuretanowej zintegrowana z laminatem Uni-Solar®. Przekrój przez element i detal okablowania modułu.

Fotowoltaiczne płyty warstwowe układane i mocowane są tak samo jak konwencjonalne materiały pozbawione ogniw solarnych. W przypadku profilowanych elementów można je układać pionowo lub poziomo.

Zarówno w przypadku blach solarnych, jak izolowanych termicznie płyt poprowadzenie instalacji elektrycznej nie stanowi problemu. Proste złącza wtykowe pozwalają łatwo i szybko połączyć poszczególne moduły fotowoltaiczne w większe jednostki. Dalej okablowanie elektryczne prowadzone jest do wnętrza budynku przez konstrukcję, zależnie od rozwiązania (fot. 159, 160, rys. 56).



Rys. 55. Metenergy®, prod. METECNO INDUSTRIE S.P.A. Płyta warstwowa - schemat sposobu mocowania.

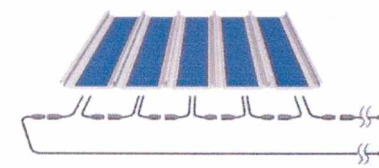




Fot. 159. BIOSOL PV Plate. Wodoszczelny system połączeń elektrycznych w postaci szybkozłączek.

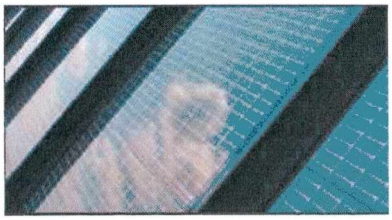
Fot. 160. Quick Step Rheinzink® Solar PV, prod. Rheinzink. System połączeń elektrycznych modułów PV.

Charakterystyczne cechy cienkowarstwowych laminatów z krzemu amorficznego zapewniły nowoczesnym materiałom BIPV wiele korzyści. Poza wspomnianymi wcześniej zaletami, tj. lekkością, trwałością, giętkością, itd., niezwykle istotna jest wysoka efektywność materiału fotowoltaicznego. Moduły PV zintegrowane z budynkiem osiągają dużą wydajność w różnych warunkach pogodowych, nawet przy częściowym zacienieniu i wysokich temperaturach. Dzięki temu, także wertykalne systemy fasadowe, pomimo gorszego nasłonecznienia efektywnie przekształcają energię solarną w elektryczność. Ze względu na to, iż ogniwa wykorzystują w dużym stopniu promieniowanie rozproszone, dobrym miejscem dla instalacji będą również płaskie dachy[535]. **Zastosowanie metalicznych pokryć zintegrowanych z cienkowarstwowymi laminatami Uni-Solar® można zatem uznać za wyjątkowo korzystne rozwiązanie dla różnego typu obiektów industrialnych.**



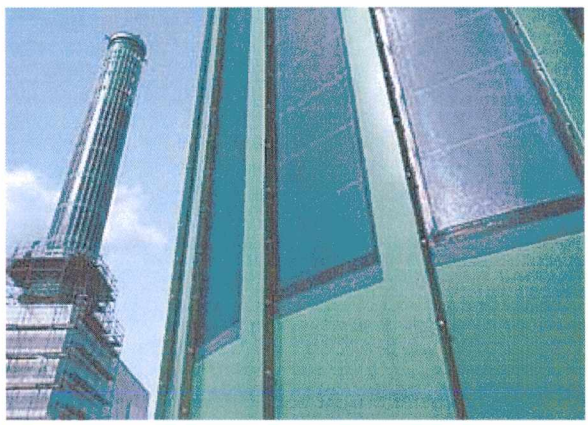
Rys. 56. Kalzip® AluPlusSolar, prod. Corus Bausysteme GmbH. System połączeń elektrycznych modułów PV.

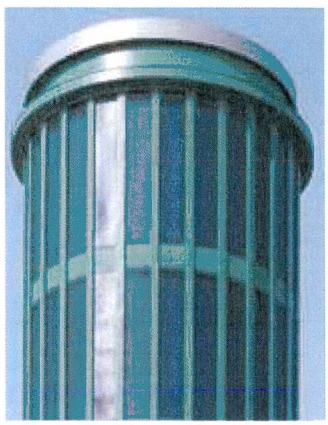
[535] Patrz rozdz. IV/1.3.1, rys. 41.



Fot. 161. PowerFilm® Solar. Nowa technologia pojedynczych lub tandemowych ogniw cienkowarstwowych z krzemu amorficznego osadzonego na plastiku. Firma zapowiada wprowadzenie na rynek komercyjny nowych produktów BIPV w postaci materiałów metalicznych zintegrowanych z plastikowymi modułami PV.

Poprzez nowoczesne materiały BIPV trzeciej generacji typowa architektura, tzw. „blaszanych pudełek" ma szansę zmienić swoje dość monotonne i mało przyjazne dla środowiska oblicze. Ilustracją możliwości projektowych mogą być chociażby niemieckie realizacje w Duisburgu - elektrownia Wanheim (fot. 162, 163) i walcownia stali ThyssenKrupp Steel (V/020). Oba budynki stanowią przykład nowoczesnego podejścia do projektowania architektury industrialnej, nazywanego przez Friedricha Ernsta von Garniera *„ekologią dla oczu"*[536]. Zaawansowane technologicznie systemy solarne połączone z barwnymi systemami fasadowymi ReflectionsOne® pokazują zupełnie inny od powszechnego obraz przemysłowego obiektu – już nie tylko ingerującej w krajobraz naturalny funkcjonalnej, technicznej maszyny, ale i przyjaznego wobec środowiska, zwracającego uwagę, estetycznego i dobrze wpisującego się w otoczenie budynku.





Fot. 162, 163. Elektrownia miejska Wanheim, Duisburg (2004). Instalacja BIPV o mocy 27,5 kWp powstała w ramach modernizacji budynku elektrowni. System fotowoltaiczny zainstalowano na trzech, 80 metrowej wysokości kominach (łącznie 700 m^2) oraz pionowej fasadzie (400 m^2). Zastosowano blachę solarną w systemie ThyssenKrupp-Solartec® (T,K) z laminatami UniSolar® wyprodukowanymi na wymiar. Niewielki ciężar modułów PV ułatwił integrację materiału z cylindrycznymi kształtami kominów.

Nowa generacja lekkich, metalicznych produktów solarnych łączących w sobie funkcję generatora energii, zamknięcia przestrzeni, a nawet izolacji termicznej, powinna znaleźć szerokie zastosowanie w budownictwie industrialnym. Choć powstało już kilka interesujących realizacji, a specjaliści podkreślają liczne zalety tego typu materiałów, nie są one jeszcze powszechne - zarówno, jeśli chodzi o zainteresowanie w środowisku architektonicznym, jak i zastosowanie w sektorze przemysłowym. Ponieważ, co należy podkreślić, cena produktów nie jest zbyt wygórowana[537], a liczne zalety materiałów są niezaprzeczalne, prawdopodobnie wynika to głównie ze słabej znajomości technologii i niskiego poziomu wiedzy oraz informacji w środowisku projektantów i inwestorów.



Fot. 164. Moduł CIS na podłożu miedzianym. Prawdopodobnie w ciągu kilku najbliższych lat fabryka Odersun AG we Frankfurcie nad Odrą wprowadzi na rynek nowe materiały dla zastosowań architektonicznych - produkty o nazwie Solar4Building wykorzystujące cienkowarstwowe moduły CIS na podłożu z taśmy miedzianej.

Przykłady zastosowania metalicznych materiałów BIPV:

- ThyssenKrupp Steel – **V/020**
- **Tablice D/2.1** fot. 439

Produkty komercyjne:

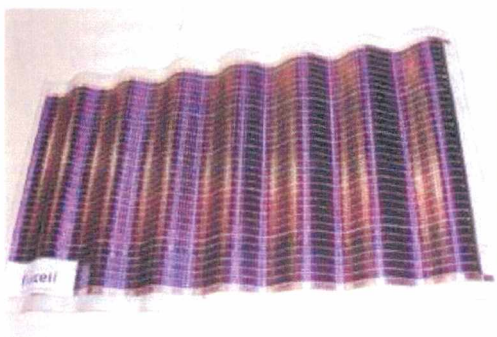
- Blachy solarne – **Tablice C/8**
- Płyty warstwowe – **Tablice C/9**

[536] Patrz rozdz. II/2.2.
[537] http://www.thyssen-solartec.com.

2.2.4.
TWORZYWA SZTUCZNE

Tradycyjne szklane panele fotowoltaiczne z krzemu krystalicznego są niejednokrotnie zbyt ciężkie dla wielkopowierzchniowych instalacji na wznoszonych w lekkiej konstrukcji szkieletowej budynkach. Nowa grupa produktów BIPV dostępna na rynku materiałów solarnych umożliwia zastąpienie konwencjonalnego pokrycia lekkim i giętkim materiałem w postaci tworzywa sztucznego zintegrowanego z cienkowarstwowym laminatem PV.

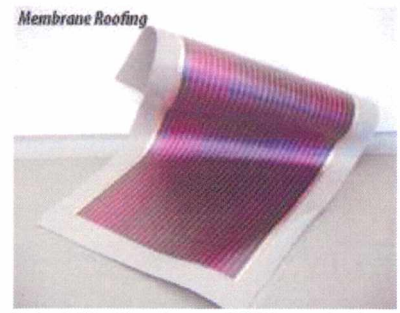
Szwajcarska firma Flexcell wytwarza cienkowarstwowe materiały fotowoltaiczne z krzemu amorficznego, który osadza na plastiku wg specjalnie rozwiniętej technologii[538]. Ultra cienkie, lekkie i giętkie folie PV produkowane w dowolnych wymiarach, można zintegrować z konwencjonalnymi materiałami. Aktualnie firma poszukuje chętnych do współpracy partnerów z przemysłu budowlanego, w celu opracowania i realizacji różnego typu produktów BIPV. Jak dotąd, powstały m.in. plastikowe okładziny (fot. 165, 166 i membrany dachowe (fot. 167).





Fot. 165, 166. Plastikowe okładziny BIPV, prod. Flexcell. Fotowoltaiczne folie z krzemu amorficznego na podłożu plastikowym są wyjątkowo cienkie, lekkie i giętkie, dzięki czemu można je łączyć z wszelkimi kształtami. Dla zastosowań architektonicznych jest to szczególna zaleta.

Jednowarstwowe membrany z tworzywa sztucznego zintegrowane z materiałem solarnym są szczególnie korzystną propozycją dla budynków halowych. Rolowane folie łączą w sobie właściwości bariery wodochronnej, warstwy izolacyjnej i generatora energii. Wyjątkowo lekkie[539], dodają bardzo mało obciążenia do konstrukcji budynku, a ich szybki i łatwy montaż nie wymaga dodatkowych elementów. Giętki, nietłukący materiał BIPV, po którym można nawet chodzić[540], dostosowuje się do formy struktury, którą pokrywa, może być więc instalowany na różnego typu i kształtu konstrukcjach. Jednocześnie, jako wodoszczelne pokrycie oferuje pewną ochronę od warunków atmosferycznych.



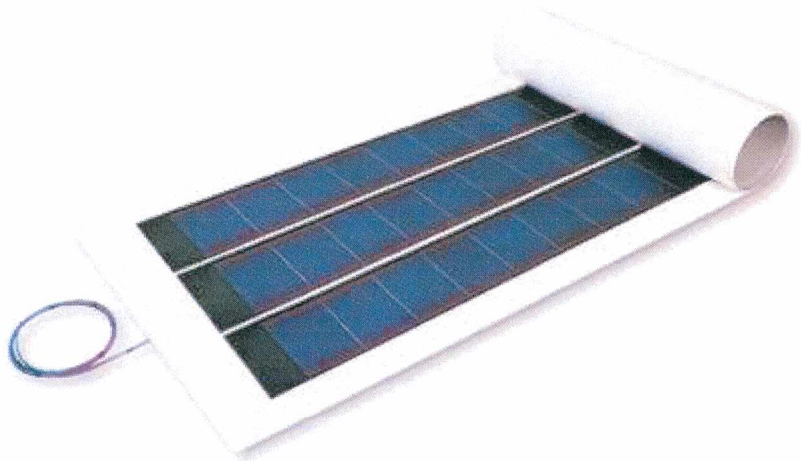
Fot. 167. Membrana BIPV, prod. Flexcell.

Choć tego rodzaju produkty wykorzystywane są jako pokrycia dachowe, pokrótce omówione zostały w niniejszym podrozdziale ze względu na to, iż dzięki swoim właściwościom mogą być użyte na przegrodach każdego kształtu, a także z uwagi na fakt, iż szczególne zastosowanie znajdują w budynkach industrialnych.

[538] http://www.flexcell.com/.
[539] Dla membran produkowanych przez firmę Alwitra jest to ~4 kg/m^2.
[540] Po membranach BIPV można chodzić np. dla konserwacji dachu, ale już do zastosowania na powierzchniach o większym natężeniu ruchu, jak na tarasach materiał nie jest odpowiedni.

Aktualnie na rynku komercyjnym dostępne są głównie standardowe produkty, wytwarzane z użyciem cienkowarstwowych laminatów Uni-Solar® w technologii trójzłączowych ogniw z krzemu amorficznego, osadzonego na giętkich taśmach stalowych[541]. Jedną z firm oferujących tego typu materiały jest Sarnafil. Wytwórca termoplastycznych membran z PVC podjął współpracę z amerykańskim producentem pokryć dachowych Solar Integrated Technologies (SIT). W efekcie powstał pierwszy, giętki system dachowy szczególnie propagowany dla zastosowań na budynkach o charakterze przemysłowym (fot. 171, 172, tablice C/10.2)[542].

Od roku 2000 produkowany jest też inny materiał BIPV wykorzystujący technologię ogniw trójzłączowych z krzemu amorficznego - membrana polimerowa Evalon V-Solar® firmy Alwitra (fot. 168, tablice C/10.1)[543].



Fot. 168. Evalon V-Solar®, prod. Alwitra. Standardowo białe membrany zintegrowane z ciemnogranatowymi laminatami nadają budynkom nową estetykę.

Niegdyś aplikacje PV na dużych płaszczyznach dachów przemysłowych były ograniczone nie tylko wagą materiałów krystalicznych, ale i problemami wynikającymi z konieczności penetracji struktury dla zamocowania elementów, czy specjalnej podkonstrukcji dla lepszego zorientowania względem Słońca. Membrany BIPV wykorzystujące technologię ogniw *triple-junction solar cells* nie wymagają specjalnej orientacji, funkcjonują bowiem wyjątkowo stabilnie w każdych warunkach nasłonecznienia. W Północnej Europie Evalon V-Solar® może produkować ~100 kWh energii rocznie[544].

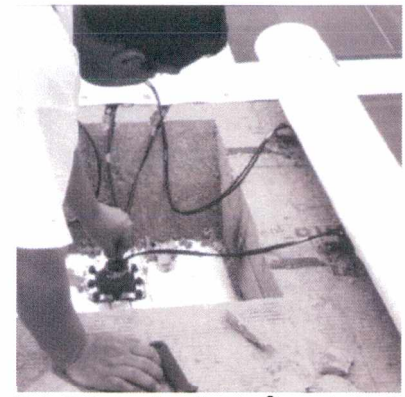


Fot. 169. Evalon V-Solar®, prod. Alwitra. Możliwość rolowania wraz z lekkością i giętkością ułatwiają proces montażu.

Dostarczane w rolkach, gotowe produkty (membrany fabrycznie zintegrowane z giętkimi laminatami i okablowaniem) montowane są przez fachowców w sposób bardzo prosty i szybki, tak samo jak konwencjonalne materiały pozbawione modułów PV. Pasy materiału układa się na zakłady łączone metodą zgrzewania (fot. 169)[545]. Systemowe mocowanie mechaniczne schowane jest pod zakładami - fabrycznie zintegrowane połączenia

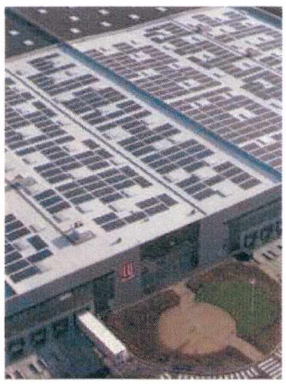
[541] Patrz rozdz. IV/2.2.
[542] Wśród różnego typu produktów (o odmiennych parametrach dla zastosowań w Europie i USA) można wymienić system SR2001 zbudowany z 12 giętkich modułów Uni-Solar® o mocy 128 W, fabrycznie laminowanych z materiałem Sarnafil EnergySmart roof®. http://www.sarnafil.de.
[543] http://www.alwitra.de.
[544] Ibid.
[545] Dla Evalon-V Solar® - łączenie na zakład 110 mm, minimalna szerokość zgrzewu 20 mm. Ibid.

elektryczne umieszczone poniżej membrany chronione są w ten sposób od wody i wilgoci. Okablowanie z kilku modułów poprowadzone jest przez izolację i połączone z inwertorem pod pokryciem przegrody (fot. 170).



Fot. 170. Evalon V-Solar®, prod. Alwitra. Okablowanie elektryczne poprowadzone jest pod pokryciem. Jako materiał budowlany, membrany BIPV muszą spełniać liczne wymagania, m.in. przeciwpożarowe. Samogasnące, dodatkowo najczęściej układane są na ognioodpornych warstwach pośrednich i niepalnych podkładach.

Tego rodzaju materiały solarne są obecnie dużo droższe od materiałów standardowych. Jednak synergia różnych właściwości i możliwość wykorzystania w roli elektrowni rozległych, nieużywanych do innych celów powierzchni zewnętrznych przegród budynków przemysłowych (szczególnie dachów) powodują, że produkty te są stosowane na coraz większą skalę[546]. Solar Integrated Technologies z Los Angeles, od lat rozwijająca i wytwarzająca instalacje BIPV dla budynków industrialnych, w 2005 wykonała w tym sektorze 39 dachów solarnych (w USA, Niemczech i Hiszpanii) m.in. dla firm takich jak: Honeywell, Fritolay, Coca-Cola, Prologis (fot. 171, 172).



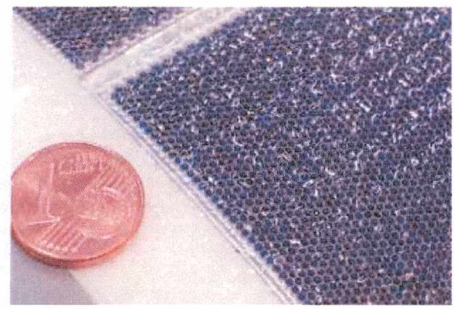


Fot. 171. ProLogis, Moissy-Cramayel (2006). Jedna z największych instalacji BIPV we Francji – system o mocy 435 kWp,

Fot. 172. Coca-Cola Bottling, Los Angeles (2004). W ramach modernizacji dachy budynków pokryto membranami BIPV (panele SIT SR2001).

Moduły fotowoltaiczne integrowane są także z innymi tworzywami sztucznymi np. materiałami akrylicznymi[547], PVC. Prowadzone są badania nad wykorzystaniem w tym celu nowych technologii ogniw solarnych, takich jak okrągłe ogniwa Sphelar® (fot. 173, 174).





Fot. 173, 174. Prototyp giętkiej folii budowlanej zintegrowanej z ogniwami Sphelar®.

Produkty komercyjne:

- Tworzywa sztuczne – **Tablice C/10.1, C/10.2**

2.2.5. MATERIAŁY TEKSTYLNE

Lekkość i giętkość cienkowarstwowych laminatów z krzemu amorficznego pozwala na kombinację modułów fotowoltaicznych nawet z materiała-

[546] Dzięki współpracy różnych firm budowlanych, solarnych i instytucji finansowych (np. w USA - SolarIntegrated Technologies, Sarnafil, Uni-Solar i GE Commercial Finance Energy Financial Services) na świecie powstaje coraz więcej realizacji tego typu.

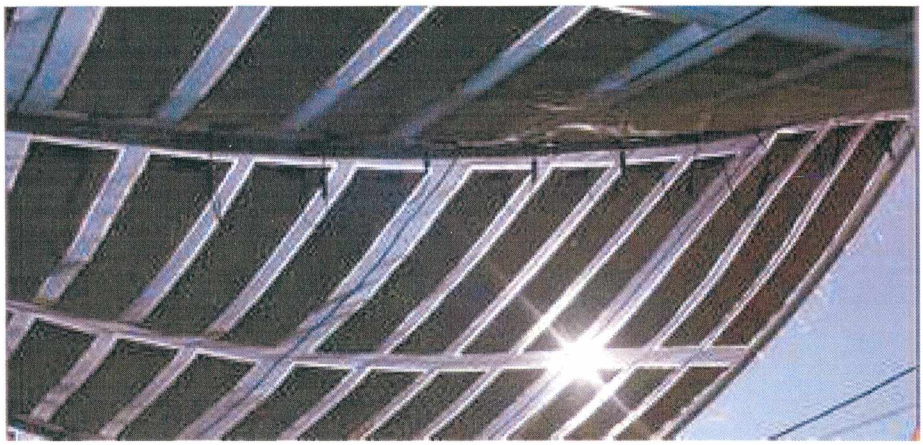
[547] Patrz rozdz. IV/2.2.1.



Fot. 175. MWB Messwandler-Bau AG, Bamberg (1992). System zacieniający z materiału tekstylnego zintegrowanego z giętkim modułem fotowoltaicznym.

Fot. 176. PowerFilm®Solar. Materiał tekstylny z ogniwami amorficznymi na plastikowym podłożu.

mi tekstylnymi stosowanymi w architekturze. Tego typu rozwiązanie może być na przykład wykorzystane do kształtowania nowoczesnych struktur dodawanych do powłoki budynku, takich jak zadaszenia, markizy, ekrany, itp. (fot. 175, 176).



3.
EKOLOGICZNE ASPEKTY INTEGRACJI SYSTEMU FOTOWOLTAICZNEGO

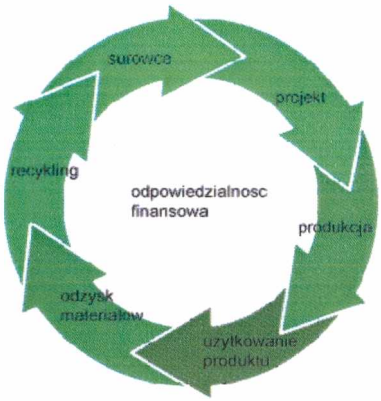
„...transformacja natury, totalna fuzja nauki, sztuki i technologii..."
(Paulo Mendes da Rocha)

Fotowoltaikę uznaje się za jedną z opcji dla rozwiązania światowych problemów energetycznych i środowiskowych. Przy obecnym stanie wiedzy i poziomie techniki, potencjał tej zaawansowanej technologii solarnej jest ogromny i niezaprzeczalny, ale czy jest to już technologia w wystarczającym stopniu kompatybilna z koncepcją ekorozwoju, nie jest równie oczywiste.

Sam proces fotowoltaicznej konwersji promieniowania słonecznego w energię elektryczną przy pomocy specjalistycznych urządzeń jest procesem czystym, bezpiecznym, nieszkodliwym dla człowieka i środowiska, wykorzystującym odnawialne i w ludzkiej skali niewyczerpywalne źródło energii. W rzeczywistości kwestia potencjalnego ryzyka dla środowiska jest jednak bardzo złożona, bowiem rozpatrywana być musi pod kątem całego cyklu życia - od wydobycia surowców potrzebnych do wytworzenia wszystkich elementów instalacji PV (lub systemu BIPV), przez proces ich produkcji, użytkowanie systemu, aż do demontażu i zagospodarowania odpadów. W każdym z poszczególnych etapów cyklu życia „produktu" mamy do czynienia z przepływem energii, materiałów, produktów ubocznych, procesów, oraz związanymi z tym emisjami do wody, powietrza i odpadami.

Analiza tego skomplikowanego, wieloaspektowego problemu wymaga szczegółowych badań z dziedzin niezwiązanych bezpośrednio z architekturą, w pracy przedstawiono zatem jedynie schematyczny zarys najważniejszych kwestii i aktualnych danych. Dla projektantów podstawowa znajomość tych zagadnień jest konieczna, gdy wraz z coraz większym znaczeniem projektowania o charakterze proekologicznym, niezbędne stało się kompleksowe podejście do całego cyklu życia budynku i poszczególnych jego komponentów. Architekci muszą mieć świadomość, iż zastosowanie systemów BIPV w architekturze wiąże się nie tylko z pojawieniem się innowacyjnego narzędzia projektowego kształtującego nową estetykę i rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne, ale przede wszystkim obejmuje bardzo istotne kwestie związane z szeroko pojętą ochroną i zarządzaniem środowiskiem.

3.1.
ANALIZA CYKLU ŻYCIA SYSTEMU PV



Rys. 57. Główne etapy cyklu życia produktu. Na podst. First Solar.

Na temat bezpieczeństwa i wpływu technologii fotowoltaicznej na środowisko opublikowano w ostatnim czasie nowe, szczegółowe prace naukowo-badawcze. Choć analiz dokonywano już od 10-15 lat, jak dotąd niewiele było pełnych i pewnych danych. Prace z lat 90. bazowały jeszcze w większości na rozwiązaniach z końca lat 80., co nie odzwierciedlało aktualnego stanu technologii - wiele informacji bardzo szybko dezaktualizuje się wraz z jej gwałtowną ewolucją[548]. Obecnie dostępne są już szczegółowe analizy całego cyklu życia systemów PV[549], które w związku z potencjalnym zagrożeniem dla środowiska obejmują wiele zagadnień, takich jak: dostępność surowców i wyczerpywanie zasobów naturalnych, energochłonność, zanieczyszczenie środowiska, ryzyko zawodowe i inne.

W ekologii przemysłowej metoda LCA[550] obejmująca ocenę całego cyklu życia „od narodzin, aż do śmierci" jest powszechnie stosowanym narzędziem służącym do oszacowania wpływu produktu (procesu) na środowisko. Dokładne przeanalizowanie wszystkich etapów od momentu wydobycia surowców, przetwarzania materiałów, eksploatacji systemu, aż do procesu utylizacji, a w tym różnorodnych możliwości technicznych i opcji projektowych, pozwala zidentyfikować i opracować optymalne metody dla obecnego i przyszłościowego zminimalizowania ryzyka i zagrożeń.

3.1.1.
ZASOBY SUROWCÓW

Jeżeli technologia fotowoltaiczna ma mieć istotny wpływ na światowe zaopatrzenie w energię elektryczną, zgodnie z zasadami ekorozwoju materiały wykorzystywane w produkcji fotoogniw muszą być *„tanie, nietoksyczne i łatwo dostępne"* [551]. Jak dotąd, warunki te najlepiej spełnia najczęściej używany w produkcji ogniw solarnych krzem. Nietoksyczny, jest po tlenie drugim najbardziej rozpowszechnionym w skorupie ziemskiej pierwiastkiem, a technologie jego otrzymywania są od dawna dobrze opracowane. Teoretycznie problem braku surowca nie istnieje, tym bardziej, że doskonale nadają się do wykorzystania odpady z przemysłu półprzewodników. Wraz z gwałtownym wzrostem przemysłu PV w ostatnich latach zasoby tańszego krzemu

[548] ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN M. J. DE, *Environmental Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production,* 13th CIRP International Conference On Life Cycle Engineering, Leuven 2006.
[549] Większość badań skupia się na najbardziej powszechnej technologii materiałów krzemowych. W ostatnim czasie pojawiły się prace na temat materiałów cienkowarstwowych, szczególnie CdTe w związku z licznymi zastrzeżeniami, co do bezpieczeństwa tej technologii. Wyniki badań przeprowadzonych w ścisłej współpracy ze światowymi firmami solarnymi przedstawiono m.in. na 21 Europejskiej Konferencji Fotowoltaicznej Energii Solarnej, która odbyła się w Dreźnie we wrześniu 2006.
[550] LCA, z ang. *Life Cycle Assessment* – ekologiczna ocena cyklu życia produktu (procesu).
[551] KREUTZMANN A., *Supply problems await areas other than silicon* - http://www.photon-magazine.com/news_archiv/.

okazały się jednak ograniczone[552]. Przewiduje się, że kryzys krzemowy skończy się za kilka lat. Jeśli nie dzięki cieńszym warstwom materiału w ogniwach, to dzięki innym metodom technologicznym czy wraz z dodatkową produkcją półprzewodnikowego materiału uda się rozwiązać problem[553].

Dla porównania, użycie innych surowców w produkcji ogniw cienkowarstwowych, tj. CIS czy CdTe, jest zdecydowanie bardziej ograniczone ze względu na mniejszą dostępność pierwiastków. Ind, kadm i tellurek wykorzystywane w tych technologiach są produktami ubocznymi powstającymi podczas produkcji innych metali. Cena czystego indu używanego w produkcji materiałów CIS jest bardzo wysoka i przede wszystkim niestabilna wskutek „boomu" w przemyśle monitorów płaskich, który jest głównym nabywcą indu[554]. Z kolei w przypadku technologii CdTe kadm uzyskiwany zwykle przy produkcji cynku jest silnie toksycznym materiałem wymagającym odpowiednich środków ostrożności. Tellurek jest tani, ale jego ilości są ograniczone. Aktualnie jedynie dwie firmy produkują moduły fotowoltaiczne typu CdTe – First Solar LLC oraz Antec Solar Energy AG.

Tak jak w przypadku materiałów krzemowych, imperatywem dla technologii cienkowarstwowych jest wzrost sprawności ogniw przy jednoczesnej redukcji ich grubości dla ograniczenia zużycia materiału. W tej chwili trudno przewidzieć, czy w przyszłości technologie CIS i CdTe odegrają na rynku istotną rolę[555]. Prognozy naukowców są bardzo różne - w zależności od scenariusza przewidują ich wzrost kolejno do 10-30% i 2-20%, a w najbardziej pesymistycznej wersji całkowitą stagnację technologii CdTe[556]. Winfried Hoffmann z German Federal Solar Business Association (BSW) twierdzi, że *„jest mało prawdopodobne, iż cienkowarstwowe technologie staną się siłą napędową dla produkcji solarnej elektryczności na dłuższą metę, dopóki zasoby surowców, w szczególności indu i telluru będą ograniczały ekspansję modułów do 20 GW rocznie. Dla kontrastu, w długoterminowej perspektywie, dla ogniw bazujących na krzemie nie ma problemu limitu zasobów"* [557].

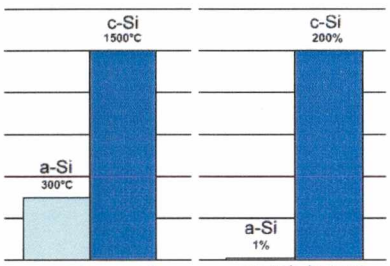
Problem dotyczący zasobów surowców wykorzystywanych w technologii PV jest zagadnieniem bardzo szerokim i oczywiście nie ogranicza się do wyżej opisanych materiałów. W produkcji modułów fotowoltaicznych wykorzystywanych jest wiele innych materiałów, m.in. różnego typu metale (np. miedź), gazy, produkty masowego użytku jak szkło, polimery, żywice i inne,

[552] Aktualnie mówi się wręcz o niedostatku taniego krzemu. Stymuluje to naukowców do poszukiwania nowych metod otrzymywania materiału po niskich kosztach oraz ograniczenia jego ilości w ogniwie. Wraz z ewolucją technologii redukowana jest grubość ogniw, wzrasta natomiast ich efektywność. Poza konwencjonalnymi ogniwami krystalicznymi rośnie popularność ogniw cienkowarstwowych z krzemu amorficznego.
[553] Ibid.
[554] Brak równowagi między zasobami a zapotrzebowaniem stał się głównym problemem. Nabywcy bojąc się wzrostu cen nie udostępniają danych na temat swojego zapotrzebowania, producenci nie znając go nie wytwarzają więcej materiału. Ibid.
[555] Wg danych na temat światowej produkcji ogniw solarnych z 2006 materiały CdTe zajmują 2,7 % na rynku fotowoltaiki, CIS jedynie 0,2%. http://www.photon-magazine.com/.
[556] First Solar optymistycznie nastawiona do przyszłości nieustannie udoskonala swoje produkty i z sukcesem wprowadza nowe rozwiązania. KREUTZMANN A., *Supply problems...*
[557] Ibid.

do tego dochodzą jeszcze surowce niezbędne do wytworzenia elementów instalacji elektrycznej oraz systemów mocujących.

3.1.2. ENERGOCHŁONNOŚĆ

Wczesne moduły PV krytykowano za to, że zużycie energii podczas ich produkcji przewyższa ilość zielonej energii generowanej w trakcie eksploatacji systemu. Obecnie dzięki ewolucji technologii takiego problemu już nie ma, choć poziom energii pierwotnej[558] konsumowanej w procesach produkcyjnych oraz pośrednich (ogrzewanie, oświetlenie, itp.) jest wciąż znaczący[559]. Co ciekawe, widać w tej kwestii bardzo duże zróżnicowanie w zależności od producenta.



Rys. 58. Zużycie energii oraz krzemu w produkcji ogniw krystalicznych i amorficznych. W trakcie wytwarzania ogniw z krzemu amorficznego (United Solar Ovonic, technologia triple-junction solar cells) zużywa się 3-5 razy mniej energii i ~ 200 razy mniej krzemu. Na podst. United Solar Ovonic.

Szczegółowe analizy cyklu życia pozwoliły zidentyfikować problemy i opracować metody optymalizacji produkcji materiałów PV pod kątem zużycia energii, nieustannie wprowadzane są więc kolejne usprawnienia[560] i innowacje. Aktualnym trendem w przemyśle fotowoltaiki jest zmniejszanie grubości ogniw przy jednoczesnym wzroście ich sprawności i minimalizacji kosztów produkcji. W praktyce okazało się, że zwiększanie efektywności ogniw bez konieczności użycia dodatkowej energii czy ilości surowca jest dobrą i całkowicie realną metodą.

W kwestii zapotrzebowania energii w procesie produkcji ogniw solarnych największy wpływ na środowisko mają krzemowe ogniwa monokrystaliczne[561]. W przypadku materiałów cienkowarstwowych korzystne okazały się nowoczesne technologie produkcji metodą *roll-to-roll* i osadzanie ogniw na różnego typu tanich podłożach, tj. taśmach stalowych czy plastiku (rys. 58). Zdecydowanie niższą energochłonnością charakteryzują się najnowsze technologie wykorzystujące materiały nanokrystaliczne.

Jeśli chodzi o moduły fotowoltaiczne dla integracji z budynkiem, korzystniejsze ze względu na poziom zużycia energii i materiałów są z pewnością moduły bezramowe. Alsema i de Wild-Scholten przewidują, że z tego względu w przyszłości staną się one standardem[562].

Od wielu lat dla poszczególnych technologii określany jest tzw. czas zwrotu kosztów energii (ang. *Energy Payback Time – EPBT)* [563]. Kształtuje

[558] Energia pierwotna wykorzystywana w procesach produkcyjnych i pośrednich może pochodzić z różnych źródeł. W niewielkim stopniu bazuje na OZE, bowiem wciąż w dużym stopniu stosowane są tradycyjne metody bazujące na spalaniu paliw kopalnych.

[559] W stosunku do lat ubiegłych widać wyraźne zmniejszenie energochłonności procesu produkcji, przewiduje się także istotne polepszenie w najbliższych latach. ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN DE M. J., FTHENAKIS V. M., *Environmental Impacts of PV Electricity Generation - a Critical Comparison of Energy Supply Options*, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden 2006.

[560] Opracowano np. metodę dla zredukowania wysokiego zużycia energii elektrycznej w procesie produkcji krystalicznych ogniw p-Si. ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN M. J. DE, *Environmental...*

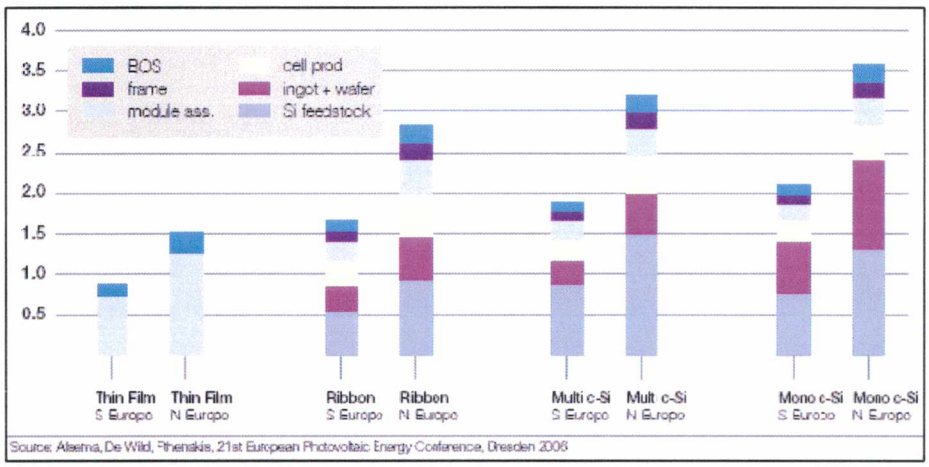
[561] Ibid.

[562] Ibid.

[563] Energy Payback Time (EPBT) – czas mierzony w latach, w którym generator energii wyprodukuje czystą energię w ilości rekompensującej energię zużytą w trakcie jego cyklu życia.

się on na różnych poziomach w zależności od rodzaju technologii, a także warunków, w jakich eksploatowany jest dany system PV. Należy zauważyć, że w najnowszych zakładach przemysłowych warunki są coraz lepsze, jednak z drugiej strony wraz ze zwiększeniem ilości pomieszczeń typu *clean-room* konsumpcja energii może istotnie wzrosnąć.

Wg źródeł z roku 2006 czas zwrotu kosztów energii (EPBT) dla materiałów PV z krzemowych ogniw krystalicznych wynosi ~1,5-2 lat dla Europy południowej i ~2,7-3,5 dla Europy północnej[564]. Autorzy badań podkreślają realne perspektywy dla ograniczenia energochłonności tego rodzaju technologii, a co za tym idzie możliwość redukcji nawet do jednego roku w niedalekiej przyszłości[565]. Z kolei dla materiałów cienkowarstwowych EPBT kształtuje się na poziomie 1-1,5 roku, dla Europy południowej nawet poniżej 1 roku[566] (rys. 59).



Rys. 59. Czas zwrotu kosztów energii dla różnych technologii ogniw PV w Europie północnej i południowej. Dla modułów fotowoltaicznych bez obramowania EPBT jest zdecydowanie korzystniejszy.

Reasumując, z pewnością bezdyskusyjny pozostaje fakt, iż lepszy bilans energetyczny ograniczy główne czynniki wpływu na środowisko, a jednocześnie pozwoli dalej obniżyć koszty urządzeń PV oraz materiałów BIPV.

3.1.3. ZANIECZYSZCZENIE ŚRODOWISKA, EMISJE

Wraz z postępującym wzrostem globalnej produkcji systemów fotowoltaicznych ograniczenie efektów ubocznych jest coraz bardziej istotne. Ich rodzaj i zakres zależy od rodzaju technologii i kształtuje się różnie w poszczególnych fazach cyklu życia produktu.

Główne ryzyko dla środowiska naturalnego, zdrowia i życia ludzi oraz zwierząt stanowią (tab. 8):

[564] ALSEMA E.A., WILD-SCHOLTEN M.J. DE, FTHENAKIS V.M., *Environmental...* Dla porównania, w połowie lat 90. Alsema określał EPBT dla modułów bezramowych z krystalicznych ogniw krzemowych na poziomie 3,8 lat, dla amorficznych 4,6 roku (w warunkach holenderskich). ALSEMA E. A., *Environmental Aspects of Solar Cell Modules. Summary Report*, Netherlands Agency for Energy and the Environment (NOVEM), Report nr 96074, Utrecht 1996, s. 27.

[565] ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN M. J. DE, *Environmental...*, ALSEMA E.A., WILD-SCHOLTEN M.J. DE, FTHENAKIS V.M., *Environmental...*

[566] *Solar Generation...*, s. 51.

Ogniwa	Potencjalne zagrożenie
m-Si	HF, SiH_4 eksplozje
p-Si	Lutowanie ołowiem
	Składowanie odpadów
a-Si	SiH_4 eksplozje
CdTe	Toksyczność kadmu
	Składowanie odpadów
CIS	Toksyczność H_2Se
CGS	Składowanie odpadów

Tab. 8. Główne zagrożenia podczas produkcji ogniw solarnych. Na podst. FTHENAKIS V. M. *Overview of potential hazards*, in: MARKVART T., CASTANER L. (eds.), Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier 2003, s. 854- 868.

- Emisje gazów cieplarnianych i metali ciężkich oraz toksycznych substancji związane z konsumpcją energii i materiałów w poszczególnych procesach;
- Odpady.

Z tego punktu widzenia w cyklu życia technologii fotowoltaicznej najbardziej bezpieczna jest faza eksploatacji systemu. Stwierdzenie, że wpływ systemów PV na otoczenie jest w trakcie ich użytkowania na tyle mały, że uznać go należy za nieistotny, jest niezwykle ważną konkluzją przeprowadzonych do tej pory badań. W trakcie eksploatacji, jeśli nie ma wypadków (tj. pożaru, rozbicia modułów), nie ma żadnych niebezpiecznych emisji. Okazjonalne zanieczyszczenia mogą pojawić się w związku z myciem modułów detergentami. W razie ewentualnego pożaru pewne emisje może spowodować spalanie materiałów laminujących (folia EVA), czy tworzyw sztucznych użytych jako podłoże ogniw lub w obudowie modułu.

Zdecydowanie większe ryzyko stanowią natomiast emisje związane z konsumpcją energii i materiałów w fazie produkcji elementów systemu PV (BIPV) oraz odpady pozostające na końcu cyklu życia technologii, tzn. po zużyciu produktów. Na te etapy kładziony jest obecnie szczególny nacisk.

W kwestii szkodliwych emisji najbardziej powszechna technologia modułów krzemowych uznawana jest za najbezpieczniejszą. Krzem sam w sobie jest relatywnie nieszkodliwy, zagrożenie mogą natomiast stanowić niebezpieczne chemikalia i gazy wykorzystywane w trakcie produkcji. Niektóre z chemikaliów oraz ich produkty uboczne to silne gazy cieplarniane o wiele silniejsze niż CO_2, ich emisje muszą być więc zdecydowanie zminimalizowane dla ograniczenia ryzyka dla ludzi i środowiska. Przemysłowe użycie różnych substancji jest rutynowe, więc środki ostrożności są dobrze opracowane, problemem może być jednak składowanie toksycznych i łatwo eksplodujących gazów. Niekontrolowane, stanowią bardzo duże zagrożenie, ale odpowiednie użycie i konserwacja systemów wentylacyjnych oraz przewodów dymowych w zakładach produkcyjnych minimalizuje ryzyko[567].

Z ekologicznego punktu widzenia istotnym problemem jest bazujące na ołowiu lutowanie na ogniwach, a także użycie dużych ilości rozpuszczalników i substancji czyszczących w procesach produkcyjnych. Metody dla ograniczenia lub wręcz całkowitego wyeliminowania ołowiu zostały już opracowane, kilka firm wprowadziło je już w życie[568].

W technologii amorficznych ogniw krzemowych (a-Si), podobnie jak w przypadku ogniw krystalicznych, podstawowe niebezpieczeństwo stanowi użycie groźnych substancji w produkcji (np. użycie dużej ilości SiH_4)[569].

[567] CAMERON A., *Staying safe. How the PV Industry is minimizing the hazards of solar cell manufacture* - http://www.solar-sse.com/cleanenergy.htm.
[568] M.in. Mitsubishi Electric Corporation (firma otworzyła pierwszą fabrykę produkującą moduły PV w technologii lead-free). http://www.mitsubishielectricsolar.com/news/.
[569] CAMERON A., *Staying safe...*

Toksyczność miedzi, indu i selenu, czyli materiałów używanych w produkcji ogniw typu CIS jest relatywnie niska[570].

Wraz z pojawieniem się na rynku cienkowarstwowych modułów typu CdTe pojawiły się liczne głosy na temat zagrożeń związanych z użyciem kadmu. Alsema w 1996 uznał stosowanie tego rodzaju produktów za ryzykowne dla środowiska, Greenpeace przeciwstawiało się wyrzucaniu pieniędzy na technologię, która wg nich przynosiła więcej szkód niż pożytku[571].

Wg najnowszych publikacji ryzyko zagrożeń jest wyjątkowo niskie. Czysty kadm jest niezwykle toksycznym (m.in. kancerogennym) produktem ubocznym ekstrakcji cynku. Niewykorzystany, często bywa składowany przez przemysł wydobywczy w niewłaściwy sposób, bez zapewnienia odpowiednich środków bezpieczeństwa dla otoczenia. Użycie go w produkcji ogniw solarnych jest więc bardzo dobrym zastosowaniem już wytworzonego materiału, zapobiegającym szkodliwym wpływom na środowisko[572]. W metalicznej formie niebezpieczny, w cienkowarstwowych modułach w związku CdTe kadm jest stabilny i nierozpuszczalny w wodzie[573]. Trzeba dodać, że ilość kadmu użyta na 1 m^2 modułu PV wynosi jedynie ~5-10 g (czyli bardzo niewiele w porównaniu np. do zwykłej baterii niklowo-kadmowej)[574] i stale maleje wraz z ewolucją technologii.

Alsema, de Wild-Scholten i Fthenakis badając wpływy środowiskowe technologii PV dokonali analizy porównawczej emisji kadmu w cyklu życia różnych technologii energetycznych[575]. Wyniki pokazały, że emisje w przypadku technologii CdTe są prawie najmniejsze, niższe nawet niż w technologii ogniw krzemowych[576]. W badaniach przeprowadzonych w Brookhaven National Laboratory stwierdzono: *„moduły (CdTe) nie produkują substancji zanieczyszczających środowisko, ponadto poprzez zastąpienie paliw kopalnych oferują istotne korzyści środowiskowe....Zastosowanie fotowoltaicznych modułów PV na szeroką skalę nie powoduje ryzyka dla zdrowia ani otoczenia, a recykling modułów na końcu ich użytkowania całkowicie rozwiąże wszelkie problemy środowiskowe*[577]".

---

[570] Ibid.

[571] FTHENAKIS V. M., *Could CdTe PV Modules Pollute the Environment?* Brookhaven National Laboratory Draft Report, Upton 2002.

[572] FTHENAKIS V. M., *Life Cycle Impact Analysis of Cadmium in CdTe PV Production*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 8/2004, Elsevier 2004, s. 330-331.

[573] Nawet w przypadku rozbicia ryzyko szkodliwych emisji jest niewielkie. Podczas pożaru temperatura jest zbyt niska, natomiast w razie pożaru przemysłowego z użyciem innych paliw mogą wydobywać się pewne ilości emisji. W temperaturze 110 stopni płynny CdTe w stopionym szkle z obudowy jest jednak mało szkodliwy. FTHENAKIS V. M., *Could CdTe...*, FTHENAKIS V. M., *Life Cycle...*

[574] http://www.nrel.gov/pv/cdte/.

[575] ALSEMA E.A., WILD-SCHOLTEN M.J. DE, FTHENAKIS V.M., *Environmental...*

[576] Duże ilości kadmu emitują elektrownie spalające paliwa kopalne tj. węgiel i ropę naftową. Dla porównania w Europie emisje kadmu w trakcie produkcji energii elektrycznej z ropy naftowej wynoszą 44,3 g/GWh, dla węgla 3,7 g/GWh. W przypadku fotowoltaiki emisje wynoszą w zależności od materiału ogniw: m-Si - 0,7 g/GWh, p-Si - 0,6 g/GWh, CdTe – 0,3 g/GWh. FTHENAKIS V. M., *Photovoltaics Life Cycle Analysis*, Invited plenary presentation, Renewable Energy 2006, Chiba 2006.

[577] FTHENAKIS V. M., *Life Cycle...*, s. 331.

W przypadku technologii fotowoltaicznej największe są emisje pośrednie powstające w trakcie produkcji innych elementów systemu PV, tzn. szkła, stali, aluminium, miedzi, folii EVA, itd[578].

3.1.4.
ZARZĄDZANIE ODPADAMI



Fot. 177. Skład niefunkcjonujących już modułów PV zebranych w SolarMaterials Deutsche Solar AG (Freiberg). Użyteczne materiały tj. ogniwa z krzemu krystalicznego, aluminiowe ramy czy szkło będą odzyskane.

Zaawansowana technologia solarna nie stanie się zrównoważonym źródłem energii bez właściwego zarządzania odpadami, tzn. zastosowania odpowiednich procesów demontażu, odzysku materiałów, recyklingu i zagospodarowania materiałów w końcowym etapie cyklu życia. Jak dotąd rozwiązanie tej kwestii stanowi jeden z największych problemów w przemyśle fotowoltaicznym. Wiele firm solarnych nadal nie prowadzi żadnej polityki związanej z odpadami.

Deponowanie zużytych elementów systemu fotowoltaicznego na składowiskach nie jest dobrym rozwiązaniem ze względu na ryzyko dla środowiska. Podstawowa polityka dla zużytych lub zepsutych części powinna polegać w miarę możliwości na naprawianiu elementów, unikaniu trwałych odpadów, a także segregowaniu, odzyskiwaniu i utylizowaniu wszystkiego, co możliwe (fot. 177).

Idealnym rozwiązaniem dla środowiska byłoby stworzenie zamkniętego cyklu obiegu materiałów[579]. Przemysł fotowoltaiczny jest jeszcze stosunkowo młody, a moduły wykorzystywane na budynkach mają nawet ok. 20-30 lat gwarancji na generowanie energii elektrycznej. Wkrótce, bo w ~2010-2020 roku pierwsza znaczących rozmiarów partia produktów solarnych zakończy okres eksploatacji. Dlatego, jak podkreślają liczni specjaliści, waga zagadnienia już teraz jest tak duża i należy szybko opracować odpowiednie metody działania. W innym wypadku za kilka lat staniemy przed faktem dokonanym, w obliczu bezprecedensowego problemu z odpadami fotowoltaicznymi na wielką skalę[580].

Jeszcze z końcem lat 90. nie było żadnych komercyjnie dostępnych technik recyklingu dla elementów systemu PV, opracowanie i wprowadzenie na rynek efektywnych i opłacalnych metod nie jest bowiem łatwe. W zasadzie jedynie ogniwa solarne potrzebują odrębnego, nowego podejścia, większość pozostałych elementów może być poddana recyklingowi czy technikom utylizacji znanym już i stosowanym dla innych produktów.

Najłatwiej poddać recyklingowi aluminiowe ramy, a także szklane obudowy modułów, które ponownie przetapia się po usunięciu większych ilo-

[578] WAMBACH K., SCHLENKER S., JÄGER-WALDAU A., *A voluntary take back system for PV module in Europe* - http://solarworld.de/solarmaterial/english/press/8BO.5.1.pdf.
[579] Porównaj rozdz. I/2.
[580] W Europie w roku 2010 przewiduje się 290 ton odpadów w postaci zużytych modułów PV, w roku 2040 już 33 500 ton. MÜLLER A., WAMBACH K., ALSEMA A., *Life cycle analysis of a solar module recycling process*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona 2005.

ści plastiku oraz materiału półprzewodnikowego. Głównym problemem jest rozłożenie modułu na części w związku z trwałym połączeniem ogniw solarnych z materiałem laminującym (polimerem lub żywicą). Oddzielenie i ponowne użycie krzemu krystalicznego jest już jednak możliwe i stosowane.

Odzyskiwanie krzemu z modułów cienkowarstwowych nie ma specjalnego sensu ze względu na bardzo małą ilość materiału. W modułach typu CdTe odzysk materiału półprzewodnikowego jest zasadny z punktu widzenia ochrony zasobów surowców oraz ograniczenia ryzyka dla środowiska.

Kwestia odpowiedniego zarządzania odpadami wiąże się nie tylko z oddziaływaniem na środowisko naturalne, wpływa też na wysoką cenę systemu fotowoltaicznego[581].

Obok konieczności rozwoju odpowiednich technik i procesów, jednym z podstawowych zadań jest stworzenie odpowiedniej legislacji ujmującej urządzenia fotowoltaiczne (BIPV)[582]. W Unii Europejskiej wprowadzono w życie dwie dyrektywy (RoHS, WEEE)[583] kontrolujące rodzaj i ilość substancji używanych w różnych procesach produkcyjnych oraz sposoby gospodarowania odpadami, jednak moduły PV nie są w nich jeszcze ujęte[584]. Aktualnie sektor fotowoltaiki musi zatem podejmować działania pomimo braku odpowiednich uregulowań prawnych.

Badania nad różnymi metodami odpowiednimi dla danej technologii prowadzone są na coraz szerszą skalę bazując na doświadczeniu i technikach z innych dziedzin przemysłu. *„Firmy produkujące materiały solarne zaczynają już zdawać sobie sprawę z potrzeby wprowadzenia schematów recyklingu i standardów środowiskowych dla zachowania swoich zielonych referencji"*[585]. W działania dotyczące przyjaznego dla środowiska zagospodarowania odpadów z urządzeń fotowoltaicznych zaangażowały się m.in.:

- BP Solar (firma rozpoczęła opracowanie procedur dla przetwarzania odpadów i recyklingu materiałów krzemowych w połowie lat 90.)[586];
- Deutsche Solar AG (SolarMaterial - program pilotażowy dla recyklingu ogniw i modułów p-Si, fot. 178)[587];
- Sharp (system ponownego przetapiania krzemu) [588];



Fot. 178. Materiał odzyskany z zużytych ogniw krzemowych, SolarMaterials, Deutsche Solar AG (Freiberg). Po przesortowaniu materiał zostanie ponownie użyty w produkcji krzemowych płytek dla fotoogniw.

[581] WAMBACH K., SCHLENKER S., JÄGER-WALDAU A., *A voluntary...*
[582] WILD-SCHOLTEN DE M. J. et al., *Implications of European Environmental Legislation for Photovoltaic Systems*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona 2005.
[583] Dyrektywa *Regulation of Hazardous Substances (RoHS)* 2002/95/EC dotyczy użycia niebezpiecznych substancji w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych reguluje maksymalną zawartość szkodliwych substancji łącznie z metalami ciężkimi. Dyrektywa *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)* 2002/96/EC dotyczy usuwania odpadów elektrycznych i elektronicznych. http://www.rohs-weee.pl/ .
[584] Jedynie niektóre substancje używane w instalacji elektrycznej systemu PV objęte są restrykcjami wg RoHS. WILD-SCHOLTEN DE M. J. et al., *Implications...* Po pięciu latach obowiązywania dyrektyw RoHS i WEEE trwają prace nad nowelizacją przepisów w kierunku większej odpowiedzialności producentów i dystrybutorów za wprowadzane na rynek towary.
[585] http://www.firstsolarcom/de.
[586] Te moduły, które można naprawić są naprawianie, inne poddaje się procesowi rozbiórki do odzysku aluminium z ram i w miarę możliwości również innych elementów. Pozostałe części są rozdrabniane i składowane na kontrolowanych składowiskach odpadów stałych. Niektóre cienkowarstwowe moduły mogą być nawet składowane na lokalnych wysypiskach. http://www.bpsolar.com.
[587] http://www.solarworld.de/solarmaterial/.
[588] WILD-SCHOLTEN DE M. J. et al., *Implications...*

- Solar World AG (program odzysku materiałów z modułów PV)[589];
- First Solar (innowacyjny program recyklingu modułów CdTe)[590].

Firmy inwestują też coraz więcej w techniczne innowacje dla ułatwienia procesów mechanicznej rozbiórki elementów – opracowywane są np. nowe systemy śrub czy innych elementów mocujących ramę modułu, szuka się alternatywnych materiałów laminujących. W przypadku technologii BIPV szczególnie istotne jest, aby rozwijane produkty zapewniały możliwość rozdzielenia zintegrowanych komponentów, odzysku jak największej ilości materiałów i ponownego ich użycia. W niektórych produktach komercyjnych wykorzystywane są już różne materiały odzyskane z recyklingu (np. bazy z tworzyw sztucznych w dachówkach fotowoltaicznych).

3.1.5.
RYZYKO ZAWODOWE

Bezpieczeństwo i higiena w miejscu pracy są niezbędne w nowoczesnych zakładach produkcyjnych. Ze względu na wykorzystywanie w procesach wytwarzania elementów systemu PV różnych substancji toksycznych i łatwo eksplodujących gazów, konieczne jest zachowanie wszelkich środków ostrożności. Rygorystyczne przestrzeganie zasad bezpieczeństwa wraz z zastosowaniem odpowiednich technik kontroli pozwala ograniczyć szkodliwe emisje prawie do zera. Pomijając ryzyko ewentualnych błędów przy pracy i wypadków, z zachowaniem odpowiednich środków ostrożności pracownicy nie są narażeni na niebezpieczeństwo. Przeprowadzane są niezależne środowiskowe audyty dla kontroli oraz udokumentowania bezpieczeństwa. Pracownicy poddawani są także rutynowym testom medycznym[591].

3.1.6.
WNIOSKI

W pewnym stopniu producenci ogniw solarnych jak dotąd radzili sobie z weryfikacją ubocznych skutków produkcji. Gdy przemysł fotowoltaiczny był jeszcze stosunkowo niewielki, mógł funkcjonować w dużym stopniu na pół-

[589] SolarWorld AG specjalizuje się w czyszczeniu, odzyskiwaniu i klasyfikowaniu materiału krzemowego pochodzącego z różnych źródeł. Resztki i wadliwe elementy mogą być przetworzone i wykorzystane od nowa. http://www.solarworld.de/solarmaterial/.

[590] Firma zaangażowała się w poprawienie jakości środowiska oraz zdrowia i bezpieczeństwa swoich pracowników i klientów poprzez stałe usprawnianie i zwiększanie jakości produktów, usług i serwisów oraz zarządzanie cyklem życia produktu we wszystkich fazach. Stworzenie nieprzerwanego, odnawialnego cyklu pozwoli na ograniczenie zużycia surowców i redukcję szkodliwych emisji do atmosfery oraz składowania odpadów stałych. Ewaporyzacja z odpadów jest odzyskiwana bez emisji do powietrza. Pozostałości wody z procesów produkcyjnych są oczyszczane i filtrowane i wracają do systemu jako woda czysta, której jakość jest stale kontrolowana i dokumentowana. Stałe odpady z produkcji są centralnie zbierane, segregowane i poddawane recyklingowi. Program recyklingu First Solar jest tak zaprojektowany, aby jak najwięcej komponentów modułu solarnego nie pozostało w formie niewykorzystanego odpadu. Moduły mają gwarancję na +25 lat życia – jeśli wrócą po 20 latach lub w ramach reklamacji, firma płaci za pakowanie, transport i recykling, a użytkownik jest odpowiedzialny jedynie za rozmontowanie i podział elementów wg odpowiednich instrukcji i procedur. W celu odzyskania wszystkich modułów po zakończeniu ich eksploatacji, specjalny program śledzi lokalizację miejsca instalacji każdego sprzedanego modułu. http://www.firstsolar.com/.

[591] Ibid.

produktach z innych zakładów, poza tym sektor industrialny już od jakiegoś czasu zaangażował się w kwestię redukcji szkodliwych emisji. Jeżeli jednak fotowoltaika stanie się globalnym przemysłem, a wszystko na to wskazuje, dotychczasowe standardy muszą zostać zdecydowanie podwyższone, co nie będzie łatwe do spełnienia.

Producenci materiałów fotowoltaicznych już zmierzają do przejścia z produkcji megawatowej do gigawatowej, kwestie środowiskowe muszą być więc jak najszybciej rozwiązane. Jest to niezbędne dla zapewnienia, iż stosowane w budownictwie materiały PV (BIPV) generujące energię elektryczną będą mogły prezentować się rzeczywiście jako „zielone", bezpieczne dla środowiska i użytkownika.

3.2.
INTEGRACJA FOTOWOLTAIKI Z BUDYNKIEM

W kontekście minimalizacji wpływu na środowisko zastosowanie w architekturze technologii BIPV[592] jest zdecydowanie bardziej korzystne w porównaniu do zwykłych instalacji fotowoltaicznych dodanych do powłoki budynku. Zastąpienie konwencjonalnych elementów budowlanych kompleksowymi materiałami BIPV pozwala bowiem na ograniczenie:

- surowców i materiałów (do produkcji części składowych systemu fotowoltaicznego oraz konwencjonalnych materiałów budowlanych, elementów podkonstrukcji i mocowania),
- energii (zużywanej podczas wydobycia surowców, produkcji elementów, transportu, montażu),
- terenu i przestrzeni (dotyczy przypadku instalacji dodanych do budynku),
- czasu i pracy,
- kosztów (terenu, materiału, instalacji, produkcji, energii, pracy, itd.).

Wszystko razem pozytywnie wpływa na bilans energetyczny, szeroko pojętą efektywność oraz kwestię oddziaływań na środowisko naturalne. Jednocześnie, stanowiąc integralną cześć powłoki budynku wielofunkcyjne materiały BIPV mogą brać udział w optymalizacji środowiska wewnętrznego budynku. Bezpośrednia integracja elementów systemu PV korzystniej wpływa też na jakość architektury, co skutkuje zainteresowaniem i pozytywnym postrzeganiem zarówno solarnej technologii, jak i samego przedsiębiorstwa.

[592] Technologia BIPV rozumiana jest w tym wypadku jako nierozerwalna kombinacja tradycyjnego materiału budowlanego i elementów systemu fotowoltaicznego. W trochę mniejszym stopniu dotyczy to również modułów PV, które bezpośrednio zastępują konwencjonalny materiał. W obu wypadkach korzystniejsze ze względów ekologicznych są moduły bez ramy.

3.3.
EKSPLOATACJA SYSTEMU BIPV

W trakcie eksploatacji system BIPV nie generuje żadnych emisji, zanieczyszczeń, niebezpiecznych odpadów. Proces konwersji fotowoltaicznej jest czysty, cichy, bezpieczny i pewny. Wykorzystując bezpośrednio naturalne, darmowe, odnawialne i w ludzkiej skali niewyczerpywalne źródło energii, jakim jest promieniowanie słoneczne, nie wywiera żadnego niekorzystnego wpływu ani na otoczenie, ani na środowisko wewnętrzne. Wręcz przeciwnie - odpowiednie techniki integracji fotowoltaiki z powłoką mogą być korzystnym czynnikiem wpływającym na jakość i komfort wewnątrz budynku.

3.4.
ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ I KOMFORT – POWŁOKA BIPV JAKO SYSTEM ENERGETYCZNIE AKTYWNY

W ostatnich latach zewnętrzne przegrody przechodzą istotną ewolucję z pasywnych konstrukcji rozdzielających i izolujących wnętrze budynku do aktywnych, kompleksowych struktur, które na podobieństwo skóry żyjącego organizmu reagują na zmiany i regulują przepływ energii. Wykorzystanie technologii BIPV jest jednym ze sposobów kształtowania tego rodzaju nowoczesnych, wielofunkcyjnych powłok.

Wg koncepcji Addington i Schodek, klasyfikujących materiały fotowoltaiczne jako *inteligentne (smart)*[593], ich użycie pozwala na zmianę tradycyjnego sposobu postrzegania zewnętrznej przegrody. Fasada BIPV nie jest wyłącznie statyczną, fizycznie i wizualnie zdefiniowaną powierzchnią, ale aktywną strefą, miejscem, w którym zachodzą zmiany, transformacje i interakcje pomiędzy różnymi środowiskami energetycznymi[594].

Odpowiednio ukształtowana powłoka dzięki integracji z fotowoltaiką odgrywa istotną rolę w spełnianiu różnych kryteriów architektury proekologicznej[595] - generuje czystą elektryczność, a także reguluje, przepuszcza, zatrzymuje, kontroluje przepływ energii[596]. Tym samym wpływa na bilans energetyczny i komfort w budynku.

BIPV jako zintegrowany system energetyczny, to wg definicji Wachenfeldta: *„system w powłoce lub konstrukcji budynku, który wykorzystuje dostępne na miejscu zasoby energii minimalizując potrzebę zaopatrzenia w*

---

[593] Patrz rozdz. II/3.3.
[594] ADDINGTON M., SCHODEK D., *Smart...*
[595] Patrz rozdz. II/1.2 – 1.3, II/2.
[596] Możliwość generacji elektryczności oraz regulowanie przepływu energii przez powłokę może znacząco obniżyć zapotrzebowanie na energię zużywaną do ogrzewania, chłodzenia, oświetlenia, itd. Lepsza charakterystyka energetyczna budynku wiąże się z ograniczeniem konsumpcji energii wytwarzanej metodami tradycyjnymi, co z kolei pociąga za sobą ograniczenie kosztów, zużycia surowców nieodnawialnych, emisji i zanieczyszczeń związanych ze spalaniem paliw kopalnych, odpadów.

energię konwencjonalną, utrzymując jednocześnie satysfakcjonujące warunki środowiska wewnętrznego"[597]. Dla zapewnienia optymalnej efektywności powinien on stanowić integralny komponent całego systemu energetycznego budynku, a nie jedynie dodatek czy niezależny element[598]. Dlatego podkreśla się, iż stworzenie prawdziwie wielofunkcyjnej, skutecznej powłoki wymaga holistycznego podejścia, w tym powiązania nowych technologii z konwencjonalnymi, aktywnych systemów solarnych z pasywnymi[599]. W praktyce odpowiednie wykorzystanie materiałów BIPV pozwoliło niejednokrotnie osiągnąć standard budynku niskoenergetycznego, a w połączeniu z innymi systemami OZE (m.in. geotermalnymi) zrealizowano nawet obiekty przemysłowe o dodatnim bilansie energetycznym - np. Wattwerk w Szwajcarii (V/025).

Energooszczędność jest jednym z wymagań obowiązujących we współczesnej architekturze. Działania zmierzające do zmniejszenia zużycia konwencjonalnej energii w budynkach industrialnych wynikają z rosnącej świadomości zagrożeń środowiska, a z punktu widzenia inwestora przekładają się bezpośrednio na obniżenie kosztów. Wg IPCC promowanie energooszczędności i użycie nowoczesnych technologii[600], a także zmiana zachowań użytkowników budynku przyczynią się do istotnej redukcji emisji gazów cieplarnianych[601]. Rezultatem będzie nie tylko polepszenie warunków zewnętrznych, ale także zwiększony komfort wewnętrzny oraz korzyści ekonomiczne.

Osiągnięcie niskiego zapotrzebowania na energię wiąże się z:

- maksymalizacją zysków energii ze źródeł odnawialnych,
- minimalizacją strat energii,
- optymalizacją komfortu wewnętrznego[602].

Technologia BIPV może mieć znaczący udział w rozwiązaniu każdej z wymienionych kwestii.

3.4.1. MAKSYMALIZACJA ZYSKÓW ENERGII ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH

W przypadku technologii BIPV optymalizacja zysków energii ze źródeł odnawialnych wiąże się z eksploatacją promieniowania słonecznego w celu:

- generacji energii elektrycznej,
- oświetlenia światłem dziennym,
- wykorzystania energii cieplnej.

[597] WACHENFELDT B. J., BELL D., *Building...*, s. 6.
[598] Ibid. s. 4.
[599] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, WACHENFELDT B. J., BELL D., *Building...*
[600] Stosując obecnie znane energooszczędne technologie można zredukować emisje o ponad 20%. http://www.ipcc.ch.
[601] Do 2030 ~30% emisji gazów cieplarnianych w sektorze budowlanym może być dzięki temu zredukowana. Ibid.
[602] CELADYN W., Przegrody..., s. 15.

POWŁOKA JAKO GENERATOR ENERGII

Integracja modułów fotowoltaicznych z zewnętrznymi przegrodami budynku powoduje, że jest on nie tylko konsumentem energii, ale i jej producentem. Wykorzystując odnawialne źródło energii w postaci promieniowania słonecznego nowoczesna powłoka BIPV bezpośrednio generuje czystą energię elektryczną – w pewien sposób staje się więc solarną elektrownią.

Wygenerowana elektryczność może zostać wykorzystana na potrzeby zakładu przemysłowego w sposób bezpośredni – w formie prądu stałego do zasilania specjalnych urządzeń (np. wentylatorów DC), lub po przekształceniu przez falownik w prąd zmienny (AC) do innych celów tj. oświetlenia budynku, zasilania urządzeń elektrycznych[603], itp.

W systemach podłączonych do sieci energia jest najczęściej sprzedawana, a następnie odkupywana po preferencyjnych cenach. W ten sposób może być także wykorzystana w zupełnie innym, odległym miejscu. Sieć energetyczna, do której oddawana jest wygenerowana elektryczność pełni w tym wypadku rolę magazynu energii[604].

Poza zieloną energią elektryczną w procesie konwersji fotowoltaicznej powstaje jako efekt uboczny pewna (nieporównywalnie mniejsza) ilość ciepła[605]. Materiały BIPV generalnie funkcjonują w jeszcze wyższych temperaturach niż instalacje PV montowane na budynku[606]. Negatywny z jednej strony efekt nagrzewania się ogniw (modułów) solarnych[607], z drugiej strony może mieć korzystne aspekty, energię cieplną można bowiem odzyskać i użyć do konkretnych celów[608].

W systemach kogeneracji BIPV całkowity uzysk energii (energia elektryczna + energia cieplna) będzie zależał od poziomu energii wejściowej, temperatury otoczenia, prędkości wiatru, temperatury operacyjnej systemu oraz metody transferu ciepła[609]. Ciepło wyprodukowane przez system BIPV ma niską temperaturę, nie będzie więc użyteczne dla pośredniego generowania energii elektrycznej, ani dla wysokotemperaturowych procesów przemysłowych[610]. Można je natomiast wykorzystać do:

---

[603] Przykładowo, w fabryce mebli Wilkhahn energia PV zasila elektryczne wózki widłowe. Patrz V/004.

[604] Innym rozwiązaniem zapewniającym większą niezależność jest zmagazynowanie energii w bateriach (akumulatorach), jednak taka metoda dotyczy głównie systemów oddalonych od sieci, co z oczywistych względów nie dotyczy raczej budynków przemysłowych. Ujemną stroną zastosowania akumulatorów jest fakt, iż redukują one efektywność energetyczną systemu (jedynie 80% energii jest odzyskane) i zwiększają całkowite koszty. Wymagają obsługi, trzeba je wymieniać, problemem jest też kwestia szkodliwego wpływu na środowisko (najbardziej popularne są akumulatory kwasowo-ołowiowe, a także droższe baterie niklowo-kadmowe). Prowadzone są badania nad innymi rozwiązaniami dla magazynowania energii PV.

[605] Przy sprawności ogniw 6-15% i promieniowaniu słonecznym o mocy 1 kW/m^2, około 850-940 W/m^2 energii z konwersji PV będzie tracone w postaci energii cieplnej. BAZILIAN M. D. et al., *Photovoltaic cogeneration in the built environment,* Solar Energy Vol. 71, 1/2001, Elsevier 2001, s. 57.

[606] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing with solar power...,* s. 51. Gdy moduły nie przylegają ściśle do innych elementów struktury lub wręcz są wyeksponowane z obu stron, proces naturalnej konwekcji umożliwia ich chłodzenie.

[607] Jak wspominano wzrost temperatury (ponad standardowe +25° C) jest odwrotnie proporcjonalny do sprawności modułu fotowoltaicznego. Patrz rozdz. III/3.3.3.

[608] BAZILIAN M. D. et al., *Photovoltaic...,* s. 57.

[609] TRIPANAGNOSTOPOULOS Y. et al., *Hybrid photovoltaic/thermal solar systems,* Solar Energy Vol. 72, 3/2002, Elsevier 2002, s. 217.

[610] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing with solar power...,* s. 51.

- podgrzewania powietrza,
- transferować przez wymiennik ciepła do systemów ogrzewania wody,
- użyć w powiązaniu z pompami ciepła,
- zmagazynować w masywnych materiałach budowlanych jako energię masy lub w materiałach o zmiennej fazie,
- magazynować w podziemnych zbiornikach.

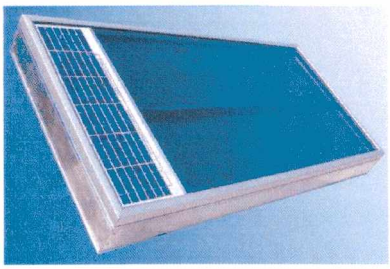
Zainteresowanie koncepcją kogeneracji BIPV jest coraz większe. Prognozuje się, że będzie ona miała duże znaczenie w systemach energetycznych przyszłości[611]. Aktualne rozwiązania można sklasyfikować następująco[612]:

- **Wentylowane okładziny BIPV** – w wielowarstwowych strukturach naturalny[613] lub wymuszony przepływ powietrza pomiędzy okładziną, a wewnętrzną warstwą ściany (izolacją termiczną) chłodzi nagrzewające się moduły PV[614] (fot. 179). Odzyskane ciepło może zostać wykorzystane m.in. do optymalizacji parametrów mikroklimatu wnętrza, w systemach wentylacji, ogrzewania czy podgrzewania wody[615]. Przykładowo, w fabryce Aerni w Arisdorf system kogeneracji o mocy 53 kW zintegrowano ze świetlikami szedowymi. Odzyskane ciepło wykorzystuje się na potrzeby grzewcze hali produkcyjnej, latem nadmiar magazynowany jest w zbiorniku akumulacyjnym[616] (V/001). W fasadzie włoskiego centrum badawczego ELSA ogrzane powietrze wykorzystywane jest do celów wentylacyjnych, część jest także magazynowana w masie ściany konstrukcyjnej[617] (V/005);
- **Systemy semi-transparentne** – zastosowanie ogniw cienkowarstwowych, perforacja lub rozsunięcie ogniw c-Si w szklanych materiałach BIPV powoduje, że pewna część promieniowania słonecznego o określonej długości fal przechodzi do wewnątrz w postaci energii termalnej[618]. W pewnym sensie można uznać takie rozwiązanie za system kogeneracji BIPV. W powiązaniu z ciepłem będącym efektem ubocznym procesu konwersji fotowoltaicznej, sumaryczna ilość energii może zostać odzyskana i użyta do konkretnych celów. Między in-

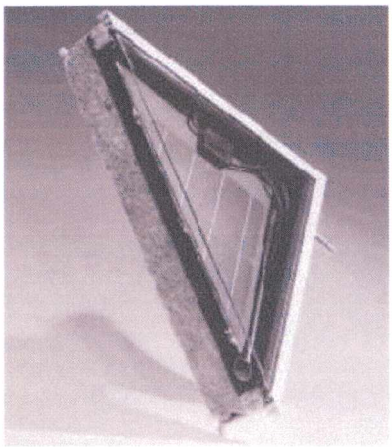


Fot. 179. Centro Richerche Fiat Orbassano, Turyn. TIS Secco Sistemi - wentylowana okładzina BIPV z odzyskiem ciepła.

[611] BAZILIAN M. D. et al., *Photovoltaic...*, s. 68.
[612] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 51.
[613] Naturalna cyrkulacja powietrza jest metodą najprostszą i najtańszą dla przekierowania ciepła zza modułów. Przepływ wymuszony jest bardziej efektywny, ale wymaga wkładu energii, całkowity zysk energii będzie więc zredukowany. TRIPANAGNOSTOPOULOS Y. et al., *Hybrid...* s. 218.
[614] W przypadku struktur wielowarstwowych ciepło wytworzone w trakcie konwersji fotowoltaicznej znajduje się pomiędzy warstwami przegrody. Stamtąd może być rozprowadzane w celu ogrzewania budynku lub wykorzystane do chłodzenia analogiczne do działania podwójnych fasad.
[615] W warunkach zimnego klimatu korzystniejsze będzie chłodzenie ogniw przepływem powietrza – ogrzane posłuży do ogrzewania pomieszczeń. W warunkach cieplejszych efektywniejsze będzie natomiast wykorzystanie ciepła do ogrzewania wody. Ibid. s. 219.
[616] BAZILIAN M. D. et al., *Photovoltaic...*, s. 62.
[617] Ibid.
[618] Ogniwa przekształcają w energię elektryczną niewielki procent padającego na nie promieniowania słonecznego, reszta jest odbita od powierzchni modułu, ulega wypromieniowaniu oraz przechodzi przez materiał w postaci energii termalnej. Im ciemniejsza powierzchnia ogniw tym więcej promieniowania słonecznego jest przez nie absorbowane.



Fot. 180. Moduł PV/T – TWINSOLAR, prod. Grammer Solar.

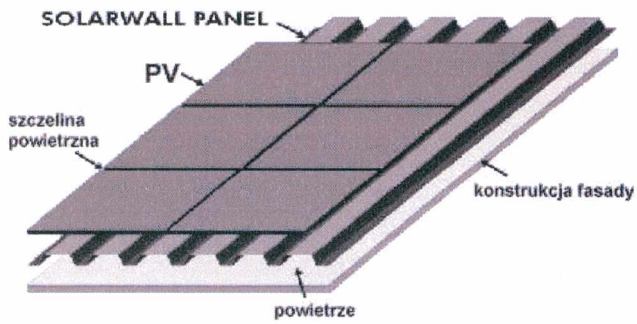


Fot. 181. MultiSolar, prod. SolarWatt. Płaski kolektor termalny z ogniwami PV.

Rys. 60. SolarWall, prod. Conserval Engineering Inc. System rozwinięty dla solarnych ścian PV – moduły montowane są na perforowanym absorberze. Energia z konwersji PV uruchamia wentylatory wymuszające przepływ ciepłego powietrza dla ogrzania budynku.

nymi dlatego, za najbardziej korzystne uznaje się powiązanie aktywnych i pasywnych systemów solarnych. W fabryce SMA w Kassel, dzięki odzyskowi ciepła, zorientowana w kierunku południowym, nachylona szklana fasada BIPV pozwala pokryć w dużym stopniu zapotrzebowanie na ciepło przylegającej doń strefy wejściowej[619] (V/016);

- **Technologie koncentrujące** – specjalne elementy skupiają promienie solarne na ogniwach powodując istotny wzrost ich efektywności. Wytwarzana jest w tym wypadku bardzo wysoka temperatura, dlatego systemy te wymagają specjalnego chłodzenia;
- **Moduły PV/T** (Photovoltaic/Thermal) – to kombinacja modułu fotowoltaicznego z kolektorem solarnym. Ogniwa fotowoltaiczne wklejane do typowych, płaskich kolektorów (powietrznych lub cieczowych) funkcjonują w nich jako absorber[620]. Główną zaletą takiego rozwiązania jest redukcja kosztów i powierzchni instalacji dzięki połączeniu różnych procesów w jednym, zintegrowanym systemie. Modularne elementy można wytwarzać masowo, są jednak jeszcze słabo rozpowszechnione[621]. Na rynku komercyjnym dostępne są m.in.: PVTWIN (prod. PVTWINS), TWINSOLAR (fot. 180), czy MultiSolar (fot. 181);



WYKORZYSTANIE ENERGII SOLARNEJ DO OŚWIETLENIA

W przypadku budynków o charakterze industrialnym kwestia oświetlenia miejsca pracy jest sprawą złożoną i musi być rozpatrywana indywidualnie w zależności od specyfiki i profilu działalności. Ponieważ światło naturalne charakteryzuje się dużą zmiennością, jego użycie nie zawsze będzie pożądane, a czasami wręcz niemożliwe – pewne procesy laboratoryjne, produkcyjne, czy przechowywanie określonych produktów wymagają światła o konkretnym, stałym natężeniu. Światło dzienne jest jednak najlepsze dla komfortu psychofizycznego człowieka, dlatego wszędzie tam, gdzie jest to możliwe, należy je efektywnie wykorzystać, również z uwagi na redukcję konsumpcji energii konwencjonalnej dla sztucznego oświetlenia[622].

[619] http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_41,s_Projects.fb15.
[620] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 51.
[621] W 2005 zainicjowano 3-letni program badawczy IEA SHC Task 35 PV/Thermal Solar System mający na celu pobudzenie rozwoju i wprowadzenie na rynek komercyjny wysokiej jakości systemów hybrydowych. http://www.iea-shc.org.
[622] Wiąże się to pośrednio z ograniczeniem zużycia surowców nieodnawialnych i redukcją zanieczyszczeń środowiska naturalnego.

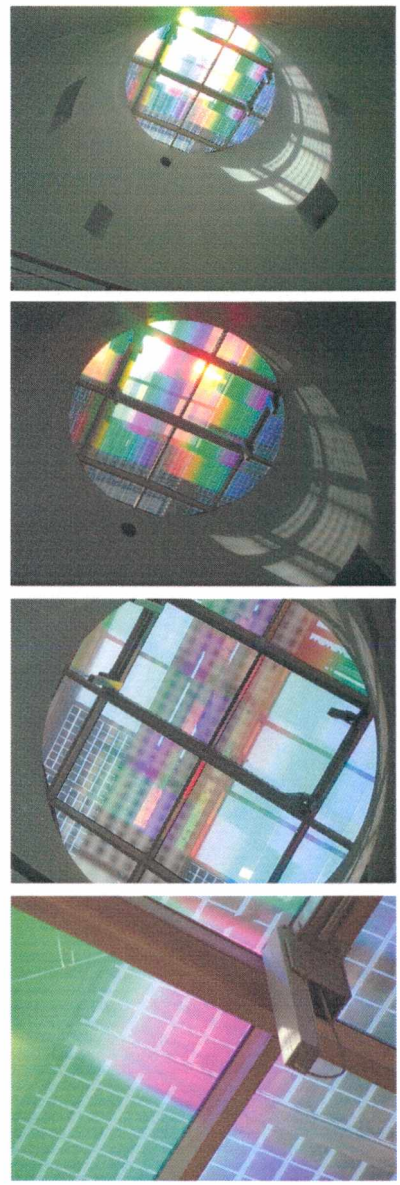
Częściowo transparentne materiały BIPV pozwalają na dostęp promieni słonecznych do wnętrza budynku. Wybór odpowiedniej technologii (budowy przegrody, modułu, rodzaju ogniw, itd.) determinuje ilość przedostającego się przez materiał przegrody światła oraz jego jakość (równomierność)[623]. W modułach zbudowanych z konwencjonalnych ogniw krystalicznych światło przedostaje się przez przestrzeń pomiędzy nimi – w zależności od wymaganego poziomu transmisji ilość światła można regulować zwiększając lub zmniejszając rozstaw ogniw. Inna metoda polega na perforowaniu ogniw, natomiast materiały cienkowarstwowe osadzone na szkle (lub innym materiale przepuszczającym światło) same zapewniają pewien poziom przepuszczalności promieniowania.

W każdym wypadku poziom transmisji uzależniony jest także grubością i rodzajem szklanej obudowy modułu oraz struktury całej przegrody, z którą ów moduł został zintegrowany. Najczęściej transparentność kształtuje się w granicy 10-50 %. Należy pamiętać, iż wraz ze spadkiem powierzchni aktywnej (przetwarzającej promieniowanie) maleje efektywność energetyczna systemu fotowoltaicznego.

Innowacyjną propozycją dla technologii BIPV jest kombinacja szkła fotowoltaicznego z hologramami. W początkach lat 90. Vito Orazem przekonywał, iż holografia na fasadzie może mieć szczególny wkład w rozwiązanie problemu energooszczędności[624]. Badania naukowe i praktyczne realizacje dowiodły, że holograficzne elementy optyczne (HOE) pozwalają efektywniej wykorzystać energię promieniowania słonecznego jednocześnie do oświetlenia wnętrz i dla konwersji fotowoltaicznej[625].

Osadzone w szkle (lub innym transparentnym materiale) HOE charakteryzują się właściwością ukierunkowywania światła. Dzięki efektowi dyfrakcji są w stanie funkcjonować niczym soczewki, pryzmaty czy też lustra – ukierunkowują, skupiają i selekcjonują promienie. Tym samym mogą być efektywnie wykorzystane do oświetlenia nawet bardzo głębokich pomieszczeń. Prawie całkiem transparentne, blokują padające na przegrodę promieniowanie bezpośrednie (redukując przegrzewanie wnętrza i oślepienie), pozwalają natomiast na penetrację światła rozproszonego (fot. 182-185).

Systemy BIPV/HOE mogą znaleźć dobre zastosowanie zarówno na fasadach, jak i świetlikach lub szklanych dachach. Połączenie holografii z fotowoltaiką jest podwójnie korzystne. Zintegrowane ze szkłem HOE umieszczo-

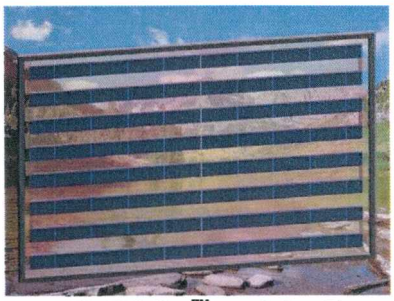


Fot. 182-185. Akademia Mont-Cenis, Herne (arch. Jourda Architectes, HHS Planer + Architekten BDA, 1999). Efektowne połączenie fotowoltaiki z holografią. HOE ukierunkowują światło doświetlając głęboki hall jednocześnie tworząc dynamiczne projekcje tęczowych kolorów.

[623] Patrz rozdz. IV/2.2.1.

[624] W 1991 w pracy pt. *„Static building-dynamic facades"* Niklaus Kohler z Ecole Polytechnique Federale de Lausanne wzmiankował o roli HOE w technologii fasad. Wówczas były to rozważania czysto teoretyczne. Praktyczne działania rozpoczęła niedługo później firma VW wraz z producentem szkła Vegla, opracowując folię holograficzną dokonującą pasywnej selekcji światła słonecznego. W Institute for Light and Construction Techniques na Politechnice w Kolonii Helmut O. Müller i Jörg Gutjahr pracują nad rozwojem budowlanych elementów konstrukcyjnych, które skupiają światło na ogniwach fotowoltaicznych za pomocą HOE. Dla praktycznych zastosowań głównym problemem jest niestabilność materiału wystawionego na działanie promieni UV. http://www.mediainmotion.de.

[625] HUI S.C.M., MÜLLER H. F. O., *Holography...*, s. 225.



Fot. 186. HoloSun™, prod. Sun Phocus Technologies. Szklany panel fotowoltaiczny z hologramami. Doświadczenia wykazały, że w praktyce HoloSun™ pozwala wygenerować 25 % więcej energii (teoretycznie nawet 50%) w porównaniu do modułu bez powłoki holograficznej (z tą samą ilością i rodzajem ogniw).

ne przed fotoogniwami koncentrują na nich bezpośrednie promieniowanie - w rezultacie znacząco rosną zyski energetyczne systemu PV.

Specjalnie dla aplikacji BIPV rozwijana jest nowa technologia - HoloSun™ (prod. Sun Phocus Technologies) - w postaci płaskich, szklanych paneli fotowoltaicznych z cienką powłoką holograficzną, skupiającą promienie słoneczne na ogniwach[626]. Takie rozwiązanie pozwala zredukować aktywną powierzchnię ogniw w module, dzięki czemu szkło fotowoltaiczne może być tańsze i bardziej transparentne (fot. 186). Sun Phocus Technologies zamierza skomercjalizować innowacyjny produkt[627].

WYKORZYSTANIE ENERGII CIEPLNEJ

Częściowo transparentne przegrody BIPV umożliwiają przenikanie do wnętrza budynku promieniowania podczerwonego będącego nośnikiem energii cieplnej[628]. Zyski energii słonecznej mogą być wykorzystane w celach grzewczych. Szczególnie efektywne są w tym wypadku odpowiednio nachylone względem Słońca szklane fasady BIPV, funkcjonujące jednocześnie jako aktywny i pasywny system pozyskiwania energii solarnej. Takie rozwiązanie zastosowano m.in. w Solar-Fabrik we Freiburgu (V/008). Akumulowane w masie materiałów konstrukcyjnych ciepło rozprowadzane jest we wnętrzu. Pasywne zyski energii w przeszklonym holu pokrywają ~15% zapotrzebowania na energię do ogrzewania kompleksu[629].

3.4.2.
MINIMALIZACJA STRAT ENERGII

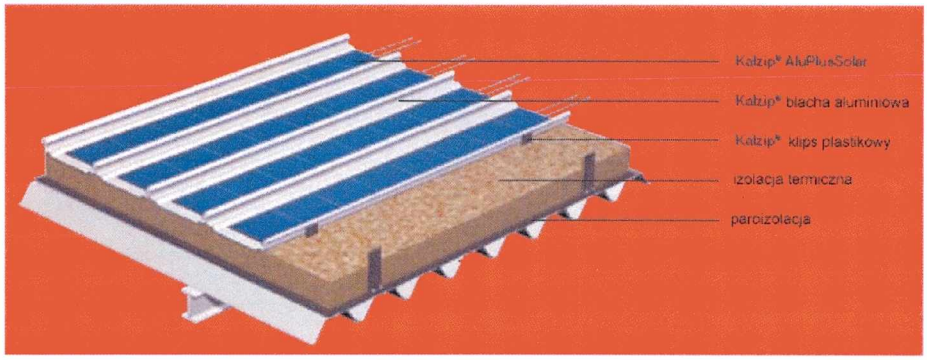
Minimalizacja strat energii wiąże się głównie z redukcją strat termicznych przez zewnętrzne przegrody, a pośrednio także z ograniczeniem zużycia energii konwencjonalnej na potrzeby oświetlenia, ogrzewania i chłodzenia budynku.

Redukcja strat energii cieplnej zależy m.in. od współczynnika przenikania ciepła U [W/m^{2}K]. Kwestia izolacji termicznej może zostać rozwiązana w różny sposób, w zależności od budowy przegrody BIPV.

W wielowarstwowych strukturach wentylowanych gdzie moduły fotowoltaiczne tworzą zewnętrzną okładzinę (pokrycie), stosowana jest normalna warstwa ocieplenia ściany (dachu). Pomiędzy nią a tylną stroną okładziny zapewniony jest naturalny lub wymuszony przepływ powietrza. Wentylacja nagrzewających się w trakcie funkcjonowania modułów PV jest niezbędna dla materiałów krystalicznych, ale już dla amorficznych (a-Si), czy coraz bar-

[626] http://www.sunphocus.com/.
[627] Sondaż przeprowadzony w 250 firmach architektonicznych (w USA i Europie) pokazał duże zainteresowanie projektantów i właścicieli budynków tego rodzaju materiałem budowlanym. Ibid.
[628] Naturalnie pod warunkiem, że nie zastosowano powłok odbijających promieniowanie podczerwone.
[629] *Solar Factory in Freiburg*, in: DETAIL 3/1999, s. 410.

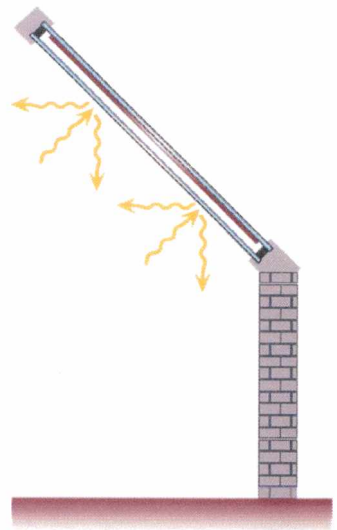
dziej popularnych okładzin CIS i innych cienkowarstwowych materiałów nie jest konieczna (rys. 61).



Rys. 61. Kalzip®AluPlusSolar, prod. Corus Bausysteme GmbH.

Technologia cienkowarstwowych laminatów z krzemu amorficznego Uni-Solar® pozwala na bezpośrednią integrację z izolowanymi termicznie płytami elewacyjnymi (dachowymi) typu sandwicz[630] (tablice C/9).

Wraz ze wzrostem zainteresowania problemem kontroli przepływu energii przez powłoki budynku oraz zwiększonym użyciem szkła w ich konstrukcji, przemysł budowlany wprowadza coraz bardziej wyszukane produkty. Wśród nich jest szkło fotowoltaiczne. Dla redukcji strat energii moduły PV integrowane są ze szkłem izolacyjnym, szklane materiały pokrywane są też różnymi powłokami (wyłącznie z tylnej strony ogniw fotowoltaicznych)[631]. Nowoczesne produkty BIPV, jak np. ASI THRU® z podwójnym szkleniem, osiągają wartość współczynnika U porównywalną do wysokiej jakości konwencjonalnego szklenia[632] (tab. 9). Mogą być więc odpowiednim materiałem nawet na dużych powierzchniach fasad, bez poświęcania ich komfortu termalnego, a dodatkowo z zyskiem energii elektrycznej (rys. 62).



Rys. 62. ASI THRU® z podwójnym szkleniem, prod. RWE SCHOTT Solar. Odpowiednia izolacja termiczna zapobiega stratom ciepła przez przegrodę w okresie zimowym.

Rodzaj szklenia	U (W/m²K)
Pojedyncze szklenie lub szkło laminowane	5-6
Podwójne szklenie bez pokrycia warstwą niskoemisyjną	2,7
Podwójne szklenie z pokryciem warstwą niskoemisyjną	1,2
Podwójne szklenie PV – ASI THRU®	1,2

Tab. 9. Porównanie wartości współczynnika przenikania ciepła U dla różnych typów szkła konwencjonalnego i fotowoltaicznego (ASI THRU®). Na podst. RWE Schott Solar.

Kwestia minimalizacji strat energii wiąże się też z ograniczeniem zużycia energii konwencjonalnej na potrzeby oświetlenia, ogrzewania i chłodzenia budynku. Odpowiednio zaprojektowana przegroda BIPV regulująca przepływ energii pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i wewnętrznym może efektywnie wspomagać całościowy system energetyczny budynku[633].

3.4.3. KRYTERIA KOMFORTU, ŚRODOWISKO WEWNĘTRZNE

Jednym z głównych zadań powłoki budynku jest zapewnienie ochrony i komfortu jego użytkownikom. Jest ona pierwszym elementem regulującym zewnętrzne warunki i zmieniającym je odpowiednio do wymaganych para-

[630] Patrz rozdz. IV/2.2.3.
[631] Patrz rozdz. IV/2.2.1.
[632] http://www.schott.com/photovoltaic.
[633] Np. poprzez zastosowanie szkła fotowoltaicznego z HOE, lub odzysk ciepła zza modułów.

metrów. Fasadowe instalacje BIPV mogą wpływać na optymalizację komfortu środowiska wewnętrznego na wiele sposobów, redukując przy tym zapotrzebowanie na energię konwencjonalną wykorzystywaną w mechanicznych systemach (wentylacji, ogrzewania, chłodzenia, oświetlenia).

TEMPERATURA WNĘTRZA

Przegroda BIPV wpływa na temperaturę powietrza w pomieszczeniu zależnie od rodzaju konstrukcji i materiałów z jakich jest wykonana. Regulacja przepływu energii cieplnej wiąże się z optymalizacją zysków ciepła (maksymalizacją lub redukcją) oraz ograniczeniem jego strat.

Funkcjonujące urządzenia PV nagrzewają się i emitują ciepło w kierunku wnętrza. Materiały semitransparentne dodatkowo przepuszczają pewną ilość energii cieplnej z promieniowania solarnego. Ciepło można odzyskać i wykorzystać zarówno do ogrzania pomieszczeń, jak i chłodzenia.

Zastosowanie szkła w elewacjach w okresie największego nasłonecznienia wiąże się często z problemem nadmiernego wzrostu temperatury w budynku. Częściowo transparentne materiały BIPV pozwalają tego uniknąć, pomimo iż fasady zorientowane są zazwyczaj w kierunku południowym i ukształtowane tak, aby zapewnić maksymalne zyski energii solarnej dla konwersji fotowoltaicznej. Nowoczesne szkło BIPV pokrywane jest specjalnymi powłokami o absorpcji selektywnej, które blokują promieniowanie podczerwone. Regulację temperatury zapewniają także różnorodne systemy zacieniające z użyciem materiałów fotowoltaicznych, które chroniąc od Słońca redukują nadmierne zyski ciepła.

Z kolei izolowane termicznie struktury BIPV (płyty warstwowe zintegrowane z laminatami PV, szkło izolacyjne, itd.) wpływają na temperaturę wnętrza ograniczając straty ciepła przez przegrodę.

TEMPERATURA POWIERZCHNI PRZEGRODY ZEWNĘTRZNEJ

Struktura przegrody i materiały z jakich jest ona wykonana, powinny mieć na całej powierzchni podobną temperaturę (dopuszczalne odchylenie pomiędzy poszczególnymi fragmentami wynosi ~4° C)[634]. Ponieważ funkcjonujące moduły PV nagrzewają się (w systemach zintegrowanych pracują w szczególnie wysokich temperaturach), ich połączenie z innymi materiałami musi uwzględniać kwestie rozszerzalności termicznej materiałów. Dlatego też dąży się do odzysku ciepła z nagrzewających się modułów PV i wykorzystania go do innych celów lub ewentualnie oddawania go do otoczenia[635].

RUCH POWIETRZA, WILGOTNOŚĆ

Ruch powietrza i utrzymanie odpowiedniej wilgotności są bardzo ważne dla komfortu wnętrza. Ponieważ moduły fotowoltaiczne nagrzewają się,

[634] CELADYN W., Przegrody..., s. 17.
[635] Patrz rozdz. IV/3.4.1.

przepływ powietrza z ich tylnej strony (naturalny poprzez konwekcję lub wymuszony przy użyciu systemów mechanicznych) jest szczególnie korzystny. Ciepło odzyskane z modułów wykorzystano w systemie wentylacji m.in. w ISPRA w budynku instytutu ELSA - seria „kominów" w strukturze fasady umożliwia tam konwekcyjny przepływ powietrza[636] (V/005).

Zdolność przegrody do przepuszczania powietrza jest bardzo ważna, ponieważ zapobiega kondensacji pary wodnej. W wielu nowoczesnych rozwiązaniach przegród, np. w systemach szklanych fasad, nadmierna szczelność ogranicza przewietrzanie, wówczas konieczne jest zastosowanie systemów wentylacji mechanicznej.

OŚWIETLENIE NATURALNYM ŚWIATŁEM DZIENNYM

Systemy BIPV stanowiące integralny fragment zewnętrznej przegrody mogą mieć istotny wpływ na kształtowanie warunków oświetlenia wnętrza światłem dziennym. Obejmuje to kwestie związane z intensyfikacją lub redukcją światła oraz zapewnieniem odpowiedniej równomierności.

Nieprzeźroczyste moduły PV (lub zintegrowane z nieprzeźroczystym materiałem budowlanym) blokują całkowicie dostęp światła naturalnego. Częściowo transparentne materiały przepuszczają promienie słoneczne i mogą być użyte do regulowania oświetlenia w dwojaki sposób: doświetlając lub zacieniając. Poza zapewnieniem optymalnych warunków dla komfortu psychofizycznego człowieka pozwalają ograniczyć zużycie energii konwencjonalnej dla sztucznego oświetlenia, a co za tym idzie także kosztów.

W halach industrialnych o dużych powierzchniach rzadko stosowane jest boczne oświetlenie, zazwyczaj wykorzystuje się górne w postaci świetlików, szklanych dachów (fot. 187), pasm świetlnych. Jest ono korzystniejsze ze względu na bardziej równomierne natężenie światła. Ogniwa zintegrowane z transparentnym fragmentem świetlika efektywnie wspomagają oświetlenie wnętrza. W fabryce APS zastosowano w tym celu szklane moduły z krzemu amorficznego. Transmitując 5% promieniowania zapewniają one komfortowe warunki w miejscu pracy[637] (V/003). Na większych powierzchniach, takich jak atria czy szklane dachy, materiały fotowoltaiczne skutecznie chronią od nadmiernego nagrzewania i oślepienia.



Fot. 187. Magazyn Mizushima, Japonia. Moduły typu Light Thru (prod. MSK) zastosowano dla doświetlenia wnętrza budynku i generacji energii elektrycznej. W ten sposób zredukowano zużycie konwencjonalnej energii dla sztucznego oświetlenia.

Miejsce i sposób integracji, a także technologia i budowa materiału determinują ilość przedostającego się do wnętrza światła oraz jego równomierność. Dla przykładu szkło fotowoltaiczne z ogniwami cienkowarstwowymi (a-Si) japońskiej firmy MSK transmituje 1, 5 lub 10 % światła (tablice C/6.6). Moduły CIS produkowane na zamówienie przez Würth Solar mogą przepuszczać maksymalnie nawet 50%.

[636] BAZILIAN M. D. et al., *Photovoltaic...*, s. 61.
[637] KISS G., KINKEAD J., *Optimal...*, s. 5.



Fot. 188. Isofotón, Malaga (arch. J. Vega, F. Arribas, I. Eyras, 2005). Szklana fasada z transparentnymi laminatami typu szkło-folia.

Światło słoneczne przechodzące przez semitransparentne materiały BIPV ulega rozproszeniu tworząc komfortowe, „miłe dla oka" warunki oświetleniowe wewnątrz budynku. Projektanci muszą jednak brać pod uwagę funkcję użytkową strefy bezpośrednio przylegającej do przepuszczającej światło przegrody BIPV. Moduły z rozsuniętych, nieprzeźroczystych ogniw krystalicznych powodują charakterystyczny efekt szachownicy światła i cienia. W niektórych wypadkach może być to pożądany element kształtujący estetykę, kreujący niecodzienny charakter wnętrza, jednak tego typu rozwiązanie dobrze sprawdzi się głównie w miejscach rekreacji i komunikacji (fot. 189, V/016), ewentualnie w strefie administracyjno-biurowej (fot. 188) czy magazynowej (fot. 187). Miejsca pracy o charakterze produkcyjnym wymagają bardziej jednorodnego, stałego oświetlenia.



Fot. 189. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer+Architekten BDA, Hegger Hegger Schleiff, 2001-2002). Światło słoneczne przechodzące przez szklaną fasadę BIPV z rozsuniętymi ogniwami krystalicznymi tworzy we wnętrzu silne kontrasty światła i cienia.

Struktury BIPV z semitransparentnymi ogniwami cienkowarstwowymi zapewniają bardziej jednolite światło (fot. 190, V/019).



Fot. 190. SmartSolarFab®, Alzenau (2002). Szklana fasada BIPV z modułami cienkowarstwowymi z krzemu amorficznego (ASI THRU, RWE Schott Solar).

KONTROLA NASŁONECZNIENIA

Coraz większe przeszklenia ścian zewnętrznych z jednej strony poprawiają oświetlenie, z drugiej pogarszają warunki z powodu zmienności promieniowania, oślepiania i przegrzewania wnętrza. Kwestia jednoczesnej intensyfikacji oświetlenia światłem dziennym i redukcji ciepła stanowi zazwy-

czaj pewnego rodzaju konflikt, do czego dochodzi jeszcze problem zapewnienia widoku na zewnątrz. Wielofunkcyjne systemy BIPV mogą efektywnie spełniać wszystkie wymienione zadania. Ich zastosowanie umożliwia przy tym ograniczyć zużycie energii na potrzeby chłodzenia, wentylacji, oświetlenia budynku, przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu jego użytkownikom.

Ponieważ umieszczenie ogniw fotowoltaicznych w szkle redukuje ilość przedostającego się światła, w niektórych wypadkach niepotrzebne są już dodatkowe zabiegi. W centrum badawczym ECN 42 zastosowanie szkła fotowoltaicznego z rozsuniętymi ogniwami z krzemu monokrystalicznego pozwoliło zredukować transmisję promieniowania słonecznego o 70 % w porównaniu do zwykłego szkła[638]. W fabryce Scheuten Solar zmienny rozstaw ogniw w zakrzywionej strukturze w zależności od miejsca zwiększa lub ogranicza dostęp promieni słonecznych do wnętrza budynku (V/011).

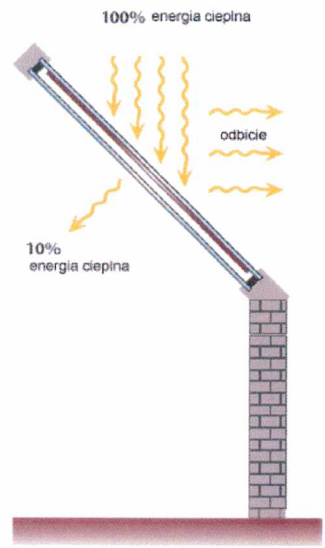
Nowoczesne pokrycia BIPV pokrywane są powłokami o absorpcji selektywnej, które umożliwiają rozdział fal świetlnych i termicznych (rys. 63).

Rodzaj szklenia	g (%)
Pojedyncze szkło	~80
Podwójne szklenie bez powłoki	~80
Podwójne szklenie z powłoką	30-70
Podwójne szklenie PV – ASI THRU	10

Wyjątkowo korzystne jest zintegrowanie ogniw z systemami zacieniającymi (w formie zadaszeń, żaluzji poziomych lub *brise-soleil*). Taka kombinacja jest jak najbardziej logiczna - ustawione idealnie względem słońca elementy pozwalają regulować oświetlenie, chronić od przegrzania i oślepienia, wykorzystując przy tym optymalnie energię solarną dla konwersji fotowoltaicznej. Latem zacienianie pomieszczeń redukuje jednocześnie obciążenie związane z koniecznością ich chłodzenia, zimą z kolei odpowiednio zaprojektowane systemy BIPV pozwalają promieniom słonecznym przedostawać się do środka ogrzewając i doświetlając wnętrze.

Dla integracji z fotowoltaiką odpowiednie są różnego rodzaju produkty komercyjne (tablice C/11, C/12), powstają też liczne rozwiązania indywidualne (V/003, V/007). W holenderskim laboratorium ECN 31 specjalny system zrealizowano po wielu symulacjach komputerowych i doświadczeniach z fragmentem w skali 1:1. Dla zapewnienia widoku na zewnątrz pracownicy mogą czasowo zmieniać położenie jednego z piór żaluzji, które samoistnie wraca do pierwotnego ustawienia, tzn. nachylenia pod kątem 37° (V/013).

Najbardziej efektywne są systemy ruchome[639] - podążając za ruchem Słońca maksymalnie wykorzystują jego promienie dla konwersji PV. Sterowane automatycznie elementy, obracane jedno- lub dwuosiowo, zasilane są energią elektryczną lub termohydraulicznie (fot. 191, 192). W 1999 na fasa-



Rys. 63. ASI THRU®, prod. RWE SCHOTT Solar. Szkło zintegrowane z ogniwami z krzemu amorficznego pozwala na dostęp światła naturalnego ograniczając jednocześnie przepływ energii cieplnej przez materiał.

Tab. 10. Wartości współczynnika przenikalności „g" dla różnego typu szkła. Im mniejsza wartość współczynnika, tym osłona efektywniejsza. Na podst. RWE Schott Solar.



Fot. 191. System Girasol, prod. Colt International Limited. Fotowoltaiczne żaluzje przeciwsłoneczne sterowane termohydraulicznie.



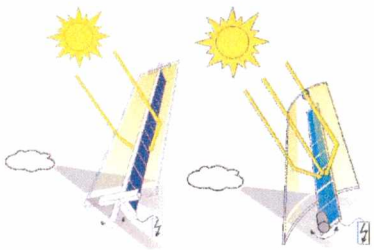
Fot. 192. Zakład uzdatniania wody Mühlenscharrn, Schwerin (arch. Roland Schulz, 1999). Fotowoltaiczny system przeciwsłoneczny – sterowane termohydraulicznie, obracane jednoosiowo szklane lamele BIPV w systemie Shadovoltaic, prod. Colt International Limited.

[638] REIJENGA T., *PV in...*, s. 5.

[639] Teoretycznie ruchomy, dwuosiowy system zyskuje dwa razy więcej energii Słonecznej w porównaniu do optymalnie zorientowanego elementu stałego. MÜLLER H. F. O., *Integration of photovoltaic in low energy buildings*, University of Sharjah Journal of Pure & Applied Sciences Volume 2, nr 2, Sharjah 2005, s. 4.

dzie zakładu uzdatniania wody Mühlenscharrn zrealizowano instalację BIPV o powierzchni ponad 250 m^2 (fot. 192, V/010) - system szklanych lameli *shadovoltaic* (tablice C/12.2) był wówczas jednym z dwóch w całej Europie. Mimo wysokiej skuteczności, ze względu na wysokie koszty systemy ruchome są wciąż rzadko wykorzystywane.

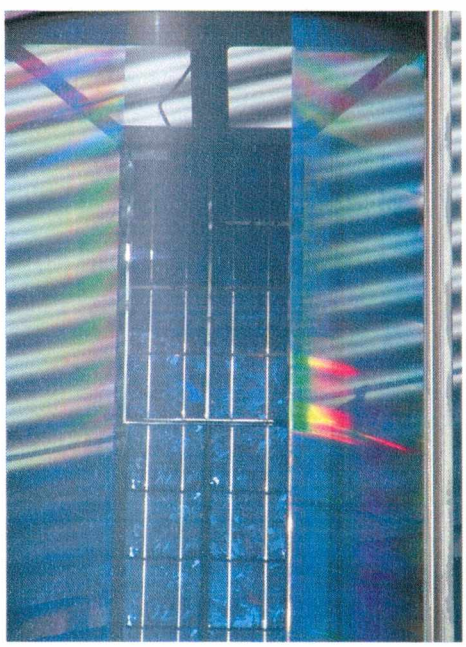
Efektywność fotowoltaicznego systemu zacieniającego można podnieść za pomocą hologramów. Filtrując promieniowanie nadają się one doskonale dla optymalizacji komfortu wnętrza. Holo-Volt® to rozwiązanie opracowane specjalnie dla materiałów BIPV – system chroni od Słońca koncentrując bezpośrednie promieniowanie słoneczne na ogniwach (rys. 64). Zwiększając zyski energii z konwersji PV jednocześnie umożliwia przejście do wewnątrz światła rozproszonego dla lepszego oświetlenia, ale bez przegrzewania i oślepiania. Tego rodzaju instalację zrealizowano na fasadzie fabryki Scheuten Solar w Gelsenkirchen (fot. 193-195, V/011).



Rys. 64. Holo-Volt®, prod. GLB. Systemy sterowanych, szklanych lameli zacieniających. HOE zwiększają efektywność systemu PV koncentrując bezpośrednie promieniowanie solarne na ogniwach.







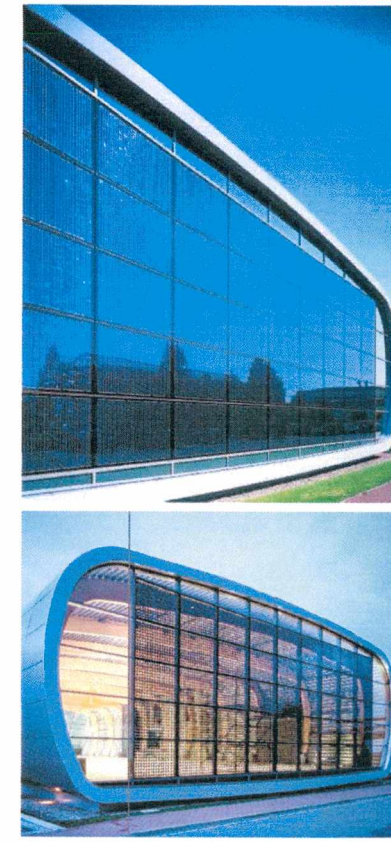
Fot. 193-195. Scheuten Solar Cells, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999). Na południowej fasadzie fabryki zainstalowano system zacieniający BIPV z holograficznymi elementami optycznymi (HOE) w postaci obracanych osiowo szklanych lameli Holo-Volt®. Folia holograficzna ukierunkowuje promienie słoneczne. Światło rozproszone przechodzi do wewnątrz, promienie prostopadłe do ogniw solarnych są uginane i absorbowane przez ogniwa, czego efektem jest wzrost wydajności energetycznej systemu fotowoltaicznego.

IZOLACJA AKUSTYCZNA

Izolacja akustyczna przegrody BIPV zależy od rodzaju materiału i struktury konstrukcyjnej przegrody.

WIDOCZNOŚĆ

Umożliwienie kontaktu wzrokowego pomiędzy dwiema strefami, zewnętrzną i wewnętrzną, jest jednym z elementów wpływających na komfort w miejscu pracy. W tych miejscach gdzie jest to możliwe, tzn. gdy działalność nie wymaga izolacji, należy umożliwić przynajmniej częściową widoczność. Przy aktualnym stanie technologii nie ma możliwości uzyskania przegrody BIPV o całkowitej transparentności. Półprzeźroczyste moduły w obudowie z materiałów przepuszczających światło umożliwiają jednak widoczność na wskroś[640]. Jej poziom zależy od rodzaju technologii – rozstawu ogniw (c-Si) lub rodzaju perforacji materiałów. Niezbędne jest więc odpowiednie dostosowanie systemu do potrzeb i charakteru wnętrza. Efekt częściowej transparentności odbierany przez obserwatora zależy dodatkowo od jego usytuowania i kierunku głównego oświetlenia. Z tego powodu zupełnie innych cech nabierają semitransparentne fasady BIPV w ciągu dnia i nocą (fot. 196-197, V/009, V/014, V/017, V/019, V/025).



Fot. 196, 197. Tobias Grau, Rellingen (arch. BRT Architekten, 1998-2001). Szklana fasada BIPV w systemie Schüco z ogniwami z krzemu polikrystalicznego.

3.5.
WIZERUNEK FIRMY

„Niektóre fabryki po prostu nie chcą wyglądać na brudne" (ThyssenKrupp)

Dobra integracja systemu fotowoltaicznego zwiększa jakość budynku w aspektach funkcjonalno-użytkowych, technicznych, estetycznych. Tym samym wzbudza zainteresowanie, powoduje chęć naśladowania. Elewacja BIPV jest zwykle widoczna dla każdego, w wielu wypadkach pełni więc rolę demonstracyjną, edukacyjno-informacyjną (na temat technologii solarnej, możliwości integracji, materiałów budowlanych, itd.).

W ISPRA instalację fotowoltaiczną zrealizowano jako przykład możliwości modernizacji budynków z użyciem technologii OZE (V/005). Rolę demonstracyjną pełni też m.in. fasada budynku Tobias Grau (fot. 196-197), czy szklana ściana z okrągłymi ogniwami fotowoltaicznymi japońskiego laboratorium Tsukuba OSL (V/017).

Jako element strategii marketingowej instalacja BIPV wyraża także postępowość i proekologiczny charakter przedsiębiorstwa[641]. Jednocześnie reklamuje przyjazne środowisku rozwiązania oraz nowatorskie produkty firm solarnych i materiały budowlane.

[640] Zastosowanie modułów nieprzeźroczystych ogranicza oczywiście całkowicie kontakt z otoczeniem.
[641] Patrz rozdz. II/2.2.

4.
ESTETYKA POWŁOKI BIPV

„Niektóre z tych budowli są piękne, ale niektóre wyglądają jak żarówka, którą ktoś zapomniał wyłączyć w ciągu dnia, albo jak telefon dzwoniący w pustym mieszkaniu"
(Jonathan Carroll)

Jedną z największych zalet technologii BIPV jest potencjał wizualnej ekspresji. W rezultacie ewolucji materiałów fotowoltaicznych i możliwości ich integracji z powłoką w sektorze industrialnym rozwija się specyficzna estetyka i nowa jakość współczesnych budynków – tzw. *„ekologia dla oczu"* wg słów słynnego kolorysty Friedricha Ernsta von Garniera.

4.1.
INTEGRACJA Z ARCHITEKTURĄ W ASPEKCIE JAKOŚCI ESTETYCZNEJ

„Bez sztuki wszystko upada, ponieważ ludzie nigdy nie zechcą nieestetycznego budynku, niezależnie od całej techniki, jaką będzie posiadał". (James Wine)

Integracja fotowoltaiki z powłoką budynku jest dla projektantów dużym wyzwaniem. Powiązanie elementów systemu PV z architekturą powoduje wzajemne oddziaływania na różnych płaszczyznach – wywiera wpływ na efektywność energetyczną, cechy funkcjonalno-użytkowe obiektu, a także jego jakość w aspekcie estetycznym. Dlatego też interakcja pomiędzy solarną technologią a architekturą jest niezwykle ważna dla sprawnego funkcjonowania całości - źle zintegrowany system PV będzie nie tylko przeszkadzał w sprawnym użytkowaniu budynku, ale też psuł jego obraz[642].

Odpowiedni projekt powinien spełniać wysokie standardy, co dotyczy zarówno parametrów technicznych, jak i kwestii wizualnych. W praktyce dążność do osiągnięcia wysokiej jakości technicznej systemu BIPV nie zawsze idzie jednak w parze z jakością architektoniczną. W pierwszych realizacjach integracja fotowoltaiki z budynkiem bywała często przypadkowa i pod względem estetycznym rozczarowująca. Wówczas wynikało to głównie z braku odpowiednich możliwości technicznych i technologicznych - zwykłe moduły PV nakładano po prostu na istniejącą strukturę. Obecnie, gdy dostępne są w zasadzie nieograniczone możliwości jeśli chodzi o wybór materiałów, me-

[642] Tjerk Reijenga z BEAR Architecten podkreśla konieczność powiązania jakości systemu PV z jakością samego budynku – źle zaprojektowany obiekt nie będzie wyglądał lepiej, gdy doda się do niego dobrze zaprojektowany system fotowoltaiczny. REIJENGA T., *PV...*, s. 3.

tod mocowania itd., wciąż pozostaje problem wysokich kosztów, braku wiedzy i umiejętności projektantów, złej koordynacji pomiędzy specjalistami z różnych branż, nieodpowiedniego zrozumienia wzajemnych potrzeb.

Aby rezultat ocenić pozytywnie, muszą zostać spełnione liczne wymagania. Z pewnością dla każdego przypadku kwestię jakości należy rozpatrywać indywidualnie. Inne działania będą optymalne w przypadku budowy nowego obiektu, inne podczas renowacji obiektu historycznego, czy dodawania systemu do istniejącej struktury w trakcie remontu lub modernizacji.

Analiza jakości architektonicznej systemu BIPV wymaga rozróżnienia pomiędzy jego jakością techniczną, budowlaną (konstrukcyjną) i czysto estetyczną. Dwa pierwsze aspekty, niezbędne dla funkcjonowania instalacji oraz samego budynku, można obiektywnie ocenić. Estetyka nie jest warunkiem koniecznym[643]. Ponieważ odbiór wizualny to kwestia zdecydowanie subiektywna, w tym wypadku trudno o jednoznaczną interpretację. W ramach programu badawczego IEA PVPS Task VII międzynarodowa grupa projektantów podjęła jednak próbę określenia podstawowych kryteriów architektonicznych, które mają być pomocne w ocenie i dyskusji na temat jakości estetycznej. Wg nich *„dobry projekt BIPV"* cechuje[644]:

- Naturalna integracja – system BIPV tworzy logiczną, naturalną część budynku i dopełnia całości, co nie znaczy, że musi się wyraźnie rzucać w oczy;
- Przyjemna dla oka architektura – atrakcyjny wygląd przyciąga wzrok, wywołuje zainteresowanie, ale jest to kwestia bardzo subiektywna;
- Dobra kompozycja – kolor, tekstura i inne cechy materiałów BIPV pozostają w harmonii z innymi elementami powłoki;
- Odpowiednia siatka, harmonia, kompozycja – wymiary systemu dostosowane są do siatki modularnej budynku;
- Dobre wpisanie w kontekst – całokształt obrazu jest harmonijny, sposób integracji i rodzaj systemu oraz jego parametry są odpowiednio dobrane do charakteru budynku;
- Odpowiednie wykonanie – wysoka jakość elementów, konstrukcji, detalu;
- Innowacyjność – BIPV jako nowoczesna technologia wymaga kreatywnego i innowacyjnego podejścia architektów. Nowe pomysły są potrzebne, wpływają bowiem na rozwój rynku fotowoltaiki i dalszy postęp technologii.

W obiektach przemysłowych, zwłaszcza tych najbardziej typowych „blaszanych pudełkach", integracja fotowoltaiki najczęściej polega wciąż na dodawaniu do powłoki (szczególnie do dachu) standardowych modułów PV,

[643] Ibid. s. 8.
[644] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 27-28.

bez specjalnych zabiegów formalnych. W ostatnich latach zmienia się jednak zarówno charakter samej architektury industrialnej[645], jak i podejście do integracji systemów solarnych. Rozwój możliwości techniczno-materiałowych na rynku BIPV, wzrost wiedzy na temat technologii wśród projektantów, wreszcie rosnące wymagania, co do jakości powłoki budynku przemysłowego przyczyniają się do realizacji coraz bardziej zróżnicowanych i interesujących wizualnie instalacji.

4.2.
RÓŻNORODNOŚĆ PRODUKTÓW

„Wiemy, że projektanci chcą mieć wybór"
(MSK Corporation)

Jeszcze do niedawna rynek komercyjny oferował bardzo wąską gamę produktów fotowoltaicznych dla integracji z budynkiem. Wizualny aspekt dostępnych materiałów BIPV zdeterminowany był rozwiązaniami technicznymi, przemysłowymi i ekonomicznymi. W konsekwencji, ze względu na ograniczone możliwości i niskie walory estetyczne wielu potencjalnych zainteresowanych (zarówno projektantów jak i inwestorów) rezygnowało z aplikacji solarnej technologii. Z biegiem lat coraz bardziej zdawano sobie jednak sprawę ze znaczenia wyglądu poszczególnych komponentów generatora PV i jego roli w dalszej ewolucji i upowszechnieniu fotowoltaiki. Znaczący postęp technologii w latach 90. wzbudził zainteresowanie w środowisku projektantów. Architekci tacy jak Steven Strong z Solar Design Associates (SDA)[646] czy Kiss + Cathcart[647] zaangażowali się w rozwój nowych produktów BIPV, ich zróżnicowanie i optymalizację pod kątem estetycznym.

Aktualnie rynek komercyjny oferuje dość szeroki asortyment produktów, nieustannie ulepszanych i urozmaicanych. Obok standardowych materiałów BIPV coraz częściej na indywidualne zamówienie wytwarzane są produkty specjalne (specjalistyczne)[648], spełniające nawet bardzo wysokie i niecodzienne wymagania architektów lub użytkowników budynku.

Jak pokazuje praktyka, niejednokrotnie producenci są mylnie przekonani, że ich produkty są idealne, a z drugiej strony architekci nie zawsze zdają sobie sprawę z możliwości, jakie oferuje dana technologia i nie wykorzystują całego jej potencjału. Niezbędny jest zatem odpowiedni kontakt

---

[645] Patrz rozdz. II.
[646] Patrz rozdz. III/2.3.1.
[647] Wraz z firmą Energy Photovoltaics (EPV) prowadzili badania mające na celu optymalizację estetyki oraz zwiększenie różnorodności elementów BIPV dla ich lepszej akceptacji i upowszechnienia w środowisku projektantów. Rozwinęli paletę nowych materiałów, a także metody produkcji specjalistycznych elementów o wymiarach dostosowywanych do różnych konstrukcji ścian kurtynowych. KISS AND CATHCART ARCHITECTS, *Transparent...;* http://www.kisscathcart.com/indx.html.
[648] Patrz rozdz. IV/2.

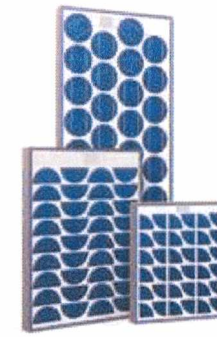
pomiędzy stronami, wzajemne zrozumienie potrzeb oraz interakcja pomiędzy wszystkimi uczestnikami procesu projektowego i inwestycyjnego.

Z różnych komponentów systemu fotowoltaicznego moduły PV są najbardziej widocznymi, podstawowymi elementami dla integracji z budynkiem. Stanowiąc integralną część zewnętrznej przegrody, w kwestii walorów estetycznych znajdują się w samym centrum uwagi. Ich wielkość, kształt, kolor, materiał, struktura, transparentność, w różny sposób wpływają na ukształtowanie wyglądu budynku[649]. Chociaż technologie produkcji i sposób budowy są ściśle określone, projektanci mają możliwość wyboru poszczególnych komponentów i ich parametrów, przez co w rezultacie uzyskują bardzo zróżnicowane efekty wizualne. Obejmuje to elementy takie jak:

- Materiał i struktura ogniw[650];
- Wielkość i kształt ogniw (tablice A/1)[651];
- Kolor ogniw (tablice A/2);
- Struktura i kolor układów elektrycznych (tablice A/3);
- Układ ogniw w module (tablice B/2);
- Przednia warstwa obudowy modułu[652];
- Tylna warstwa obudowy modułu;
- Kształt i wielkość modułu (tablice B/3);
- Obramowanie modułu (lub jego brak);
- Elementy instalacji elektrycznej (tj. falowniki, okablowanie, itd.)[653].

Dodatkowo postęp technologii pozwolił na integrację modułów PV z wieloma rodzajami konwencjonalnych materiałów budowlanych. Poszczególne produkty, np. okładziny elewacyjne, dachówki, gonty (fot. 199), giętkie blachy (fot. 200), tworzywa sztuczne, częściowo transparentne szkło fotowoltaiczne, itd., prezentują zupełnie odmienne aspekty wizualne. Możliwość doboru parametrów wg potrzeb oraz różnorodność rozwiązań (tablice C) przyczyniają się do wzrostu zainteresowania fotowoltaiką i jej szerszego zastosowania we współczesnej architekturze, w której kompleksowe powłoki muszą odpowiadać coraz wyższym standardom.

Dla architektów kwestie estetyczne są często najważniejszym aspektem instalacji fotowoltaicznej. Jak pokazuje praktyka, coraz częściej jest to również bardzo ważne dla inwestora. Pamiętać jednak należy, że dobór elementów pod kątem wizualnym musi być zawsze połączony z właściwościami technicznymi i funkcjonalnymi systemu BIPV. Czasami wzajemnie się one wykluczają, dlatego tak ważna jest współpraca specjalistów z różnych dzie-



Fot. 198. Przykład różnych kształtów ogniw i ich ułożenia w module, prod. Heliodinamica.



Fot. 199. Gont fotowoltaiczny, prod. Solarcentury.



Fot. 200. Giętki pas blachy solarnej Solar Flex, prod. Euro Progetti Professional.

[649] Dzięki swoim właściwościom mogą one nawet kształtować wygląd wnętrza - moduły semitransparentne czy kolorowe filtrują naturalne światło tworząc grę światłocienia i inne efekty optyczne wewnątrz budynku.
[650] Patrz rozdz. III/4.1.
[651] Nowe kształty ogniw to interesująca alternatywa, która jednak wiąże się ze wzrostem kosztów i spadkiem efektywności - m.in. dlatego, że ogniwa o innych niż standardowe kształtach trudno optymalnie ułożyć na powierzchni modułu.
[652] Patrz rozdz. 2.2.1.
[653] Ważnym elementem dla estetyki mogą być w niektórych wypadkach elementy instalacji elektrycznej dotyczy to głównie szklanych fasad, gdzie bywają one widoczne.

dzin oraz obszerna wiedza na temat możliwości, jakie oferuje współczesna technika i technologia.

Jeżeli fotowoltaika ma być wykorzystywana we współczesnej architekturze, a w przyszłości na znacznie większą skalę, niż dotychczas, musi wzbudzać zainteresowanie projektantów oraz inwestorów. Z pewnością więc jakość i różnorodność komercyjnych produktów musi być dalej poszerzana i optymalizowana.

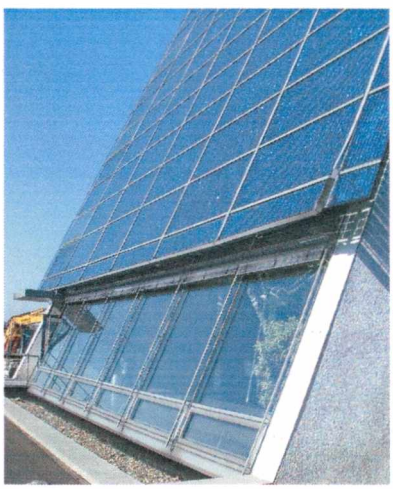
4.3.
ELEMENTY KSZTAŁTUJĄCE ESTETYKĘ BIPV

„Architektura polega na zachowaniu trzech zasad: trwałości, użyteczności i piękna"
(Witruwiusz)

Technologia BIPV wpływa na ukształtowanie przestrzenne i plastyczne budynku oraz jego powłoki. Różnorodność opcji materiałowych i kompozycji elementów zapewniają szerokie pole dla działań architektonicznych.



Fot. 201. Centrum recyklingu, Pont de Vilomara i Rocafort (arch. Siliken, 2003). Górny pas wydłużonej elewacji południowej ze szklanych modułów PV.



Fot. 202. SMA budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer+Architekten BDA, 2001-2002). Pochylona szklana fasada z częściowo transparentnych modułów PV.

4.3.1.
KOMPOZYCJA PRZESTRZENNA

Kwestia maksymalizacji zysków z promieniowania słonecznego dla konwersji fotowoltaicznej wpływa na cechy przestrzenne budynku. Optymalne ustawienie modułów fotowoltaicznych względem Słońca wiąże się z ich odpowiednią orientacją i nachyleniem oraz z takim ukształtowaniem struktury, aby nic nie zacieniało powierzchni aktywnej. Może się to objawiać np. wydłużoną lub nachyloną, silnie wyeksponowaną elewacją południową (fot. 201, 202).

Przestrzenny charakter powłoki BIPV zależy też od sposobu integracji modułów. Gdy zastępują one konwencjonalne komponenty struktury lub są z nimi trwale połączone, efekt będzie zupełnie inny, niż kiedy doda się coś do istniejącej konstrukcji. Moduły fotowoltaiczne znajdują się w płaszczyźnie przegrody lub w pewnym oddaleniu od niej, co wpływa na ostateczną jej grubość, kształt i formę.

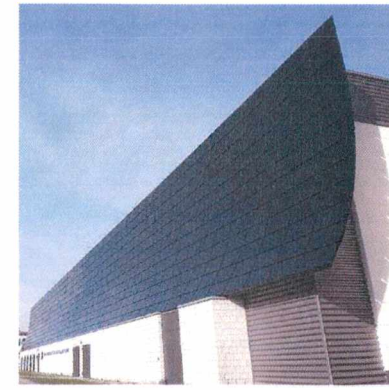
Ponieważ nowoczesne materiały fotowoltaiczne pracują nawet w gorszych warunkach nasłonecznienia, moduły mogą tworzyć integralny element zarówno typowej wertykalnej elewacji hali przemysłowej (fot. 201), jak i korzystniejszej w aspekcie energetycznym struktury nachylonej (fot. 202). Przegrody skośne bądź zakrzywione realizowane są nie tylko dla optymalizacji zysków z energii solarnej, ale i ze względów formalnych, estetycznych.

Zazwyczaj projektowane są w strefie wejściowej, reprezentacyjnej, jako najbardziej charakterystyczny element architektoniczny obiektu.

Ewentualna zmiana zakrzywienia płaszczyzny elewacji stanowi pewne utrudnienie ze względu na różny kąt padania promieni słonecznych na poszczególne moduły PV. Tego typu konstrukcje są jednak realizowane i jak pokazuje praktyka efektywnie funkcjonują (fot. 203, 209, fabryki V/011, V/014, V/022). Szczególne możliwości architektoniczne pojawiły się wraz z rozwojem technologii giętkich laminatów cienkowarstwowych, które można osadzać na powierzchniach każdego kształtu, także wklęsłych lub wypukłych (fot. 204).

Innym rozwiązaniem jest umieszczenie elementów BIPV pod kątem w stosunku do pozostałych komponentów fasady (powłoki) – w ten sposób kształtowane są np. pasy okładzin między kondygnacjami (V/002).

Najbardziej „rozrzeźbione" formy przestrzenne powstają w wyniku zamocowania paneli fotowoltaicznych w pewnej odległości od głównej płaszczyzny fasady (powłoki) - równolegle (fot. 206) lub pod innym kątem. Dotyczy to m.in. różnego rodzaju struktur specjalnych dodawanych do powłoki, tzn. zadaszeń, żaluzji, ekranów, itp. (fot. 205, V/007).



Fot. 203. Sulfurcell, Berlin Adlershof. Zakrzywiona fasada BIPV z modułów CIS.



Fot. 204. EnCon EnergieConcept, Kell am See (2006).





Fot. 205. Zakład oczyszczania miasta EBK Konstanz, Konstanz (arch. Schaudt Architekten BDA, 1996-97).

Fot. 206. Budynek firmy Fischer, Waldachtal (2001).

4.3.2.
WIDOCZNOŚĆ

W zależności od rozwiązania elewacja fotowoltaiczna może wywoływać u odbiorcy słabsze lub silniejsze wrażenia wizualne.

Dobrze wkomponowana w architekturę, „bezszwowa"[654] integracja nie rzuca się specjalnie w oczy (fot. 207). Czasami, z pewnej odległości instalacja BIPV może być wręcz niezauważalna.



Fot. 207. Lamy, Heidelberg (arch. BFK + Partner Architekten). Jaśniejsze pola szklanej elewacji tworzą moduły PV.

[654] Ibid. s. 27.



Fot. 208. „Helmut List" - dawna hala przemysłowa, Graz (arch. Markus Pernthaler, 2002).

Widoczność elementów systemu fotowoltaicznego może być ważnym i pozytywnym elementem kształtującym architekturę, w niektórych wypadkach będzie ona jednak nieodpowiednia - np. w budynkach zabytkowych (o określonych cechach architektonicznych), czy też wtedy, gdy zostanie po prostu źle zaprojektowana i wykonana.

Dodanie fotowoltaiki do określonego projektu lub charakterystycznego wizerunku architektonicznego prowadzi do osiągnięcia różnych rezultatów. Mniej lub bardziej widoczny system BIPV może dobrze współgrać z kontekstem, ale nie dominować (fot. 208) lub, jak w przypadku Scheuten Solar, wręcz przeciwnie - zdeterminować cały obraz budynku (fot. 209).



Fot. 209. Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Z lewej fabryka ogniw (arch. Hohaus & Partner, 1999) z prawej fabryka modułów.

Różnorodność kształtów, wielkości, kolorów, materiałów i sposobów integracji modułów fotowoltaicznych pozwala projektantom ukryć je lub zdecydowanie wyróżnić. Szkło fotowoltaiczne zintegrowane z typowym systemem fasady słupowo-ryglowej będzie zdecydowanie mniej widoczne niż np. zamontowane na zewnątrz ruchome lamele BIPV. Moduły polikrystaliczne ze względu na charakterystyczną strukturę ogniw silniej wyróżnią się w elewacji niż homogeniczne materiały z krzemu amorficznego. Z kolei coraz bardziej powszechne i uznawane za „eleganckie", cienkowarstwowe moduły CIS są z pewnej odległości w zasadzie nie do odróżnienia od czarnego szkła budowlanego (fot. 210).



Fot. 210. AlkiTECHNIK, Ingolstadt (arch. Bachschuster, 2006). Czarna okładzina elewacji ze szklanych modułów CIS, prod. Würth Solar.

Zupełnie różne efekty związane są też z oświetleniem – dotyczy to materiałów semitransparentnych, które ujawniają swoją strukturę w zależności od miejsca obserwacji i kierunku głównego oświetlenia (fot. 211, 212).





Fot. 211-212. MSK Corporation, Nagano (arch. Ichikawa Sokuryo Sekkei, 2004). W fasadzie zastosowano trzy rodzaje szkła fotowoltaicznego o różnych poziomach transparentności (1, 5, 10%). W dzień jest to widoczne tylko od wewnątrz.

W elewacjach budynków przemysłowych widać dążenie do podkreślania aplikacji fotowoltaiki ze względów marketingowych i edukacyjnych. Obok prezentacji nowych technologii i produktów, jest to jednocześnie demonstra-

cja proekologicznego zaangażowania przedsiębiorstwa, podążania za postępem technologicznym. Z drugiej zaś strony rynek produktów BIPV rozwija koncepcje (tj. materiały, metody mocowania, itd.) mające na celu standaryzację i ujednolicenie rozwiązań, co prowadzi do kształtowania fasad BIPV na podobieństwo znanych, konwencjonalnych struktur[655].

Jak twierdzi James Wines, w obiektach o charakterze proekologicznym środki ekspresji często nie wychodzą poza konwencję modernistyczną, budynki te nie wyróżniają się własnym stylem[656]. Wykorzystanie fotowoltaiki do eksploracji nowych koncepcji architektonicznych wydaje się oczywiste - dzięki nieustannej ewolucji technologii, elementy systemu PV stały się innowacyjnymi, wielofunkcyjnymi materiałami budowlanymi. Ich dalszy rozwój i szersze zastosowanie powinno zatem prowadzić do nowatorskich rozwiązań i wykreowania nowego języka architektury.

4.3.3.
UKŁAD ELEMENTÓW

Zależnie od odległości i miejsca, które zajmuje obserwator, instalacja BIPV odbierana jest w różny sposób. Z większej odległości bardziej homogeniczna, z bliska będzie ukazywała o wiele więcej szczegółów - poszczególne panele fotowoltaiczne składają się bowiem z modułów, które z kolei zbudowane są z fotoogniw[657].

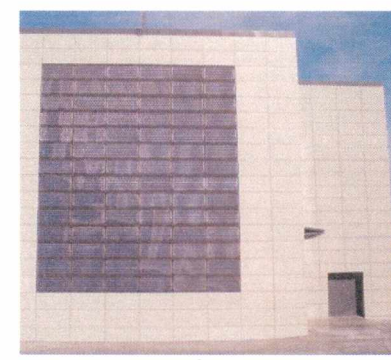
Modularność jest jedną z najbardziej znaczących i widocznych cech systemu fotowoltaicznego. Połączone ze sobą, powtarzalne elementy tworzą mniej lub bardziej zwarte kompozycje, pokrywają płaszczyzny rozmaitych kształtów i wielkości - od pojedynczych paneli okładzin, okien, żaluzji, pasów międzyokiennych, po cale pokrycia dachowe i fasadowe. Ograniczeniem jest wyłącznie odpowiednia powierzchnia na budynku spełniająca wymagania niezbędne dla sprawnego funkcjonowania systemu fotowoltaicznego.

Instalacje fotowoltaiczne stanowią zatem kolaż modularnych, powtarzalnych elementów. Stosując materiały BIPV nigdy nie uzyska się więc zupełnie jednolitej powierzchni, takiej jak np. beton[658]. Dzięki temu jednak istnieją nieograniczone wręcz możliwości kompozycyjne, jeśli chodzi o układ elementów – ich wielkość, odległości od siebie, nachylenie, zestawienie różnych kształtów, materiałów, kolorów, itd.

Ułożone horyzontalnie lub wertykalnie, przylegające do siebie elementy tworzą statyczną kompozycję (fot. 213, 214). Nachylone pod różnym kątem, obrócone lub rozsunięte moduły nadają fasadzie bardziej dynamiczny

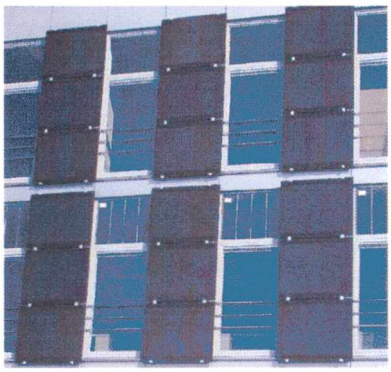


Fot. 213. Schniewindt, Neuenrade (arch. Karl Michael Krach).



Fot. 214. Tau Cerámica Taulell, Castellón (2007). Pierwsza w Hiszpanii fotowoltaiczno-ceramiczna fasada wentylowana. Laminaty PV i panele ceramiczne zaprojektowano specjalnie w tych samych wymiarach dla uzyskania estetycznego efektu ciągłości. Z drugiej strony materiały silnie odróżniają się od siebie kolorem.

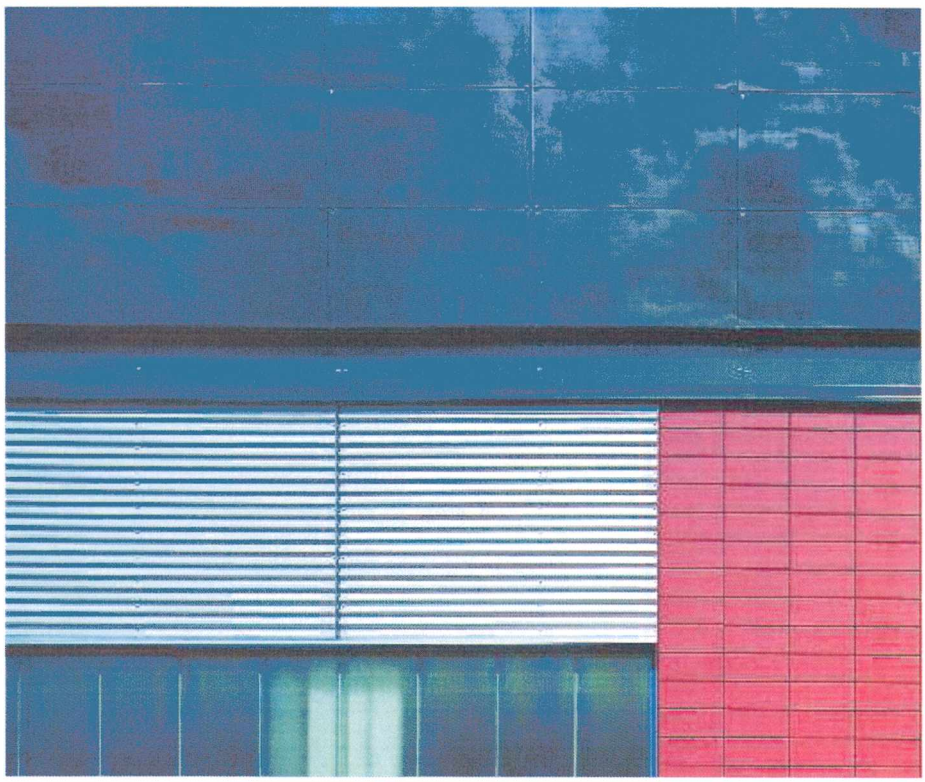
[655] Jak np. wspominane wcześniej szklane moduły cienkowarstwowe CIS, a-Si, produkowane w kształtach, rozmiarach i kolorach na podobieństwo konwencjonalnego szkła.
[656] WINES J., *Green...*, s. 132.
[657] HAGEMANN I. B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 134.
[658] Ibid. s. 140.



Fot. 215. Audi Ingolstadt, Ingolstadt (arch. pbb Architekten, 2004). Wentylowana fasada Voltarlux ze szklanych laminatów z krzemu amorficznego.

charakter (fot. 215). Ze względu na kwestię efektywności energetycznej i skrócenie okablowania, układ modułów jest zazwyczaj w miarę zwarty, choć odległości pomiędzy nimi można różnie kształtować. Rezultatem są mniej lub bardziej jednolite i monotonne kompozycje.

Rytmiczny układ jest jedną z charakterystycznych cech wizualnego aspektu instalacji BIPV. Zestawienie modułów z metalowym obramowaniem tworzy widoczną, charakterystyczną siatkę (fot. 213), która może być zamierzonym elementem kształtującym estetykę, w niektórych wypadkach będzie ją natomiast zaburzać[659]. Regularny, geometryczny układ pionów i poziomów można w pewnym stopniu ukryć poprzez zastosowanie szklanych laminatów, które nadają powłoce lekkości (fot. 215) i ujednolicają jej wygląd (fot. 216). M.in. z tego powodu cieszą się one dużą popularnością wśród architektów.



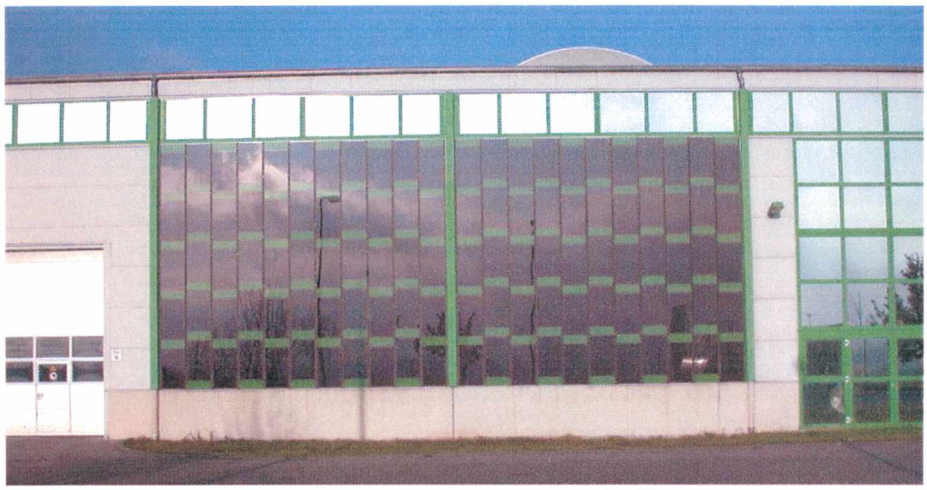
Fot. 216. Üstra Verkehrsbetriebe AG, Hannover (arch. S&P Planungsgruppe, Sommer & Partner, 2000). Okładzina z czarnych modułów monokrystalicznych w zestawieniu z trzema innymi materiałami (srebrną blachą falistą, kształtkami szklanymi i czerwonymi płytkami ceramicznymi).

Moduły PV tworzą rozmaite kompozycje z materiałami budowlanymi znajdującymi się w ich sąsiedztwie (fot. 214, 216). Mogą wyróżniać się kolorem, strukturą, wielkością, kształtem, ułożeniem. Kontrastowe zestawienia podkreślają obecność nowoczesnej instalacji solarnej. W innych realizacjach wręcz przeciwnie, poszczególne elementy dopasowane są kształtem, wielkością, strukturą, itp. W takich wypadkach, na zamówienie wytwarza się moduły PV o konkretnych cechach lub na odwrót – do wybranych elementów instalacji solarnej dobierane są parametry konwencjonalnych materiałów.

Niektóre systemy fasadowe umożliwiają wymienne stosowanie konwencjonalnych elementów tj. paneli szklanych, kamiennych, metalowych, ceramicznych oraz fotowoltaicznych (tablice C/1.1 do 1.3). Bez dodatkowych

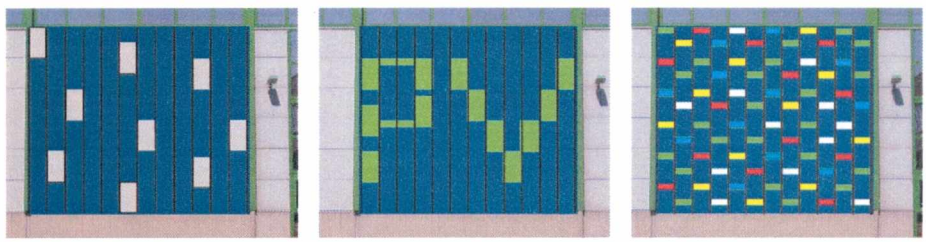
[659] REXROTH S., *Gestaltungspotenzial von Solarpaneelen als neue Bauelemente - Sonderaufgabe Baudenkmal*, PhD Thesis, Fakultät Gestaltung – Architektur, Berlin Universität der Künste, Berlin 2005, s. 51.

kosztów i konieczności dopasowywania elementów mocujących można modyfikować kompozycję elewacji (fot. 217).



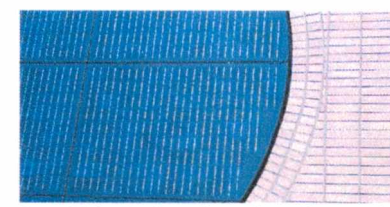
Fot. 217. Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG (Merkendorf). System fasady wentylowanej Voltarlux - kompozycja ze szklanych laminatów cienkowarstwowych z krzemu amorficznego i zielonego szkła.

Zróżnicowanie właściwości poszczególnych produktów BIPV stanowi ogromną zaletę technologii – rozmaite materiały, kształty, wielkość, giętkość itp. cechy, pozwalają tworzyć niezliczoną ilość kombinacji (rys. 65-67).

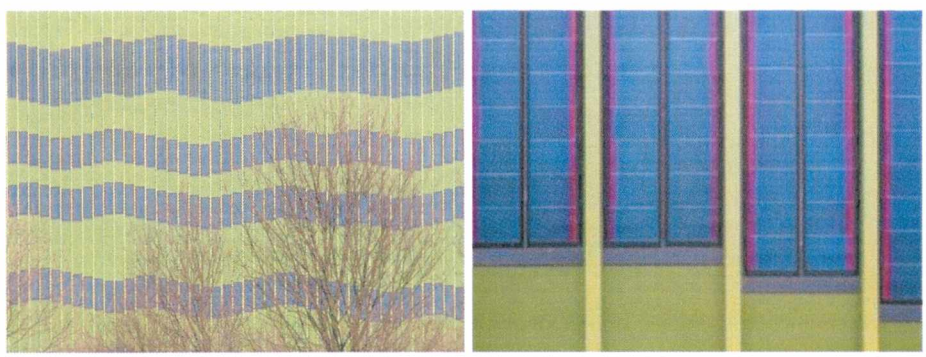


Rys. 65-67. Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG (Merkendorf). Przykłady kompozycji z modułów PV i kolorowego szkła.

Standardowo prostokątne, różnej wielkości moduły fotowoltaiczne na zamówienie wykonywane są w każdym w zasadzie kształcie geometrycznym[660] (fot. 218, tablice B/3). Produkowane z rolki cienkowarstwowe laminaty amorficzne można ciąć na wymiar (fot. 219, 220), a dzięki giętkości osadzać na powierzchniach różnego kształtu.



Fot. 218. Zaokrąglone kształty modułów PV, prod. Creaglas.



Fot. 219, 220. ThyssenKrupp Stahl, (Duisburg, 2002). Ciemnoniebieskie „fale" z laminatów Uni-Solar® zintegrowanych z blachą stalową. Kolorystyka fasady: Friedrich Ernst von Garnier.

Dalsze możliwości kształtowania estetyki wiążą się ze zróżnicowaną budową poszczególnych modułów PV. Krzemowe ogniwa krystaliczne produkowane w rozmaitych kształtach i wielkościach, można zestawiać w różnych układach i odległościach od siebie[661] (tablice C-2) oraz od rantu modułu.

---

[660] W tym wypadku ogniwa są przycinane lub układane w odpowiedni sposób na powierzchni modułu. W niektórych przypadkach ze względów czysto estetycznych instaluje się moduły nieaktywne (fot. 219).

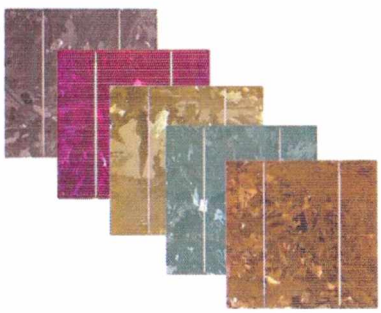
[661] Jeżeli element BIPV ma sprawnie funkcjonować muszą być spełnione liczne wymagania techniczne - ogniwa trzeba odpowiednio połączyć (szeregowo i równolegle). W niektórych wypadkach jest to niemożliwe i moduły stanowią wówczas nieaktywny, wyłącznie estetyczny element instalacji. Im gęściej upakowane ogniwa tym większa wydajność modułu (większa powierzchnia aktywna). Niemożliwe jest łączenie ogniw różnej wielkości, w szereg połączyć można tylko ogniwa o takiej samej powierzchni aktywnej.

4.3.4.
KOLOR I STRUKTURA MATERIAŁU

Materiały są dla architektury nośnikiem jej wyrazu" (Rafael Moneo)



Fot. 221. Standardowe ogniwa polikrystaliczne.



Fot. 222. Kolorowe ogniwa polikrystaliczne, prod. Sunways.



Fot. 223. Pierwsze moduły z kolorowymi ogniwami monokrystalicznymi, prod. BP Solar.



Fot. 224. TüArena, Tübingen (2004). Moduły ze szkłem akrylicznym i zielonymi ogniwami polikrystalicznymi, prod. Sunways.

Kolor to jeden z najważniejszych elementów kształtujących aspekt wizualny budynku oraz samej instalacji BIPV. *„Kolor jest światłem, światło jest ciepłem, ciepło jest energią, energia jest życiem, życie jest kolorem"* - jak mówi Friedrich Ernst von Garnier, autor specjalnej palety kolorystycznej dla obiektów industrialnych[662]. W ostatnich latach rozmaite barwy wprowadzane są coraz częściej do architektury przemysłowej - dla zwrócenia uwagi, nadania nowej jakości estetycznej, czy zmiany zimnego, technicznego charakteru srebrnego budynku-maszyny na bardziej „przyjazny", wkomponowany w naturalne otoczenie.

Specyficzna kolorystyka i struktura powłoki BIPV zdeterminowana jest rodzajem materiału fotoogniw oraz doborem pozostałych komponentów modułu PV. Paleta kolorów była jak dotąd ograniczona, postęp technologii w ostatnich latach znacznie ją jednak rozszerzył. Różnorodność dostępnych produktów i możliwości ich łączenia pozwalają osiągać coraz bardziej zróżnicowane pod względem kolorystycznym rezultaty. W praktyce, ze względów technicznych i ekonomicznych nieustannie dominują niebieskie oraz czarne ogniwa, które w połączeniu ze srebrnym kolorem kontaktów elektrycznych i obramowania nadają instalacjom fotowoltaicznym charakterystyczny wygląd.

W ogniwach krzemowych struktura materiału implikuje konkretne efekty wizualne. Ogniwa monokrystaliczne, zazwyczaj granatowe lub czarne, są zdecydowanie bardziej jednolite niż polikrystaliczne. Te drugie, najczęściej ciemnoniebieskie, są świetliste, z efektem „migoczących" niebiesko-srebrno-fioletowych kolorów zmieniających się wraz z oświetleniem i kierunkiem patrzenia (fot. 221). W obu przypadkach, obok standardowych dostępne są także inne kolory ogniw – np. szary, zielony, czerwony, żółty, itp. (fot. 222, 223, tablice A/2.1). Ich użycie daje szerokie możliwości kształtowania estetyki budynku, wiąże się jednak z wyższymi kosztami i mniejszą efektywnością generatora PV[663]. Wraz z rosnącym zainteresowaniem architektów produktami BIPV i potrzebami rynku przewiduje się jednak dalsze poszerzenie oferty kolorystycznej standardowych materiałów.

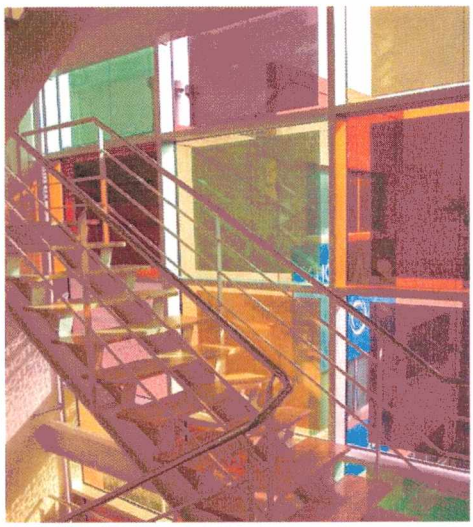
W przypadku technologii cienkowarstwowych możliwości kolorystyczne są większe i zależą od zastosowanych materiałów półprzewodnikowych oraz podłoża, na którym osadzane są ogniwa (tablice A/2.2). Ogniwa z krzemu amorficznego na szklanym podłożu są czarno-fioletowe, brunatne, natomiast ciemnoniebieskie materiały na podłożu stalowym charakteryzują się

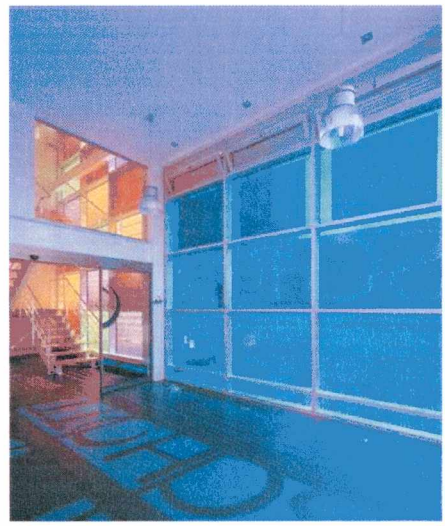
[662] http://www.thyssen-solartec.com.
[663] Patrz rozdz. III/4.1.3.

purpurowo-fioletowymi odblaskami na obrzeżach (fot. 220). Cienkowarstwowe ogniwa CIS mają z kolei czarny, jednolity kolor.

Efekty plastyczne można kształtować na wiele sposobów poprzez odpowiedni dobór kolorów poszczególnych komponentów modułu – np. kolorystycznie skoordynować ogniwa z obramowaniem, tylną folią Tedlar lub przeciwnie na zasadzie kontrastu. Ciekawy efekt daje zastosowanie różnokolorowych ogniw w jednym module[664], co pozwala tworzyć obrazy, reklamy, napisy (fot. 225, V/028).

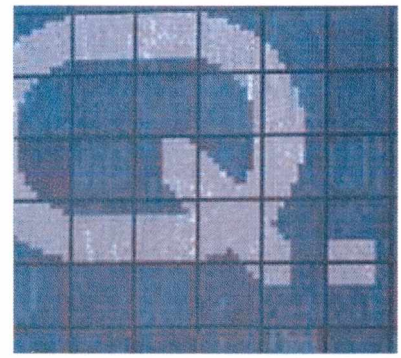
Nieograniczone możliwości oferuje tylna strona modułu – może być ona nieprzeźroczysta lub transparentna, neutralna kolorystycznie lub kolorowa (fot. 226), z nadrukiem. W szklanych fasadach pozwala to tworzyć ciekawe efekty plastyczne, widoczne z obu stron (fot. 227, 228).



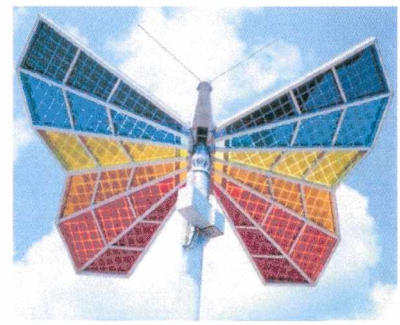


W modułach krystalicznych od strony frontowej widoczne są dookoła ogniw oraz pomiędzy nimi fragmenty tylnej obudowy. Zupełnie inny rezultat osiągnie się przez zastosowanie folii Tedlar w tym samym kolorze co ogniwa (V/006, V/021), a inny przy zestawieniu kontrastowym, np. połączeniu ciemnych ogniw z białą folią (V/024), czy pozostawieniu szerokiego rantu dookoła powierzchni aktywnej (fot. 224)[665]. Rozmaite efekty uzyskać można poprzez zestawienie modułów w różnych kolorach (fot. 229, 242).

Faktura materiału BIPV cechuje się zazwyczaj gładką lub specjalnie teksturyzowaną[666] powierzchnią, w obu wypadkach optymalizowaną pod kątem zysków solarnych dla konwersji PV. W zależności od rodzaju ogniw frontową obudowę ochronną tworzy maksymalnie transparentne białe szkło, szkło ornamentowe, lub tworzywo sztuczne[667].



Fot. 225. Q-cells, Thalheim (arch. Hierholzer Architekten, 2005). Elewacja fabryki z modułami w dwóch kolorach - granatowym i szarym (ogniwa polikrystaliczne).



Fot. 226. Kolorowe moduły z tworzywa sztucznego, prod. Sunovation.

Fot. 227, 228. SCHOTT ibérica SA, Sant Adrià de Besòs, Barcelona (arch. Torsten Masseck, CISOL - Centre d'Investigació Solar ETSAV (UPC), 2005). Szklana fasada z semitransparentnych modułów specjalnych z barwionym szkłem od strony wewnętrznej.



Fot. 229. mNACTEC, Terrassa. Kolorowa fasada z modułów monokrystalicznych.

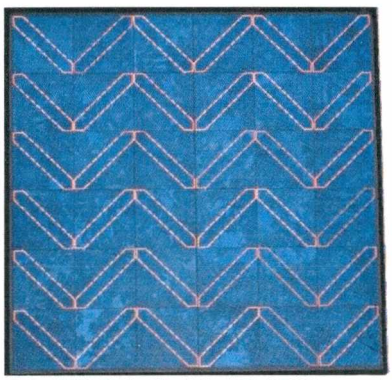
[664] Z elektrotechnicznego punktu widzenia nie jest to łatwe, gdyż mieszanie kolorów ogniw powoduje zróżnicowanie parametrów elektrotechnicznych. Ogniwa o zróżnicowanej sprawności połączone w szereg będą miały sprawność najsłabszego z nich.

[665] Patrz rozdz. IV/2.1.

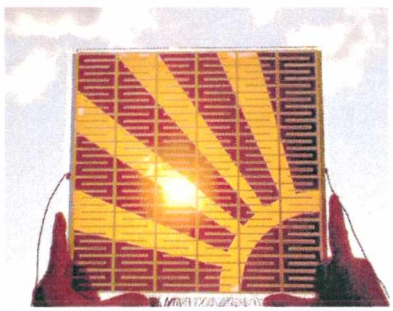
[666] Np. białe szkło ornamentowe SGG Albarino produkowane przez Saint-Gobain Glass, patrz rozdz. IV/2.2.1, fot. 118-119.

[667] Istnieje możliwość uzyskania matowych modułów - Sunways opracowała taki produkt w ramach programu PVACCEPT dla budynków zabytkowych, gdzie refleksyjne powierzchnie mogą być nieodpowiednie. http://www.pvaccept.de.





Fot. 230-231. Moduły PQ-120D z ogniwami „DIAGONAL", prod. PowerQuant.



Fot. 232. Prototyp modułu DSC, prod. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2006.

Zróżnicowane efekty wizualne zapewnia dodatkowo kolor i kompozycja kontaktów elektrycznych. W standardowych produktach są one srebrne (miedziane), ale mogą też mieć kolor materiału ogniwa. Przez długi czas nie przykładano do nich specjalnej wagi, obecnie jednak wraz ze wzrostem znaczenia estetyki systemów fotowoltaicznych opracowywane są już różne rozwiązania. Charakterystyczne, metaliczne siatki kontaktów układające się w literę „H" często nie podobają się architektom, stąd prace nad nowymi układami idą m.in. w kierunku ich umieszczenia na spodniej, niewidocznej stronie ogniwa (tablice A/3.1, A/3.2). W wiedeńskim Atominstitut naukowcy uznali standardowe szyny zbiorcze na frontowej stronie ogniwa za wizualnie „nudne", dlatego próbują przekształcać je w bardziej artystyczny sposób (tablice A/3.2). Unikatowe produkty powstają m.in. dzięki współpracy czołowych producentów ogniw solarnych i firmy Powerquant, która opracowała specjalne wzory ogniw monokrystalicznych dla integracji z budynkiem (tablice A/3.2). Nowy, diagonalny wzór elektrod w kolorze miedzi i złota występuje w 4 rodzajach, inne wzory robione są na specjalne zamówienie. Dla projektantów udostępniono nawet specjalny program komputerowy PQ-Designer. W zależności od układu ogniw w module można osiągnąć zupełnie różne wzory i efekty plastyczne (fot. 230, 231).

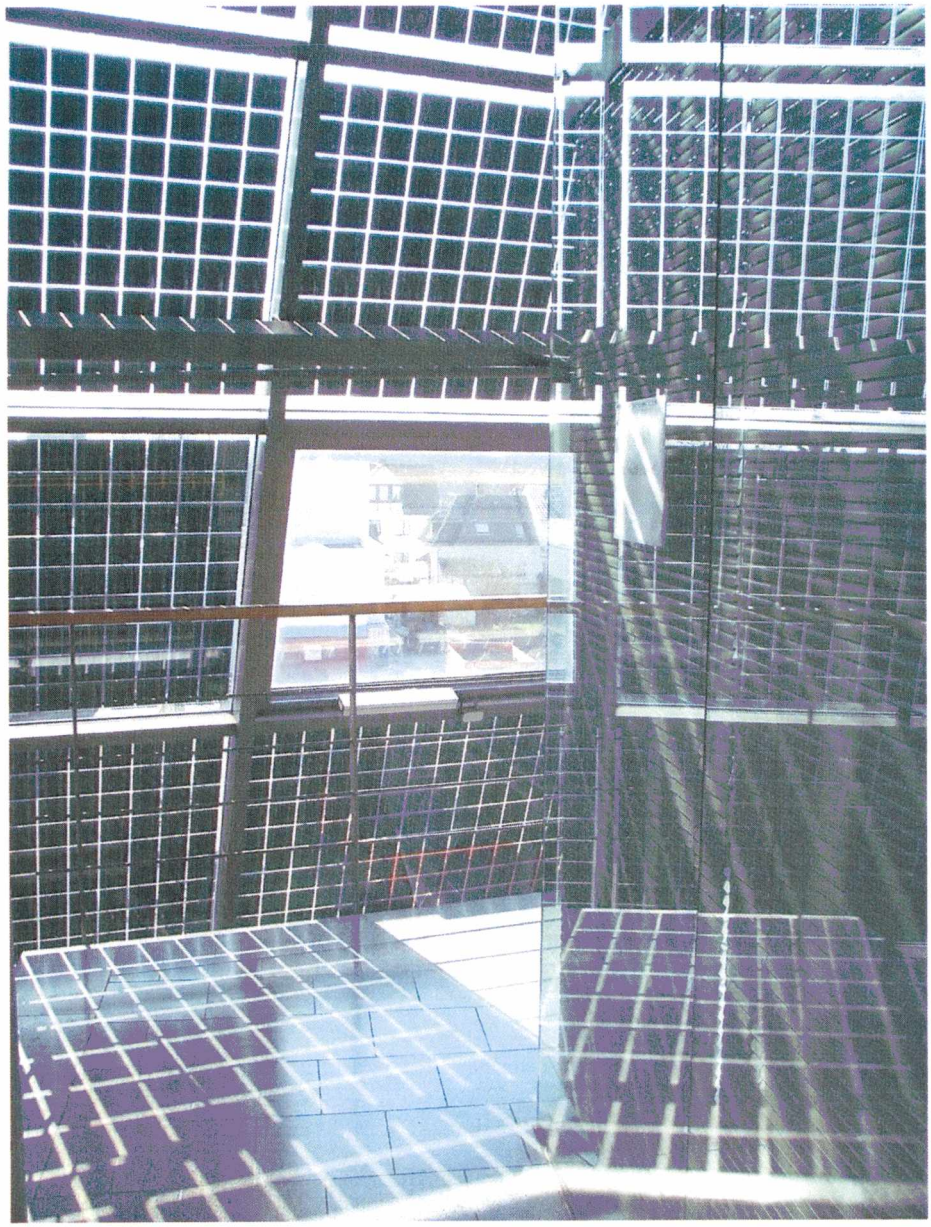
Interesujące możliwości kształtowania zróżnicowanych efektów kolorystycznych pojawiły się wraz z innowacyjnymi technologiami ogniw organicznych i nanokrystalicznych uczulonych barwnikiem (fot. 232). Australijska STI DSC produkuje standardowe płytki solarne w kolorze ochry, do których później wprowadza inne barwy.

4.3.5. TRANSPARENTNOŚĆ

Zwiększony w ostatnich latach udział modułów semitransparentnych rozszerzył możliwości kształtowania nowoczesnej estetyki budynku – filtrując promieniowanie, oferują one dodatkowo możliwość tworzenia zmiennych efektów optycznych za pomocą gry światłocienia[668].

Stopień transparentności materiałów BIPV można kształtować na różnym poziomie[669]. W zależności od rodzaju ogniw i ich układu tworzą się charakterystyczne efekty optyczne - zupełnie inne zapewni rozsunięcie ogniw krystalicznych (fot. 233-236), a inne zastosowanie materiałów cienkowarstwowych (fot. 211-212). W obu wypadkach wrażenia wizualne zależą również od miejsca obserwacji oraz kierunku oświetlenia głównego[670].

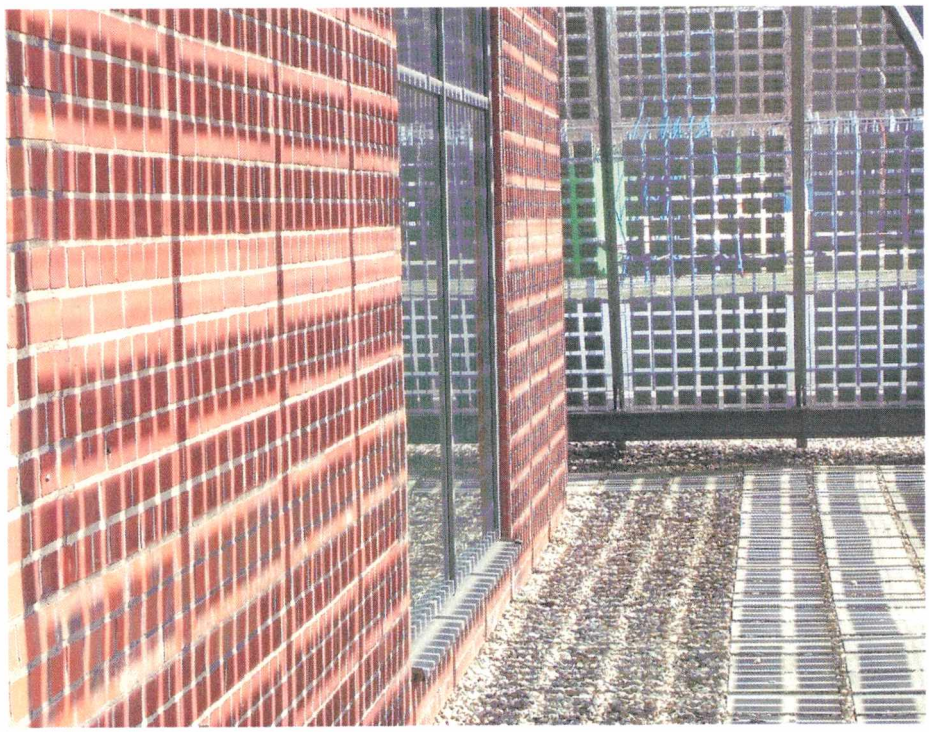
[668] Wszechstronność technologii BIPV pozwala na tworzenie różnych efektów estetycznych i powiązanie tego z wieloma funkcjami użytkowymi. Wielofunkcyjny system generuje energię, chroni wnętrze od nadmiernego nasłonecznienia, jednocześnie doświetlając je światłem naturalnym, itd.
[669] Zazwyczaj w zakresie 10-30%, patrz rozdz. IV/2.2.1.
[670] Patrz rozdz. IV/2.2.1., IV/3.4.3.

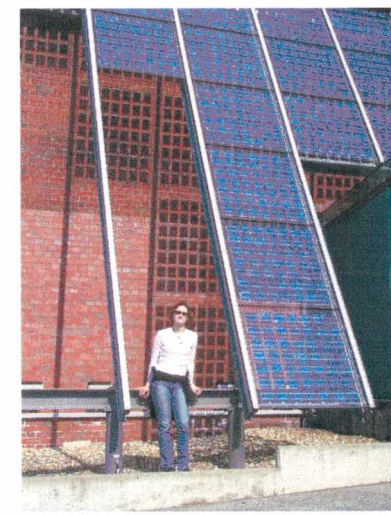




Fot. 233. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer+Architekten BDA, 2001-2002). Częściową transparentność szklanej fasady uzyskano poprzez rozsunięcie ogniw krystalicznych zintegrowanych ze szkłem izolacyjnym. Efekty wizualne są zupełnie różne z zewnątrz i od środka. Charakterystyczna gra światłocienia zmienia się w zależności od natężenia światła słonecznego. Widok z zewnątrz.

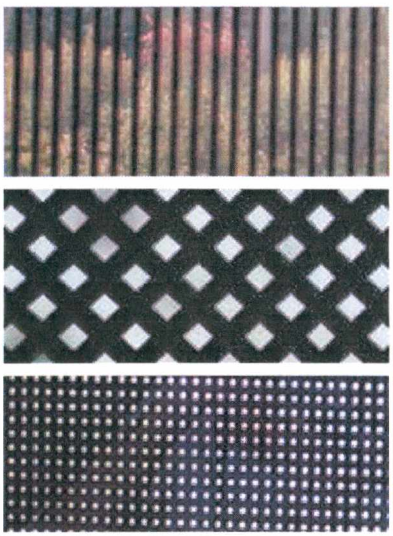
Fot. 234. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer+Architekten BDA, 2001-2002). Widok od wewnątrz.





Fot. 235. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen. Szklana fasada z modułów specjalnych Optisol®, prod. Scheuten Solar.

Fot. 236. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.



Fot. 237. Częściowo transparentne szklane moduły CIS, prod. Würth Solar. Przykłady wzorów.

Firmy solarne oferują obecnie szereg zróżnicowanych rozwiązań, zarówno jeśli chodzi o poziom transparentności ogniw, jak i kwestie plastyczne. Würth Solar opracowała własne technologie produkcji semitransparentnych modułów CIS z różnymi wariacjami transparentności w zakresie 0-50% i wzorami - dostępna jest perforacja pasmowa, okrągłe otwory lub rombowe o różnej wielkości i zagęszczeniu (fot. 237). Poprzez zmianę zagęszczenia otworów można tworzyć np. transparentne napisy, symbole[671].

Jak dotąd żadna z technologii PV nie umożliwia całkowitej transparentności. Efekt dematerializacji, efemeryczności przegrody nie będzie więc równie silny jak w konwencjonalnych strukturach szklanych.

4.3.6. ZMIENNOŚĆ

Zdecydowana większość instalacji BIPV jest nieruchoma, ale montowane na powłokach struktury specjalne, takie jak sterowane automatycznie żaluzje czy systemy *brise-soleil* będą zmieniały w czasie swoje położenie tworząc dynamiczne efekty wizualne.

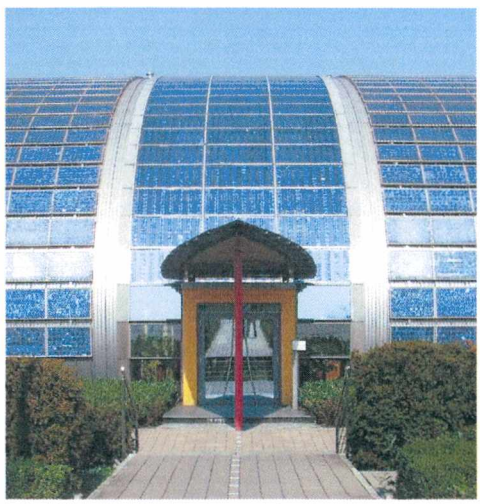
Dodatkowy efekt plastyczny można uzyskać poprzez zastosowanie holograficznych powłok na szkle. Rozpraszając światło w spektralne kolory, wrażenia odbierane przez obserwatora będą zmieniały się w zależności od natężenia oświetlenia, jego kierunku oraz pozycji obserwatora (fot. 193-195, 238, V/011).

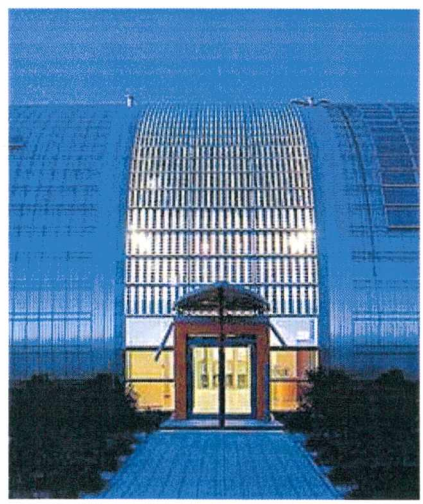
W niewielkim stopniu zmienne efekty kolorystyczne zapewniają materiały krystaliczne – w zależności od oświetlenia struktura różnie zorientowanych kryształów będzie mniej lub bardziej widoczna i optycznie „migocząca".

Zmienność wrażeń optycznych zapewniają również materiały częściowo transparentne. Zupełnie inne będą one w zależności od głównego oświetlenia – np. w ciągu dnia z zewnątrz niewidoczne, nocą ujawnią swoją strukturę przy sztucznym oświetleniu wnętrza (fot. 239, 240, V/009, V/011).



Fot. 238. Scheuten Solar, Gelsenkirchen. System lameli przeciwsłonecznych z folia holograficzną Holo-Volt®.





Fot. 239, 240. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).

[671] http://www.pvaccept.de; http://www.wuerth-solar.de.

4.4.
OBRAZ, REKLAMA

„Ekologia i estetyka są równie ważne"
(Scheuten Solar)

Odpowiednio ukształtowana powłoka budynku jest dla nowoczesnego przedsiębiorstwa jednym z ważniejszych czynników marketingowych. Dobrze widoczna i estetyczna fasada BIPV może obrazować działalność firmy, jej filozofię i siłę marki. Pełniąc rolę komunikatu zarówno na temat produktu, jak i statusu projektanta, inwestora, czy użytkownika staje się symbolem, wizytówką, skutecznym oknem wystawowym[672]. Z roku na rok powstaje coraz więcej budynków, w których badane są nowe technologie i opracowywane innowacyjne materiały PV/BIPV. W takich obiektach – laboratoriach, fabrykach – elewacje stanowią doskonałe miejsce ekspozycji wytwarzanych produktów. Z drugiej strony, wraz z modą na ekologię interesujące wizualnie instalacje BIPV są skuteczną reklamą dla każdego inwestora. Kreują intrygujący, pozytywny obraz zaawansowanego technologicznie przedsiębiorstwa zaangażowanego w działalność na rzecz ochrony środowiska.



Fot. 241. Budynek firmy Siemens, Monachium. W ramach renowacji zrealizowano na fasadzie instalację fotowoltaiczną z modułów monokrystalicznych.



Fot. 242. SWU, Ulm (arch. Michael Gies, 1998).

Rozmaite realizacje, mniej lub bardziej interesujące w aspekcie estetycznym, pokazują szeroki zakres możliwości użycia elementów systemu fotowoltaicznego w celach reklamowych, informacyjnych. Indywidualne efekty plastyczne tworzone są zarówno z wykorzystaniem nowatorskich, jak i typowych produktów BIPV. Poprzez odpowiedni układ modułów, dobór materiałów i kolorystyki powstają np. wzory, napisy (fot. 241, 242). Dwukolorową instalacją fasadową z logo firmy reklamuje się m.in. jeden z wiodących producentów ogniw solarnych – Q-cells (fot. 225, V/029).

Dobrze widoczne aplikacje BIPV wzbudzają zainteresowanie, w licznych obiektach pełnią więc z zamierzenia rolę demonstracyjno-edukacyjną. Ich estetyka jest bardzo ważna - wysokiej jakości przykłady mogą zwiększyć akceptację[673], przekonać potencjalnych inwestorów, architektów o zaletach i pozytywnej roli fotowoltaiki. Jak stwierdzono w trakcie programu IEA PVPS Task VII na obecnym etapie jej rozwoju odpowiednio ukształtowane budynki solarne powinny być szczególnym „adwokatem" nowatorskiej technologii[674].

---

[672] Patrz rozdz. II/2.2.
[673] REIJENGA T., *PV...*, s. 2.
[674] PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 7.

V.
PRZYKŁADY REALIZACJI BIPV

Pierwsza instalacja BIPV w budynku przemysłowym powstała w USA w 1982[675]. Moduły PV zintegrowano z nachylonym dachem fabryki Solarex Corporation[676] zaprojektowanej przez Kiss & Cathcart Architects. W ten sposób firma wytwarzająca materiały solarne efektywnie wykorzystała własne produkty do generacji czystej energii oraz w celach reklamowych. Wraz z postępem technologii i stopniowym spadkiem cen urządzeń PV pojawiały się kolejne realizacje w innych krajach świata, m.in. w Niemczech, Szwajcarii. W ciągu 25 lat rozwinięto szeroki wachlarz innowacyjnych produktów, wzrosło zainteresowanie technologią BIPV wśród inwestorów i projektantów. Jak dotąd większość instalacji fotowoltaicznych w sektorze industrialnym stanowią systemy dachowe (szczególnie ustawiane na płaskich dachach), w ostatnich latach nastąpił jednak wyraźny wzrost liczby systemów fasadowych.

W niniejszym rozdziale zaprezentowano 28 budynków z systemami BIPV zrealizowanymi w okresie lat 1991-2006. O wyborze zadecydowały zarówno cechy rozwiązań instalacji fotowoltaicznych, jak i architektoniczny charakter obiektów, a także dostępność ilustracji oraz informacji na ich temat. Podstawowe dane na temat każdego projektu (budynku oraz instalacji fotowoltaicznej) zestawiono na początku rozdziału w tabeli zbiorczej. W dalszej części dokonano bardziej szczegółowej charakterystyki wraz z materiałem ilustracyjnym w formie zdjęć i rysunków[677]. Przykłady przedstawiono w układzie chronologicznym, dla ukazania postępu oraz kierunku ewolucji zarówno technologii BIPV, jak i sposobów kształtowania elewacji w architekturze przemysłowej.

Wybrano budynki różnej funkcji – fabryki, centra technologiczne, laboratoria, silosy, zakłady należące do sektora ochrony środowiska i przemysłu ciężkiego[678]. Większość stanowią obiekty nowo budowane, w których integrację systemu PV brano pod uwagę od początku planowania i projektowania inwestycji, w jednym decyzję podjęto dopiero w trakcie realizacji obiektu. W trzech przypadkach instalacja BIPV powstała w ramach modernizacji.

Opisane przykłady pokazują szeroki wachlarz możliwości i metod integracji fotowoltaiki z powłoką budynku. Różnorodność rozwiązań obejmuje aspekty techniczne, konstrukcyjno-budowlane, estetyczne oraz funkcjonalne.

Najbardziej powszechnym rozwiązaniem w przypadku fasadowych instalacji BIPV jest wykorzystanie standardowych modułów w roli okładzin wentylowanych przegród. Dobrym miejscem dla nich okazały się m.in. duże, niewykorzystane powierzchnie pionowych elewacji silosów[679] (V/006).

---

[675] Patrz rozdz. III/2.3.1., fot. 63.
[676] Obecnie BP Solar.
[677] Ze względu na brak wystarczających danych cztery przykłady nie zostały dokładniej omówione – zaprezentowano jedynie materiał fotograficzny oraz dostępne informacje w tabeli zbiorczej.
[678] Patrz: Wstęp, rozdz. 3.
[679] Kilka takich realizacji powstało m.in. w Szwajcarii w obiektach należących do grupy Swissmill/Coop, patrz fot. 416.

Należy zauważyć, iż z biegiem lat coraz częściej pojawiają się w budynkach przemysłowych szklane, semitransparentne struktury BIPV[680]. Producenci oferują standardowe systemy fasadowe dostosowane do integracji z materiałami fotowoltaicznymi, projektanci opracowują rozmaite kombinacje i nowatorskie koncepcje – nie tylko wertykalne, ale i pochylone czy zakrzywione przegrody o funkcji ściany/dachu. Z powłoką integrowane są też różnego typu struktury specjalne w postaci zadaszeń, markiz, zaawansowanych systemów przeciwsłonecznych. Niejednokrotnie, jedno z pierwszych praktycznych zastosowań danego materiału BIPV lub rozwiązania konstrukcyjnego nastąpiło właśnie w budynku przemysłowym – tak było m.in. w fabryce mebli Wilkhahn (V/004) czy zakładzie Wasserwerk Mühlenscharrn (V/010).

Nowe możliwości pojawiły się wraz z produkcją cienkowarstwowych, giętkich laminatów Uni-Solar®, trwale łączonych z blachami i płytami warstwowymi. Choć dla integracji z fasadami budynków przemysłowych materiały tego rodzaju wydają się być szczególnie korzystne, ich dotychczasowe zastosowanie jest marginalne. Najsłynniejszym, jedynym w swoim rodzaju przykładem pozostaje kolorowa fasada ThyssenKrupp Steel (V/020).

W kwestii estetycznej, projektanci z pewnością nie wykorzystali jeszcze całego potencjału nowoczesnej technologii. Najczęściej stosowane ogniwa w standardowych kolorach - ciemnoniebieskim i czarnym - sprawiają, że większość instalacji BIPV, przynajmniej pod względem kolorystycznym, ma podobny wygląd. Na tym tle wyróżnia się fasada z dwukolorowymi modułami tworzącymi logo firmy Q-Cells (V-28).

Materiały z krzemu krystalicznego nieustannie dominują, trzeba jednak podkreślić rosnącą popularność materiałów CIS (CIGS). Dużej powierzchni czarne okładziny fasadowe zrealizowane z użyciem tego typu ogniw sprawiły, iż kilka budynków sektora industrialnego stało się znanych na całym świecie - np. Technium OpTIC (V/022), SchapfenMühle (V/023).

W wielu budynkach zintegrowane systemy fotowoltaiczne stanowią jeden z elementów szerszej koncepcji proekologicznej – powiązanie różnych technologii i rozwiązań pozwala osiągnąć korzystne rezultaty.

Z roku na rok powstaje na świecie coraz więcej fabryk materiałów solarnych, w których producenci demonstrują na fasadach swoje własne wyroby w celach reklamowych, testują na miejscu ich właściwości. Fasady BIPV pełnią też często rolę edukacyjną, jak w japońskim laboratorium Tsukuba OSL (V/017). Najbardziej interesujące pod kątem architektonicznym rozwiązania powstają zazwyczaj w strefie wejściowej - widocznej i reprezentacyjnej. Odpowiednio zaprojektowane i efektywne instalacje BIPV nadają budynkom, a co za tym idzie także i przedsiębiorstwom powszechnie rozpoznawalny *image*, a dobre realizacje zachęcają do tworzenia nowych.

[680] Pierwsza szklana fasada BIPV powstała w Aachen w 1991. Patrz rozdz. III/2.3.1., fot. 64.

ZESTAWIENIE

Numer projektu	001	002	003	004
Nazwa projektu	**Aerni Fenster AG**	**Centrum technologiczne „Windmühle"**	**APS Photovotaic Manufacturing Facility**	**Wilkhahn**
Adres	Aerni Fenster AG CH-4422 Arisdorf, Szwajcaria	Zürichstrasse 23, CH-2504 Biel-Bözingen, Szwajcaria	APS Photovotaic Manufacturing Facility Fairfield, California, USA	Wilkening + Halne GmbH + Co. KG Fritz-Hahne-Straße 8 D-31848 Bad Mader, Niemcy
Rok realizacji	1991	1991	1993	1993
Architektura	SSSH AG - Schwörer, Stengele, Shal, Holzemer	Werkhof Architekten	Kiss + Cathcart Architects	Thomas Herzog and Partners
Konstrukcja	b.d.	b.d.	Ove Arup & Partners	Sailer + Stepan
Koncepcja energetyczna	b.d.	b.d.	Ove Arup & Partners	b.d.
Instalacja PV	Atlantis Energie AG, Zetter AG	Atlantis Energie AG, Zetter AG	APS	b.d.
Projekt fasady PV	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Typ obiektu	Nowy	Nowy	Nowy	Nowy
Funkcja budynku	Fabryka okien	Centrum technologiczne	Fabryka modułów PV	Fabryka mebli
Powierzchnia budynku	b.d.	b.d.	21350 m^2	b.d.
Położenie geograficzne	47°31'N, 7°46'E 379 m.n.p.m.	47°8' N, 7°15' E 434 m. n.p.m.	38°15' N, 122°3' W 4 m. n.p.m.	52°11' N, 09°27' E 119 m. n.p.m.
Typ integracji	Okładzina fasadowa Świetliki szedowe	Okładzina fasadowa	Ściana osłonowa Świetliki Markiza	Zadaszenie
Orientacja instalacji	S	S	Fasada - S, N, W, E Świetliki - W, E Markiza - S	S
Nachylenie modułów	Fasada - 90° Świetliki - 63°	b.d.	Fasada - 90° Świetliki - 10° Markiza - 22,5°	45°
Powierzchnia instalacji	Fasada - 90 m^2 Świetliki - 505 m^2	b.d.	b.d.	b.d.
System montażowy	Aluhit Fassaden Wyss AG	b.d.	b.d.	Listwy dociskowe
Technologia ogniw	m-Si	p-Si	a-Si na podłożu szklanym	a-Si na podłożu szklanym
Producent ogniw	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Sprawność ogniw	b.d.	b.d.	5%	b.d.
Kolor ogniw	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski	Czarny	Czarny
Rodzaj modułów	Laminat szkło-folia	b.d.	Szklany laminat cienkowarst.	Szklany laminat cienkowarst.
Producent modułów	Solution	b.d.	APS	b.d.
Wymiar modułu / ilość	b.d.	b.d.	Fasada - 1,16 m^2 / 91 Świetliki - b.d. / 8 Markiza - b.d. / 96	b.d. / 150
Moc modułu	b.d.	b.d.	Fasada - 50 Wp, 25 Wp	b.d.
Inwertor	Solcon, Eco Power	b.d.	Omnion Corporation	b.d.
Moc systemu	Fasada - 8 kWp Świetliki – 53 kWp	9,5 kWp	Fasada - 3,2 kWp Świetliki - 400 Wp Markiza - 4,8 kWp	4 kWp
Roczne zyski energii	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Koszty inwestycji	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

Numer projektu	005	006	007	008
Nazwa projektu	**ELSA - Joint Research Centre (JRC)**	**Stadtmühle CMZ Zürich**	**EBK Konstanz**	**Solar-Fabrik**
Adres	Joint Research Centre (JRC) 21020 Ispra, Włochy	Swissmill Limmatstraße 230, 8048 Zürich, Szwajcaria	Entsorgungsbetriebe Stadt Konstanz (EBK) Fritz-Arnold-Strasse 2 B 78467 Konstanz, Niemcy	Solar-Fabrik AG Gewerbegebiet Haid Munziger Strasse 1 79111 Freiburg, Niemcy
Rok realizacji	1994	1996	1996-1997	1998-99
Architektura	b.d.	b.d.	Schaudt Architekten BDA	Rolf + Hotz
Konstrukcja	b.d.	b.d.	Fischer	Werner Reppel
Koncepcja energetyczna	b.d.	b.d.	Möllerrs + Westermeier	Stahl, Büro Für SonnenEnergie
Instalacja PV	b.d.	Holinger Solar AG	Büro für Solarenergie Konstanz	Solar-Fabrik AG
Projekt fasady PV	b.d.	Holinger Solar AG	b.d.	b.d.
Typ obiektu	Modernizowany	Modernizowany	Nowy	Nowy
Funkcja budynku	Centrum laboratoryjno-badawcze	Młyn zbożowy	Zakład oczyszczania miasta	Fabryka modułów PV
Powierzchnia budynku	b.d.	b.d.	b.d.	Przyziemie 4260 m^2
Położenie geograficzne	45°48'N, 08°37'E 239 m n.p.m.	47°22'N, 8°33'E 408 m n.p.m.	47°40' N, 9°8' E 399 m n.p.m.	47° 59' N, 7° 51' E 278 m n.p.m.
Typ integracji	Okładzina fasadowa	Okładzina fasadowa Dach płaski (system nałoż.)	System zacieniający	Zimna fasada Szklany system osłonowy System zacieniający Instalacja dachowa
Orientacja instalacji	S	S, SE, SW	S -5°	S
Nachylenie modułów	90°	Fasada - 90° Dach - 25°	32°	Zimna fasada - 73° Szklana fasada - 73° System zacieniający - 15° Dach - 15°
Powierzchnia instalacji	680 m^2 (moduły 505 m^2)	Fasada – 123 m^2 Dach – 111 m^2	544 m^2	Zimna fasada - 40 m^2 Szklana fasada - 25 m^2 System zacieniający - 210 m^2 Dach - 300 m^2
System montażowy	WICTEC 50® (WICONA®)	Aluhit Wyss AG	b.d.	b.d.
Technologia ogniw	a-Si	m-Si (ogniwa Saturn)	p-Si	m-Si
Producent ogniw	APS	BP Solar	Pilkington	b.d.
Sprawność ogniw	b.d.	13%	b.d.	b.d.
Kolor ogniw	Czarny	Czarny	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski
Rodzaj modułów	Szklany laminat cienkowarst. Optisol-Modul A056001	Laminat szkło-folia, bezramowy BP 585L	Szklany moduł semitransparentny Optisol SFM 144Hx	b.d.
Producent modułów	b.d.	BP Solar	Sunways	b.d.
Wymiar modułu / ilość	819 x 1581 mm / 420	Fasada - b.d. / 198 Dach – b.d / b.d.	1000 x 2160 x 12 mm / 252	b.d.
Moc modułu	b.d.	85 Wp	250 Wp	b.d.
Inwertor	b.d.	SMA Sunnyboy, Sputnik SolarMax	b.d.	b.d.
Moc systemu	25 kWp	Fasada – 16,43 kWp Dach -15 kWp	63 kWp	Zimna fasada – 3,9 kWp Szklana fasada – 2,5 kWp System zacieniaj. – 20,5 kWp Dach – 29,6 kWp
Roczne zyski energii	17 MWh	22 000 kWh	47 000 kWh	~45 000 kWh
Koszty inwestycji	b.d.	Instalacja - 110 000 €	b.d.	~3 mln €

Numer projektu	009	010	011	012
Nazwa projektu	**Tobias Grau**	**Wasserwerk Mühlenscharrn**	**Scheuten Solar Cells**	**Energiepark West**
Adres	Siemensstraße 35b, Rellingen (Hamburg), Niemcy	Wasserwerk Mühlenscharrn Neumühler Strasse 48 19057 Schwerin, Niemcy	Scheuten Solar Cells GmbH Am Dahlbusch 23, D-45884 Gelsenkirchen, Niemcy	Energiepark West Sonnenstraße 1, A-6822 Satteins, Austria
Rok realizacji	1998 (I faza), 2001 (II faza)	1999	1999	1999
Architektura	BRT Architekten	Roland Schulz	Hohaus & Partner	Gruppo Sportivo, MHM
Konstrukcja	Wetzel und Seht	Schönfeld + Frützfeld Blaß & Eberhardt	Puhl und Becker	b.d.
Koncepcja energetyczna	b.d.	b.d.	b.d.	DOMA Solartechnik
Instalacja PV	Wennemuth Elektrotechnik	Papendorf, SOLAR	b.d.	Stromaufwärts Photovoltaik
Projekt fasady PV	Ridder Meyn und Partner Frener+Reifer, Metallbau	Colt International	b.d.	b.d.
Typ obiektu	Nowy	Nowy	Nowy	Nowy
Funkcja budynku	Magazyny + biura	Zakład uzdatniania wody	Fabryka ogniw PV	Produkcja + magazyny + biura
Powierzchnia budynku	4160 m^2	1240 m^2	5460 m^2	2970 m^2
Położenie geograficzne	53°39′ N, 9°49′ E 51 m. n.p.m.	53°37′ N, 11°25′ E 38 m. n.p.m.	51°29' N, 7° 5' E 50 m n.p.m	47°14'N, 9°40'E 495 m. n.p.m.
Typ integracji	Szklana fasada	System przeciwsłoneczny	Okładzina fasadowa Szklana fasada System zacieniający z HOE Okładzina dachu pilastego	Okładzina fasadowa Instalacja na płaskim dachu
Orientacja instalacji	SSW (-65°)	SW	SW	S, W
Nachylenie modułów	90°	34°	Fasada - zmienne Szklenie - zmienne System zacieniający – 90° Dach – 18°	Fasada S - 90° Fasada W - 90°
Powierzchnia instalacji	51 m^2 (I) + 128 m^2 (II)	251,3 m^2	Fasada – 264 m^2 Szklenie – 130 m^2	Fasada S - 133 m^2 Fasada W – b.d. Dach - 450 m^2
System montażowy	System aluminiowo-szklany (szklenie strukturalne) Schüco SG 50N	Shadovoltaic - Colt International	Fasada zimna – Kalzip®	b.d.
Technologia ogniw	p-Si (ogniwa EFG)	p-Si (ogniwa EFG)	p-Si	Fasada – p-Si Dach – m-Si
Producent ogniw	ASE RWE Schott	RWE Schott Solar	b.d.	Kyocera Solarfabrik
Sprawność ogniw	13%	13,5 %	b.d.	b.d.
Kolor ogniw	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski
Rodzaj modułów	Szklane laminaty semitransp.	Laminaty szkło-szkło SOL 45 KL/AC	Fasada – szkło-szkło Szklenie – szkło-szkło	b.d.
Producent modułów	Saint-Gobain Glass Solar	Solarnova	b.d.	b.d.
Wymiar modułu / ilość	1,97 x 1,43 / 18 (I) 1,97 x 1,43 / 45 (II)	1780 x 440 x 9,5 mm / 168	b.d.	Fasada 142,5 x 65,0 cm /143
Moc modułu	280 Wp	90 Wp	b.d.	b.d.
Inwertor	b.d.	OK 4-100/ NKF Electronics	b.d.	Fronius
Moc systemu	5,04 kWp (I) 13,005 kWp (II)	7,56 kWp	Fasada - 26,4 kWp Szklenie - 10,5 kWp	Fasada S - 17,16 kWp Fasada W - 4,14 kWp Dach - 45,5 kWp
Roczne zyski energii	~10 800 kWh	5000 kWh	b.d.	Fasada S - 11 280 kWh
Koszty inwestycji	PV 2000 €/m^2	184 000 €	b.d.	Moduły PV - 109 000 € Monitoring – 14 500 €

Numer projektu	013	014	015	016
Nazwa projektu	**Energy Research Foundation - ECN nr 31**	**Straż pożarna Houten**	**ZF-BOGE – Elastmetall AG**	**SMA – budynek nr 6**
Adres	ECN 31 Westerduinweg 3, NL-1755 Petten, Holandia	Veerwagenweg Houten, Utrecht, Holandia	ZF-BOGE – Elastmetall AG Wiesenstraße 30 Damme, Niemcy	SMA Technologie AG Hannoversche Strasse 1-5 34266 Niestetal, Niemcy
Rok realizacji	1999-2000	2000	2001-2002	2001-2002
Architektura	BEAR Architecten	Samyn and Partners	CON.form Gestalten+Planen	HHS Planer+Architekten BDA Hegger Hegger Schleiff
Konstrukcja	b.d.	Samyn and Partners	Eriksen und Partner	IB Hartmut Goldmann, Vellmar
Koncepcja energetyczna	ECN	Ecofys, NOVEM	b.d.	b.d.
Instalacja PV	ECN, ENW/NUON, Dasolas, ALCO, BEAR Architecten, Cinzia Abbate	Ecofys	b.d.	b.d.
Projekt fasady PV	ECN, ALCO, Dasolas, BEAR Architecten, Cinzia Abbate	b.d.	b.d.	b.d.
Typ obiektu	Modernizowany	Nowy	Nowy	Nowy
Funkcja budynku	Biura + laboratoria badawcze	Straż pożarna	Centrum B&R	Fabryka inwertorów
Powierzchnia budynku	3530 m^2	1761 m^2	~8000 m^2	b.d.
Położenie geograficzne	52°47′ N, 4°40′E, 5 m n.p.m.	52° 1' N, 5° 9' E 1 m n.p.m.	52°31′N, 8°11′E 53 m n.p.m.	51°18' N, 9°32' E 137 m n.p.m.
Typ integracji	Fasadowe lamele zacieniaj. Dach (markiza) Pokrycie dachowe	Zakrzywiona szklana powłoka (fasada/dach)	Szklana fasada ciepło-zimna	Szklana fasada
Orientacja instalacji	S	S	b.d.	S
Nachylenie modułów	Lamele - 37° Dach - zmienne	Zmienne	90°	b.d.
Powierzchnia instalacji	700 m^2	400 m^2	150 m^2	b.d.
System montażowy	Lamele – Dasolas, ALCO Markiza – Allicon Dach – BP Sunflower System	Schüco	Schüco FW 50+	b.d.
Technologia ogniw	Lamele – p-Si Markiza – p-Si Dach – m-Si	p-Si	p-Si	p-Si
Producent ogniw	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Sprawność ogniw	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Kolor ogniw	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski	Ciemnoniebieski
Rodzaj modułów	Lamele - Shell Solar RSM 50 Markiza – Shell Solar IRD50 Dach – BP-585-L	Laminaty szkło-szkło semi-transparentne	Moduły szkło-szkło	Laminaty szkło-szkło (szkło izolacyjne)
Producent modułów	Shell Solar, BP Solar	Shell Solar	b.d.	b.d.
Wymiar modułu / ilość	Lamele- 478x1006 mm /546 Markiza - 550x1100 mm /156 Dach - 525x1183 mm /456	b.d. / 288	Zmienne / 102	b.d. / 101
Moc modułu	Lamele - 48 Wp Markiza - 44,3 Wp Dach - 85 Wp	b.d.	b.d.	b.d.
Inwertor	Sunmaster, SMA Sunny-Boy	Mastervolt Sunmaster 2500	b.d.	Sunny-Boy
Moc systemu	Lamele - 26,21 kWp Markiza - 6,91 kWp Dach - 38,76 kWp	23,9 kWp	9,2 kWp	22,5 kWp
Roczne zyski energii	b.d.	30 000 kWh	b.d.	19 000 kWh
Koszty inwestycji	Lamele - 181 512 € Dach - 237,972 €	256 699 €	(Σ) 13,5 mln €	2,8 mln €

Numer projektu	017	018	019	020
Nazwa projektu	**Tsukuba Open Space Laboratory (OSL)**	**Bauer Energietechnik**	**SmartSolarFab®**	**ThyssenKrupp Steel**
Adres	Tsukuba Open Space Laboratory (OSL), Tsukuba, Ibaraki Prefecture, Japonia	Bauer Energietechnik Marie-Curie-Str. 3, 85055 Ingolstadt, Niemcy	SCHOTT Solar GmbH Carl-Zeiss-Str. 4 63755 Alzenau, Niemcy	ThyssenKrupp Stahl AG 47139 Duisburg Beeckerwerth, Niemcy
Rok realizacji	2001	2001	2002	2002
Architektura	Jiro Ohno	Werner Hausmann Walting-Rieshofen	b.d.	Fasady - H. Gunia, A. Kollek, N. Schallenberg Architektur Kolorystyka - Friedrich Ernst von Garnier
Konstrukcja	Nihon Sekkei Inc.	(fasada) Raico	b.d.	b.d.
Koncepcja energetyczna	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Instalacja PV	b.d.	Bauer Energietechnik	b.d.	b.d.
Projekt fasady PV	Jiro Ohno	b.d.	b.d.	b.d.
Typ obiektu	Nowy	Nowy	Nowy	Modernizowany
Funkcja budynku	Laboratorium B&R	Magazyn + centrum solarne	Fabryka ogniw i modułów PV	Walcownia stali
Powierzchnia budynku	b.d.	201 m^2	20 000 m^2	b.d.
Położenie geograficzne	36° 2′ N, 140° 4′ E 15 m n.p.m.	48° 45′ N, 11° 25′ E 374 m n.p.m.	50° 4′ N, 9° 4′ E 126 m n.p.m.	51°28′N, 6°42′E 31 m. n.p.m.
Typ integracji	Szklana fasada Szklane świetliki Daszki	Szklana fasada Szklany dach	Szklana fasada	Ściana osłonowa (płyty warstwowe)
Orientacja instalacji	S	S, SW, SE	S	SE
Nachylenie modułów	Fasada – 90° Świetliki – b.d. Daszki – 0°	Fasada – 90° Dach – 45°	90°	90°
Powierzchnia instalacji	b.d.	137,3 m^2	540 m^2	1400 m^2
System montażowy	Fasada – szklenie strukturalne MPG, system cięgnowy	Raico (słupowo-ryglowy)	Schüco (słupowo-ryglowy)	Standardowa lekka obudowa
Technologia ogniw	Fasada – m-Si, ogniwa okrągłe, 150 mm Świetliki – a-Si na podłożu szklanym Daszki – p-Si, 125 x 125 mm	m-Si, ogniwa transparentne p-Si	a-Si na szklanym podłożu, ogniwa semitransp. ASI-THRU®	a-Si (ogniwa trójzłączowe - triple junction solar cell) na podłożu metalowym UNI-SOLAR® 11-L, UNI-SOLAR® 11-S
Producent ogniw	b.d.	Sunways	RWE Schott Solar	UNI-SOLAR®
Sprawność ogniw	b.d.	b.d.	b.d.	8%
Kolor ogniw	Czarny	Granatowy	Czarno-fioletowy	Granatowo-fioletowy
Rodzaj modułów	Fasada – laminaty typu szkło-szkło Świetliki – szklane laminaty cienkowarstwowe Daszki - laminaty typu szkło-szkło	Moduł typu szkło-szkło	Moduł typu szkło-szkło (szkło izolacyjne) Voltarlux®	Cienkowarstwowe moduły na podłożu z taśmy stalowej THYSSEN-Solatec® Design
Producent modułów	Fuji Sash, Pilkinton Solar	b.d.	b.d.	Thyssen Bausysteme GmbH
Wymiar modułu / ilość	Fasada – 2676x1360mm/25 Świetliki - 1229x657mm/ b.d.	b.d.	b.d. / 189 +174	Różne / 1004
Moc modułu	b.d.	b.d.	54 Wp + inne	b.d.
Inwertor	b.d.	SMA SWR700, SMA SWR2000	b.d.	SMA Sunny-Boy 2500
Moc systemu	10,5 kWp	10 kWp	18 kWp	51,06 kWp
Roczne zyski energii	b.d.	8700 kWh	b.d.	32 130 kWh
Koszty inwestycji	~ 400,000 $	100 700 €	b.d.	830 000 € (całość z fasadą, robocizną, materiałem)

Numer projektu	021	022	023	024
Nazwa projektu	**Protechno Card**	**Technium OpTIC**	**SchapfenMühle**	**Wattwerk**
Adres	Protechno Card GmbH Hilkenmeier & Peters Gbr Balhornerfeld 28 33100 Paderborn, Niemcy	Technium OpTIC St Asaph Business Park Denbighshire LL17OJD Płn. Walia, Wielka Brytania	SchapfenMühle Franzenhauserweg 21 89081 Ulm/Jungingen, Niemcy	HOLINGER SOLAR AG Wattwerkstrasse 1 4416 Bubendorf, Szwajcaria
Rok realizacji	2003	2004	2004	2004
Architektura	Völse & Rath – Architekten	Capita Percy Thomas	Seidel Architekten	ArchiTeam design AG
Konstrukcja	b.d.	URS Corporation	Peter und Lochner Beratende Ingenieure für Bauweser GmbH	ERNE AG Holzbau
Koncepcja energetyczna	b.d.	URS Corporation	b.d.	Franco Fregnan
Instalacja PV	BIOHAUS PV Handels GmbH	b.d.	b.d.	Holinger Solar AG
Projekt fasady PV	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Typ obiektu	Nowy	Nowy	Nowy	Nowy
Funkcja budynku	Zakład produkcyjny	Centrum technologiczne + inkubator	Młyn zbożowy	Magazyn + laboratorium + biura
Powierzchnia budynku	1750 m^2	7700 m^2	b.d.	~770 m^2
Położenie geograficzne	51°43′ N, 8°46′E 113 m n.p.m.	53° 15′ N, 3° 26′ W 35 m n.p.m.	48° 25' N, 9° 59' E 585 m n.p.m.	47°27''N, 7°44′ E, 471 m n.p.m.
Typ integracji	Okładzina fasadowa	Okładzina fasadowa	Okładzina fasadowa	Okładzina fasadowa Instalacja na płaskim dachu Zadaszenie
Orientacja instalacji	S	S	S, E	SW
Nachylenie modułów	90°	Zmienne	90°	Fasada - 90° Dach - 20°
Powierzchnia instalacji	80 m^2	1176 m^2	b.d.	Fasada - 100 m^2 Dach - 150 m^2
System montażowy	b.d.	Energy Equipment Testing Service Ltd EETS, PV Systems Limited Factory	Konstrukcja słupowo-ryglowa	Dach - Sofrel
Technologia ogniw	m-Si	CIS na podłożu szklanym	CIGS na podłożu szklanym	Fasada – m-Si Dach – p-Si
Producent ogniw	b.d.	Shell	Würth Solar	b.d.
Sprawność ogniw	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Kolor ogniw	Granatowo-czarny	Czarny	Czarny	Ciemnoniebieski
Rodzaj modułów	Laminaty szkło-folia ISOFOTON I-106, I-53	Szklany moduł cienkowarstwowy ShellST36	Szklany laminat cienkowarstwowy	Fasada - BP 580 Dach - BP 380
Producent modułów	ISOFOTON BIOHAUS PV Handels GmbH	Shell	Würth Solar	b.d.
Wymiar modułu / ilość	b.d. / 84 + 14	1400 x 350 mm / 2400	b.d. / 1300	Fas.– 1197x530x18mm/ 152 Dach- 1197x530x20mm/ 166
Moc modułu	b.d.	b.d.	b.d.	80 Wp
Inwertor	b.d.	Siemens Sitop	Sputnik 3000E, Sputnik WR 6000E, Sputnik 1800E	SMA Sunny-Boy
Moc systemu	9,65 kWp	85, 3 kWp	Fasada S - 83,1 kWp Fasada E -14,85 kWp	Fasada - 12 kWp Dach - 18 kWp Zadaszenie - 100 Wp
Roczne zyski energii	b.d.	b.d.	70 000 kWh	Fasada - 7500 kWh Dach - 16840 kWh Zadaszenie - 80 kWh
Koszty inwestycji	Budowa -1.428 €/ m^2 (Σ) 1.714 €/ m^2	680 000 $	b.d.	Instalacja PV - 162 000 €

Numer projektu	025	026	027	028
Nazwa projektu	**MSK Fukuoka**	**Kameyama Plant**	**Isofotón**	**Q-cells**
Adres	MSK Factory 825-1 Yasuhara, Saku-City, Nagano 385-0004, Japonia	464 Kougawa, Shiraki-cho, Kameyama City, Mie Prefecture 519-0198, Japan	Isofotón S.A., Parque Tecnológico de Andalucía, C/ Severo Ochoa 50, 29010 Malaga, Hiszpania	Q-cells AG Guardianstr. 16, 06766 Thalheim, Niemcy
Rok realizacji	2004	2004 (I) -2006 (II)	2005	2005
Architektura	Ichikawa Sokuryo Sekkei	b.d.	J. Vega, F. Arribas, I. Eyras	Hierholzer Architekten
Konstrukcja	b.d.	b.d.	Loma Ingeniería	b.d.
Koncepcja energetyczna	b.d.	b.d.	Isofotón	b.d.
Instalacja PV	MSK Corporation	Sharp	Isofotón	b.d.
Projekt fasady PV	MSK Corporation	b.d.	b.d.	Sven Lehmann
Typ obiektu	Nowy	Nowy	Nowy	Rozbudowa
Funkcja budynku	Fabryka modułów PV	Fabryka ekranów LCD	Fabryka ogniw solarnych, modułów PV, kolektorów	Fabryka ogniw solarnych
Powierzchnia budynku	b.d.	130 000 m^2 + 77 600 m^2 (I) 279 100 m^2 (II)	28 000 m^2	b.d.
Położenie geograficzne	36°16′ N, 138°30′E 715 m n.p.m.	34° 42′ N, 136° 30′ E 30 m n.p.m.	36°44' N, 4°33' W, 54 m n.p.m.	51°39' N, 12°14' E 89 m n.p.m.
Typ integracji	Szklana fasada Płaski dach	Szklana fasada Płaski dach	Okładzina fasadowa Szklana fasada System zacieniający (stały) Szklenie dachowe	Okładzina fasadowa
Orientacja instalacji	b.d.	b.d.	SW (-27° S) SE (+63° S)	SE
Nachylenie modułów	Fasada – 90° Dach – b.d.	Fasada - 90° Dach – b.d.	Fasady – 90° System zacieniający – 0°	90°
Powierzchnia instalacji	b.d.	47 000 m^2	b.d.	226 m^2
System montażowy	b.d.	b.d.	b.d.	System słupowo-ryglowy
Technologia ogniw	a-Si na podłożu szklanym	b.d.	m-Si	p-Si
Producent ogniw	MSK Corporation	b.d.	Isofotón	Q-Cells AG
Sprawność ogniw	b.d.	b.d.	b.d.	Niebieskie - 15 % Szare - 11 %
Kolor ogniw	Czarno-fioletowy	Czarny	Granatowy	Niebieskie + szare
Rodzaj modułów	Szklane laminaty cienkowarstwowe Photovol Glass	Fasada – szklane moduły cienkowarstwowe, transparentne	Fasada zimna – I-50 CER laminat (podłoże ceramiczne) Fasada szklana - laminat szkło-folia Syst. zacieniający – laminat szkło-folia Dach – laminat szkło-szkło	Laminaty szło-folia
Producent modułów	MSK Corporation	Sharp	b.d.	b.d.
Wymiar modułu / ilość	980x950x10.5 / b.d.	b.d.	b.d. / b.d.	Nieb. 1500x1500 mm/ 68 Nieb.sz. 1500x1500 mm/ 23
Moc modułu	b.d.	b.d.	Fasada zimna – 50 Wp	Nieb. 283 Wp Nieb.sz. 215 Wp
Inwertor	Sanyo Denki Co. Ltd.	b.d.	Solete 2500, SMA Sunny-Boy 1100, SMA Sunny-Boy 850	b.d.
Moc systemu	Fasada – 4 kWp Dach – 58 kWp	5210 kWp	Fasada zimna – 54,8 kWp Fasada szklana - 11,2 kWp Syst. zacieniający – 1,5 kWp Dach – 16,5 kWp	24,4 kWp
Roczne zyski energii	b.d.	b.d.	b.d.	12688 kWh
Koszty inwestycji	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

001 Aerni Fenster AG

Siedzibę dla producenta okien zaprojektowali architekci SSSH AG - Schwörer, Stengele, Shal, Holzemer. Obiekt składa się z dwóch połączonych ze sobą prostopadłościennych brył różnej wysokości i wielkości, co podkreśla podział funkcjonalny zakładu. Od południa usytuowano trzykondygnacyjną strefę administracyjną, od strony północnej przylega do niej niższa hala produkcyjna (fot. 243).

Elewacje

W budynku administracyjnym zastosowano standardowy system wentylowanej okładziny Aluhit, która pozwala na wymienne użycie różnego rodzaju modularnych paneli. Od strony południowej i zachodniej w pasach międzyokiennych konwencjonalne pokrycie metaliczne zastąpiono panelami z modułów fotowoltaicznych. Ciemnoniebieskie pasy instalacji PV wyróżniają się na tle białej elewacji. Część wejściową pośrodku południowej fasady zaakcentowano na całej wysokości budynku przeszkleniem, które łamie wizualnie poziomy układ (fot. 244).

Elewacje hali produkcyjnej pokryto srebrno-szarą blachą falistą. Biegnący przez środek pas okien doświetla wnętrze, w osi dachowych świetlików elewację dzielą akcenty geometryczne w formie odwróconych trójkątów (fot. 245).

Koncepcja ekologiczna

Zastosowano trzy rodzaje systemów dla generowania, przetwarzania i akumulacji energii:

- system fotowoltaiczny (produkcja energii elektrycznej, częściowo z odzyskiem ciepła),
- elektrociepłownię zasilaną biodieslem (produkcja energii elektrycznej i cieplnej),
- podziemny zbiornik akumulacyjny (gromadzenie nadwyżek energii cieplnej).

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

W budynku administracyjnym elewacje wykonano w systemie Aluhit. W pasach międzyokiennych okładzinę tworzą panele fotowoltaiczne. Ułożone w kierunku poziomym, bezramowe moduły z ogniwami krystalicznymi zamocowano do żelbetowej ściany nośnej (fot. 246). Aluminiowa podkonstrukcja zapewnia szczelinę powietrzną dla ich tylnej wentylacji.

Zaletą systemu fasadowego Aluhit jest możliwość wymiennego użycia tradycyjnych materiałów lub modułów PV, oraz łatwy i szybki demontaż pojedynczych paneli w razie potrzeby.

- Świetliki szedowe z systemem odzysku ciepła

W hali produkcyjnej na południowej stronie ośmiu świetlików zainstalowano panele fotowoltaiczne (fot. 247). Kąt nachylenia płaszczyzn świetlika wynosi 63°. Składające się z dwóch modułów PV panele zamocowano do metalowej podkonstrukcji tworząc wodoszczelne pokrycie, dzięki gumowym uszczelkom i wykończeniu z blachy stalowej (fot. 248). Dla uniknięcia wzajemnego zacieniania świetliki oddalono o odległość równą 3,5 wysokości. Przeszklenie od strony północnej równomiernie oświetla wnętrze hali światłem rozproszonym.

Nagrzewające się moduły krystaliczne są wentylowane. Podciśnienie wywołane przez wentylatory dachowe powoduje zasysanie chłodnego powietrza z zewnątrz, które przepływając przez szczelinę między modułami i izolacją świetlików obniża temperaturę ogniw. Jednocześnie specjalny system umożliwia odzyskiwanie nagrzanego powietrza. Kierowane izolowanymi kanałami wentylacyjnymi do centralnego wymiennika ciepła wykorzystywane jest ono do ogrzewania wnętrza hali produkcyjnej.

Nadmiar energii cieplnej gromadzony jest w zbiorniku akumulacyjnym (cysterna z wodą o pojemności 6000 m^3, usytuowana 22 m pod powierzchnią ziemi). W zbiorniku można zmagazynować ok. 50 MWh energii cieplnej. Cały system sterowany jest za pomocą algorytmów DDC (direct digital controll) na podstawie danych zbieranych ze 140 punktów kontrolnych dokonujących pomiarów co 15 min. System określa temperaturę powietrza zasysanego spod fotoogniw i decyduje, czy należy je dogrzać (pobierając ciepło ze zbiornika akumulacyjnego), schłodzić (oddając ciepło do zbiornika) czy bezpośrednio wprowadzić do hali. Pobieranie i oddawanie ciepła do zbiornika staje sie możliwe dzięki zastosowaniu pompy cieplnej zasilanej prądem wygenerowanym przez system fotowoltaiczny.

W niekorzystnych warunkach energia elektryczna może być pozyskiwana ze zlokalizowanej na terenie zakładu elektrociepłowni zasilanej biodieslem, która uruchamiana jest także w razie wykorzystania całych zapasów energii cieplnej ze zbiornika.

Instalacja fotowoltaiczna zaspokaja ~25 % zapotrzebowania na energię elektryczną oraz ~90% zapotrzebowania na ciepłe powietrze dzięki systemowi odzysku ciepła. 10 % energii elektrycznej dostarczane jest z elektrociepłowni, pozostała ilość pobierana jest z sieci energetycznej. W sumie prawie 70% całkowitego zapotrzebowania na energię jest pokrywane za pomocą OZE.



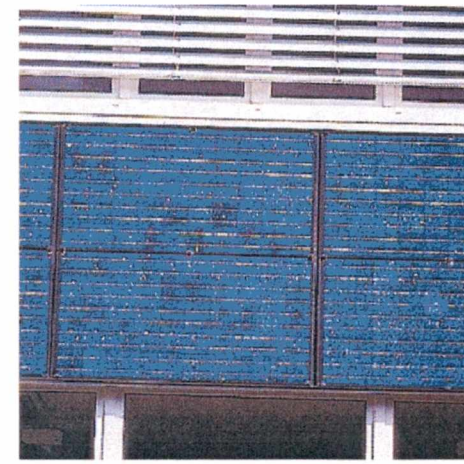
Fot. 243. Widok budynku – z lewej hala produkcyjna, z prawej część administracyjna.



Fot. 244. Frontowa elewacja strefy administracyjnej – pasy okładziny BIPV.



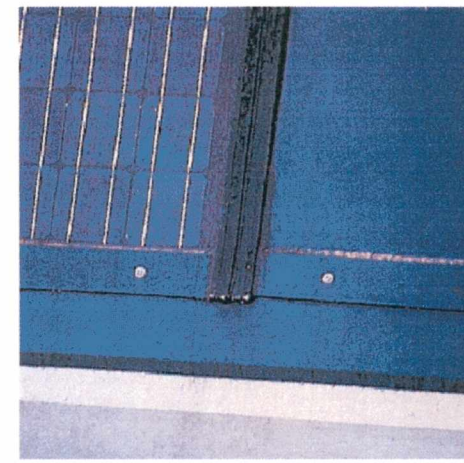
Fot. 245. Elewacja hali produkcyjnej.



Fot. 246. Detal fasadowej okładziny BIPV.



Fot. 247. Świetliki BIPV.



Fot. 248. Detal świetlika BIPV.

002 Centrum technologiczne "Windmühle"

Budynek przemysłowy nazywany „wiatrakiem" zaprojektowano w formie kompleksu 4 bloków rozlokowanych wokół centralnego węzła infrastruktury (fot. 250). Pomieszczenia wykorzystywane są przez różne firmy, dlatego układ funkcjonalno-przestrzenny wnętrza musi charakteryzować się dużą elastycznością.

Elewacje

Zaprojektowano elewacje o modularnej strukturze. W kilku miejscach górne narożniki prostopadłościennych bloków są ukośnie „ścięte" - w tych miejscach zastosowano system słupowo-ryglowy z kwadratowymi podziałami i szklanym wypełnieniem (fot. 249, 252). Pozostałe części elewacji skrzydeł „wiatraka" charakteryzują się linearnym podziałem.

Masywne ściany przedzielono na każdej kondygnacji szeregiem okien doświetlających wnętrze. Nieprzeźroczyste pasy międzyokienne wykonano w systemie fasady wentylowanej z okładziną kamienną. Szare panele z gnejsu mocowane są na podkonstrukcji pod kątem w stosunku do wertykalnej ściany nośnej (rys. 68). Szerokość poszczególnych elementów odpowiada szerokości pojedynczego skrzydła okiennego. Na elewacjach południowych fragmenty okładziny tworzą moduły fotowoltaiczne.

Pomiędzy czterema masywnymi, wizualnie ciężkimi blokami widoczne są w głębi wąskie fragmenty całkowicie przeszklonych ścian centralnego węzła infrastruktury.

Koncepcja ekologiczna

Wzdłuż kondygnacji zaprojektowano pasy okienne doświetlające wnętrze naturalnym światłem dziennym. Ruchome żaluzje chronią przed nadmiernym nasłonecznieniem. Dobry dostęp światła zapewniają również przeszklone fragmenty w górnych narożnikach budynku oraz w strefie komunikacji.

Na fasadzie południowej zainstalowano zintegrowany system fotowoltaiczny.

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

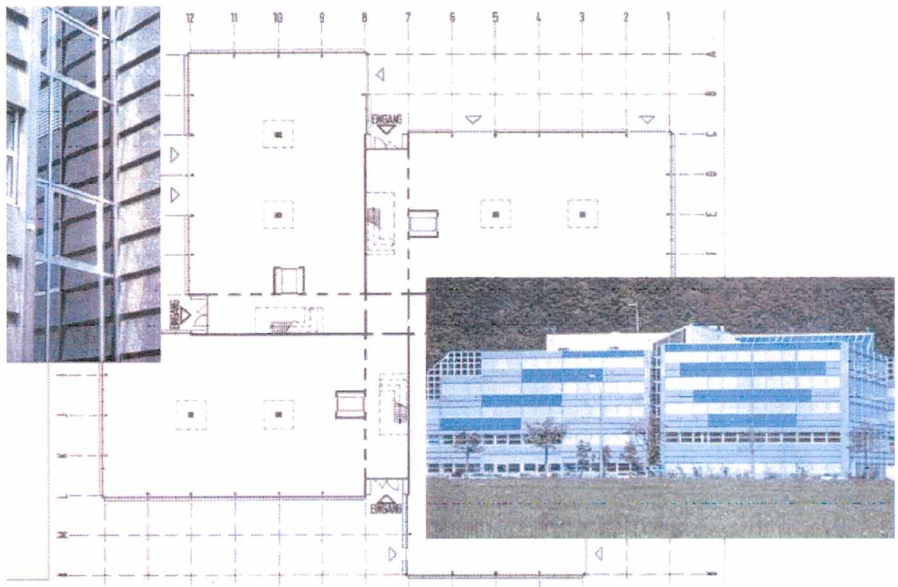
Decyzję o instalacji systemu fotowoltaicznego podjęto dopiero w trakcie budowy obiektu. Na południowych elewacjach dwóch bloków „wiatraka" instalacja BIPV zastąpiła fragmenty konwencjonalnej okładziny kamiennej (fot. 251). Moduły zainstalowano w pasach międzyokiennych.

Bezpośrednia integracja ze strukturą fasady była możliwa tylko dzięki wyprodukowaniu paneli fotowoltaicznych w kształcie identycznym, jak elementy kamiennej okładziny. Moduły ułożono w kierunku poziomym i zamocowano dokładnie tak samo, jak panele z kamienia - do podkonstrukcji, pod takim samym kątem w stosunku do pionowej ściany konstrukcyjnej (fot. 253). Przestrzeń pomiędzy modułem i ścianą umożliwia chłodzenie nagrzewających się ogniw z krzemu polikrystalicznego.

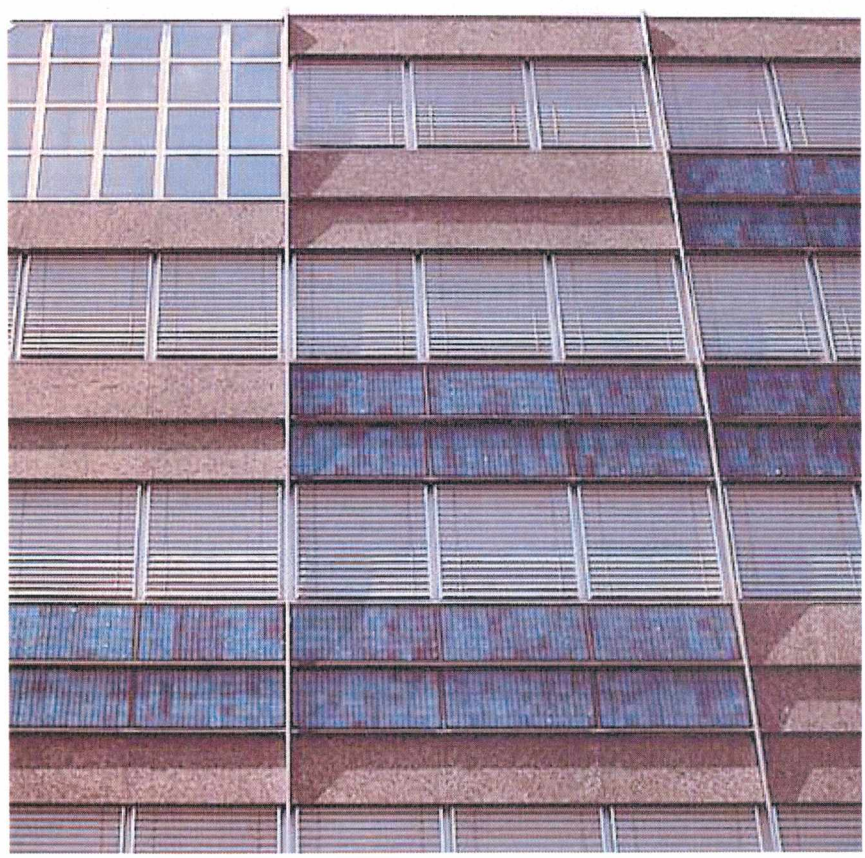
Instalacja BIPV stała się determinującym elementem architektonicznym. Ciemnoniebieskie moduły tworzą na elewacjach geometryczny wzór, wyraźnie kontrastujący z otaczającymi je szarymi panelami z gnejsu (fot. 249, 251).



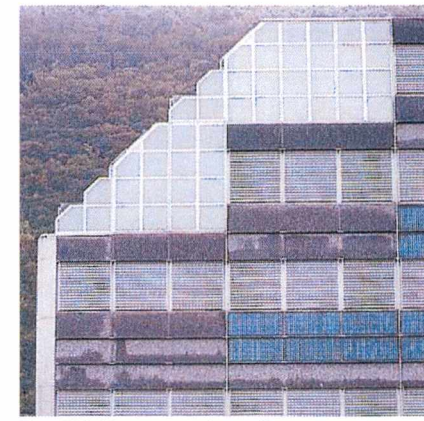
Fot. 249. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.



Fot. 250. Rzut budynku i widok elewacji południowej.



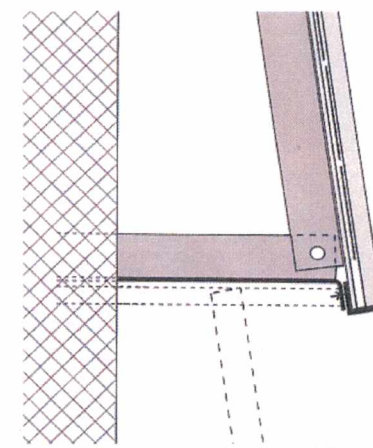
Fot. 251. Okładzina BIPV w połączeniu z okładziną kamienną.



Fot. 252. Fragment elewacji.



Fot. 253. Pasy okładziny BIPV.



Rys. 68. Mocowanie okładziny BIPV.



Fot. 254. Elewacja BIPV.

003 APS Photovoltaic Manufacturing Facility

Advanced Photovoltaic Systems (APS) rozwinęła nowej generacji linię produkcyjną cienkowarstwowych modułów z krzemu amorficznego. Fabryka powstała jako prototypowy zakład dla produkcji innowacyjnych materiałów BIPV oraz ich integracji z powłoką obiektu przemysłowego. Budynek zaprojektowali architekci Kiss + Cathcart silnie zaangażowani w rozwój architektury solarnej i nowoczesnych materiałów budowlanych.

Fabryka składa się z połączonych ze sobą prostopadłościennych brył różnej wielkości. Główny element projektu to szklany sześcian, w którym zlokalizowano centrum kontroli oraz udostępnioną publicznie strefę produkcyjną. Ze specjalnie podwyższonej platformy zwiedzający mogą oglądać linię produkcyjną i wyposażenie kontrolne. Komputery i monitory pokazują status systemów PV, informacje na temat urządzeń HVAC, wykorzystania światła, zewnętrznych warunków atmosferycznych, nasłonecznienia, itd. Sześcian, osadzony na drugiej kondygnacji, wystaje w połowie na zewnątrz podkreślając niezależność tej strefy.

Części produkcyjna i magazynowa znajdują się w długich, prostopadłościennych fragmentach budynku rozciągających się na osi wschód-zachód. Strefę techniczną zlokalizowano od północnej strony w niższej części. Konstrukcję wykonano z drewna klejonego, stali i betonu. Budynek pełni jednocześnie funkcję produkcyjną, wystawową i edukacyjną - w strefie wejściowej wystawiane są produkty firmy i prezentowane efekty badań. Charakterystycznym elementem jest kolorowa, podświetlana betonowa posadzka przed wejściem głównym, na której umieszczono abstrakcyjny diagram przedstawiający ruch słońca i efekt fotowoltaiczny na poziomie atomowym.

Elewacje

Stalowo-betonowe elewacje z zewnątrz w większości prezentują się jako gładkie, betonowe ściany z nierównomiernie rozłożonymi kostkami szklanymi (fot. 255). W ciągu dnia zapewniają one naturalne oświetlenie wnętrza, nocą sztuczne oświetlenie strefy zewnętrznej. Wyróżniającym się akcentem jest wystający do góry sześcian (ściana osłonowa z aluminiowym szkieletem wypełnionym panelami ze szkła i modułami PV) oraz znajdująca się pod nim markiza BIPV (fot. 256, 259).

Koncepcja ekologiczna

Trzy różne systemy fotowoltaiczne łącznie zapewniają energię dla oświetlenia i klimatyzacji centrum kontroli. Nadwyżki zielonej energii kierowane są do sieci głównej budynku. System fotowoltaiczny zaprojektowano w taki sposób, aby maksymalnie wykorzystać jego możliwości w zarządzaniu energią, tzn. generować energię elektryczną, jednocześnie redukując zyski ciepła z nagrzewających się ogniw.

Instalacja BIPV

Dla zademonstrowania potencjału cienkowarstwowych materiałów a-Si, przetestowania ich sprawności i możliwości integracji z budynkiem zainstalowano trzy prototypowe systemy BIPV.

- Szklana ściana osłonowa

W centralnym sześcianie wypełnienie ściany osłonowej tworzą standardowe tafle szkła barwionego oraz 91 szklanych laminatów PV o łącznej mocy 3,2 kWp. W celach badawczych umieszczono je na wszystkich czterech, różnie zorientowanych ścianach (fot. 256, 259). Moduły PV wyprodukowano na zamówienie dostosowując ich rozmiary (76 x 152 cm) do konstrukcji elewacji. Standardowy system aluminiowego szkieletu fasady zmodyfikowano dla umożliwienia tylnej wentylacji paneli. Ciepło promieniowane od nagrzewających się ogniw wydostaje się na zewnątrz dzięki naturalnej konwekcji poprzez otwory w ryglach. Niektóre elementy pionowe konstrukcji użyto jako przewody dla kierowania ciepłego powietrza w górę. Dzięki wentylacji pomimo gorącego klimatu energia zużywana do chłodzenia i oświetlenia szklanego sześcianu nie przekracza 3,5 kW.

Od strony zewnętrznej fasada wygląda jednolicie, od wewnątrz widoczne są trzy różne materiały. Większość pól wypełnienia struktury uszczelniono nieprzeźroczystymi panelami ze sklejki. Na ścianie południowej 10 szklanych jednostek stanowią przezierne tafle szkła, obok których dla porównania pozostawiono bez izolacji 2 moduły PV pokazujące relatywną transparentność materiału (fot. 261).

- Świetlik dachowy

Zastosowano standardową konstrukcję z wypełnieniem w postaci konwencjonalnego szkła oraz 8 szklanych modułów PV o łącznej mocy 400 Wp. Moduły nachylone pod kątem 10° w kierunku wschód-zachód transmitują ~5% światła słonecznego. W połączeniu z całkowicie transparentnym szkłem zapewniają komfortowe warunki oświetlenia wnętrza (fot. 257, 260, 262).

- Markiza zacieniająca

System zacieniający zainstalowano nad wejściem i oknami w elewacji południowej (fot. 256, 258, 259). Zastosowano 96 modułów nachylonych pod kątem 22,5° o łącznej mocy 4,8 kWp. Szklana obudowa modułów jest przymocowana do stalowej konstrukcji wykonanej z rur i aluminiowych cięgien. W tym wypadku wykorzystano typowe mocowanie dla instalacji na gruncie. Markiza jest generatorem energii jednocześnie biorącym udział w kontroli oświetlenia i klimatu wnętrza.



Fot. 255. Widok budynku – elewacja południowa.



Fot. 256. Strefa wejściowa.



Fot. 257. Dachowy świetlik BIPV.



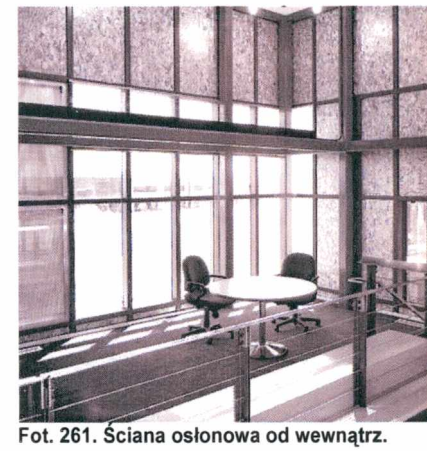
Fot. 258. Markiza zacieniająca z modułami fotowoltaicznymi.



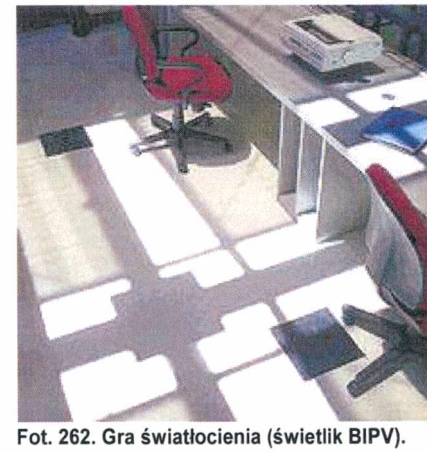
Fot. 259. Szklany sześcian BIPV i markiza.



Fot. 260. Świetlik BIPV – widok od wewnątrz.



Fot. 261. Ściana osłonowa od wewnątrz.



Fot. 262. Gra światłocienia (świetlik BIPV).

004 Fabryka mebli Wilkhahn

Firma znana z innowacyjnych strategii zarządzania silnie akcentuje kwestie związane z komfortem miejsca pracy. Wg producenta *„nie można wytwarzać przyjaznych dla użytkownika produktów w wyalienowanym, nieludzkim otoczeniu. Budynek fabryki może być czymś więcej niż tylko maszyną pokrytą blachą falistą"*. Architektura jest zatem ważnym elementem kreującym obraz przedsiębiorstwa, odzwierciedla filozofię firmy – brak hierarchii, przywiązanie wagi do jakości, dbałość o środowisko i pracowników. Dużą halę produkcyjną podzielono na kwadratowe moduły odpowiednie dla pracy małych, autonomicznych grup. Pomieszczenia biurowe rozproszono w regularnych odstępach na całej długości hali dla integracji różnych stref.

Budynek fabryki zaprojektowany przez Herzoga powiązano funkcjonalnie z sąsiadującymi halami produkcyjnymi. Szkice architekta przedstawiają genezę koncepcji obiektu – 3 przęsła dachowe trzymane przez 4 „tapicerów" (rys. 69). Idea została sugestywnie zrealizowana - „tapicerowie" przekształceni zostali w 4 szerokie na 6,40 m nawy, pomiędzy którymi rozwieszono belki z klejonego drewna. Diagonalne, krzyżujące się stalowe cięgna usztywniają konstrukcję. Przyziemie tworzy masywna konstrukcja żelbetowa wpisana w stok, konstrukcję hali nad stropem wykonano z drewna klejonego.

Elewacje

Zaprojektowane ze szczególną dbałością elewacje odzwierciedlają zasadę konstrukcyjną budynku. Krzyżujące się w nawach stalowe cięgna pomalowano na niebiesko dla podkreślenia dynamiki i industrialnego charakteru architektury.

Fasady od strony zachodniej i wschodniej przeszklono prostokątnymi panelami z podwójnego szkła wypełnionego transparentną izolacją termiczną (fot. 263). W dzień wyglądają one z zewnątrz jak z mlecznego szkła, nocą promieniują światłem. Na wysokości oczu zaprojektowano pas transparentnych okien. Krótsze elewacje od strony północnej i południowej pokryto szkłem oraz izolowanymi panelami typu sandwicz w obudowie z desek modrzewiowych (fot. 264).

Koncepcja łączy w sobie tradycję i nowoczesność – naturalne materiały dobrze współgrają z typowo industrialnymi elementami i zaawansowanymi technologiami, takimi jak fotowoltaika.

Koncepcja ekologiczna

Budynek zaprojektowano kładąc szczególny nacisk na odpowiedni dobór materiałów budowlanych. Zastosowano duże ilości drewna – drewniana jest konstrukcja nośna i pośrednia, a także okładziny elewacji, które wykonano z desek modrzewiowych. Zielone dachy chronią halę produkcyjną od nadmiernych zysków ciepła i redukują hałas.

Ważnym elementem projektu jest zapewnienie oświetlenia naturalnym światłem dziennym w strefie produkcyjnej. Fasadę zachodnią i wschodnią wykonano z podwójnego szkła wypełnionego przeświecającą izolacją termiczną. Przepuszczając światło chroni ona jednocześnie od przegrzania i oślepiania pracowników. Do wnętrza przechodzi delikatne, rozproszone światło na podobieństwo japońskiego papieru ryżowego *shoji*. Pas transparentnych, otwieranych okien na wysokości oczu pracowników umożliwia im kontakt z otoczeniem, jest także elementem naturalnej wentylacji. Urządzenia wentylacji wyposażono w systemy odzyskiwania ciepła przez pompy cieplne.

Woda deszczowa odzyskiwana z powierzchni terenu oraz zielonych dachów zbierana jest w specjalnym stawie przeciwpożarowym.

Herzog eksperymentuje w swoich projektach z różnymi rozwiązaniami energooszczędnymi. Na elewacji fabryki zrealizowano prototypowy system fotowoltaiczny.

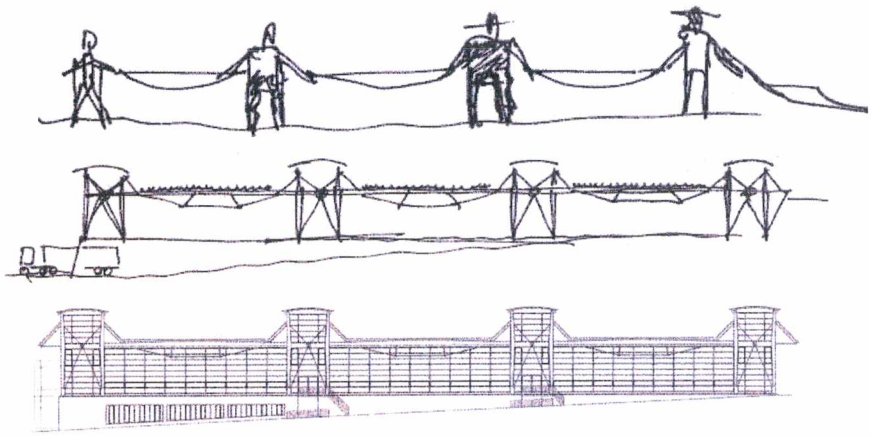
Instalacja BIPV

- Szklane zadaszenie

Na południowej fasadzie zainstalowano system BIPV w postaci szklanego zadaszenia (fot. 264). W czasach realizacji fabryki prototypowa instalacja z modułów z krzemu amorficznego (a-Si) była jednym z pierwszych zastosowań tego materiału poza warunkami laboratoryjnymi.

Strukturę dodaną do elewacji wykonano w metalowej konstrukcji ze szklanym wypełnieniem ze zwykłego transparentnego szkła oraz szklanych modułów PV (fot. 265-268). Nachylone pod kątem 45°, zorientowane na południe i niezacienione płaszczyzny paneli zapewniają idealne warunki nasłonecznienia ogniw. W sumie zastosowano 150 bezramowych modułów cienkowarstwowych (5 pól po 30 modułów) ze szkła klejonego, mocowanych w standardowym systemie na listwy dociskowe (fot. 267).

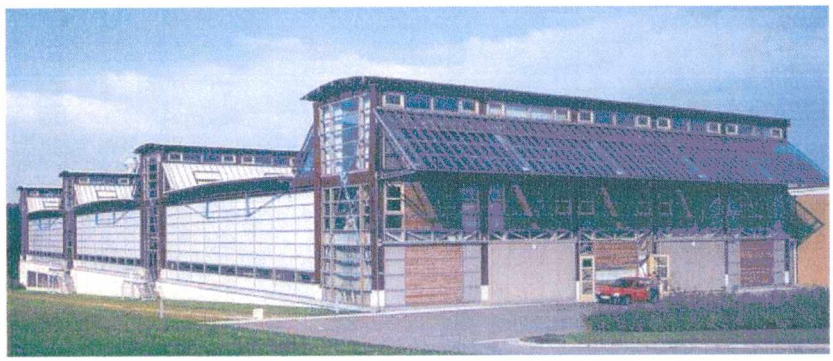
System BIPV wytwarza energię elektryczną o mocy 4 kW, która wykorzystywana jest do zasilania elektrycznych wózków widłowych.



Rys. 69. Schemat koncepcyjny budynku.



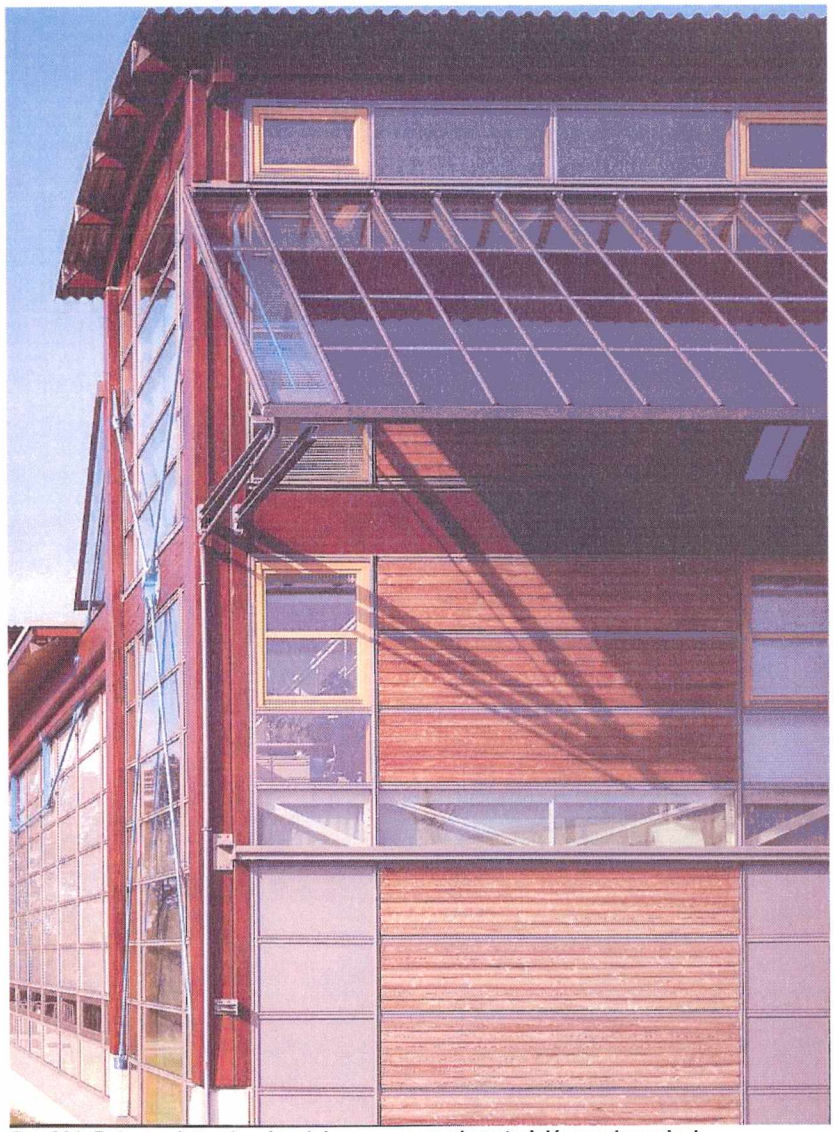
Fot. 265. Konstrukcja zadaszenia.



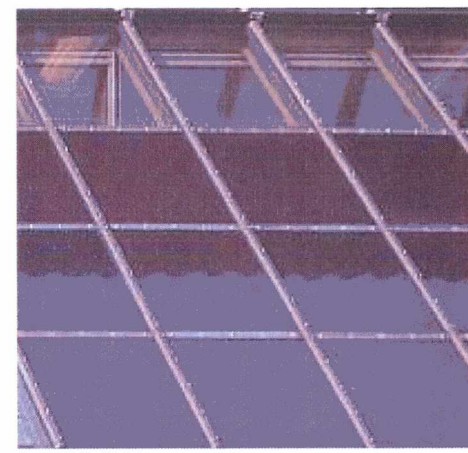
Fot. 263. Widok elewacji zachodniej i południowej.



Fot. 266. Zadaszenie BIPV.



Fot. 264. Połączenie tradycyjnych i nowoczesnych materiałów w elewacjach.



Fot. 267. Szklane moduły z krzemu amorficznego.



Fot. 268. Zadaszenie BIPV – widok od spodu.

005 ELSA - Joint Research Centre (JRC)

W 1992 centrum badawczo-rozwojowe Unii Europejskiej Joint Research Centre (JRC) zainwestowało w projekt pilotażowy o nazwie ECOCENTRE Ispra. Projekt realizowany ze wsparciem finansowym Parlamentu Europejskiego miał na celu demonstrację możliwości ekologicznej i ekonomicznej modernizacji starzejących się centrów badawczych poprzez aplikację nowoczesnych technologii.

Elewacje

Wentylowane fasady w metalicznej konstrukcji słupowo-ryglowej wykonano w systemie WICTEC 50® firmy WICONA®. Okładzinę pionowych ścian stanowią profilowane metalowe panele w kolorze szarym oraz czarno-brunatne, szklane panele fotowoltaiczne. Dla złamania monotonii wielkich powierzchni ścian naroża budynku i płaszczyzny pokryte różnymi materiałami (metal, szkło, moduły) oddzielono pasami w kolorze czerwonym (fot. 269). Wyróżniająca się czerwień dodatkowo przyciąga wzrok – wywołanie zainteresowania obserwatora uznano za jeden z najbardziej istotnych elementów projektu modernizacji.

Koncepcja ekologiczna

W modernizowanym budynku laboratoryjnym należącym do instytutu ELSA zastosowano technologię fotowoltaiczną zarówno ze względów ekologicznych, jak i edukacyjnych. Aplikacja na fasadzie miała pełnić rolę demonstracyjną w szczególności dla architektów - głównym celem było pokazanie możliwości wykorzystania technologii OZE w kształtowaniu budynków.

Instalację fasadową wybrano ze względu na jej najlepszą widoczność, a także z uwagi na brak dodatkowych kosztów związanych z kupnem drogiego terenu (w porównaniu do instalacji wolnostojącej). Dla zwiększenia zainteresowania systemem fotowoltaicznym na fasadzie zainstalowano ekran wyświetlający dane na temat ilości wygenerowanej energii elektrycznej (fot. 269).

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

Poprawa wizualnego aspektu budynku była bardzo istotnym elementem procesu modernizacji. Większą wagę przyłożono do estetycznych walorów instalacji fotowoltaicznej oraz jej widoczności, niż do maksymalnej mocy systemu.

Ze względu na ograniczenia środków finansowych konieczne było pokrycie modułami PV jak największej płaszczyzny południowej fasady najtańszym kosztem. Jedynie technologia cienkowarstwowych modułów z krzemu amorficznego a-Si umożliwiała wówczas realizację zamierzonych celów bez poświęcania dostępnej powierzchni. Ze względu na przylegający do elewacji budynek biurowy tylko pół wysokości fasady pokryto modułami PV (fot. 269, 271).

Zastosowano szklane moduły fasadowe Optisol® wykonane na bazie cienkowarstwowego modułu wyprodukowanego przez APS (ogniwa z krzemu amorficznego osadzone na szkle). Wg własnej technologii moduł zintegrowała z podwójnym szkleniem Flachglas Solartechnik FlagSol. Panel okładziny składa się z następujących warstw: szkło ESG Optiwhite (4 mm) / żywica akryliczna (1 mm) / cienkowarstwowy moduł szklany APS (3 mm) / żywica akryliczna (1 mm) / szkło ESG Optifloat (4 mm).

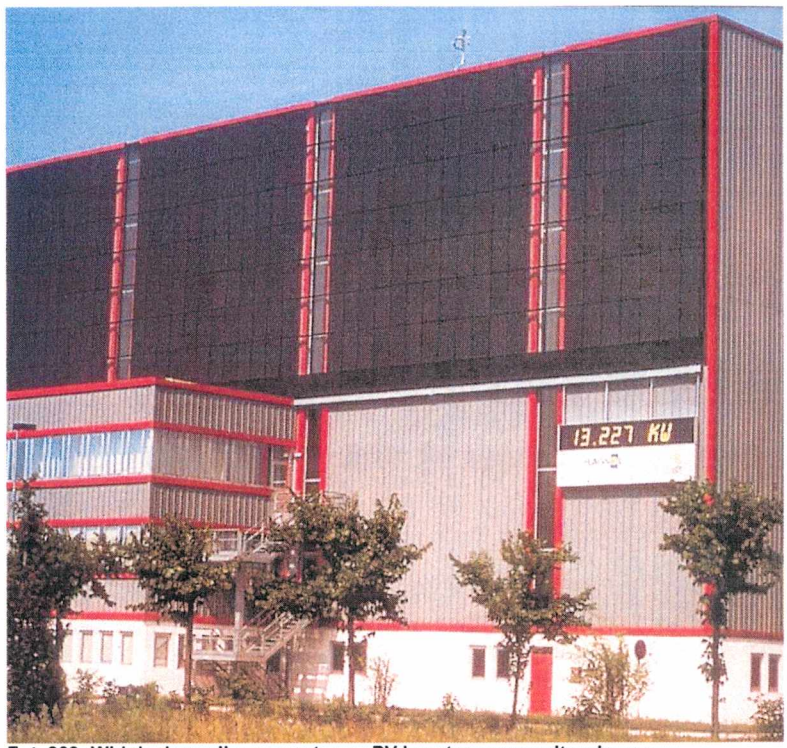
Zainstalowano w sumie 420 modułów, które pokryły powierzchnię 544 m^2. Podkonstrukcję okładziny wykonano z profili aluminiowych typowych dla budownictwa industrialnego, zamocowanych do słupów konstrukcji nośnej (rys. 70). Okablowanie elektryczne umieszczono w wydrążonych profilach. Dla uniknięcia zacienienia powierzchni aktywnej przez słupowo-ryglową strukturę fasady pomiędzy modułami zastosowano płaskie listwy (fot. 273).

Między modułami a istniejącą izolacją termiczną ściany pozostawiono 14 cm ze względu na przewidywany w dalszych latach system odzysku ciepła (poprzez wymiennik ciepła). W pustce powietrznej tworzy się efekt kominowy – przepływ powietrza chłodzi tylną stronę modułów.

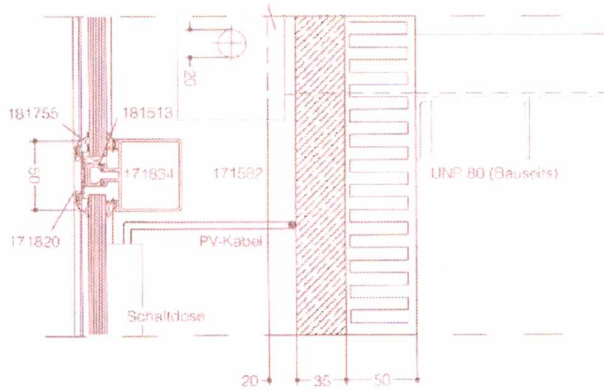
W trakcie realizacji konieczne okazało się wzmocnienie konstrukcji nośnej budynku. Badania wykazały, iż dodanie dodatkowych 20 ton może spowodować nieodwracalne zmiany i deformacje stalowej struktury.

Dla zwiedzających zainstalowano interaktywny system monitorujący, który podaje wszystkie parametry systemu BIPV. Umieszczony na zewnątrz monitor pokazuje ilość wyprodukowanej energii od początku uruchomienia systemu oraz ilość energii sprzedawanej do sieci energetycznej (fot. 269). System mierzy nasłonecznienie powierzchni, a także temperaturę modułów na górze, w środku i w dolnej części fasady.

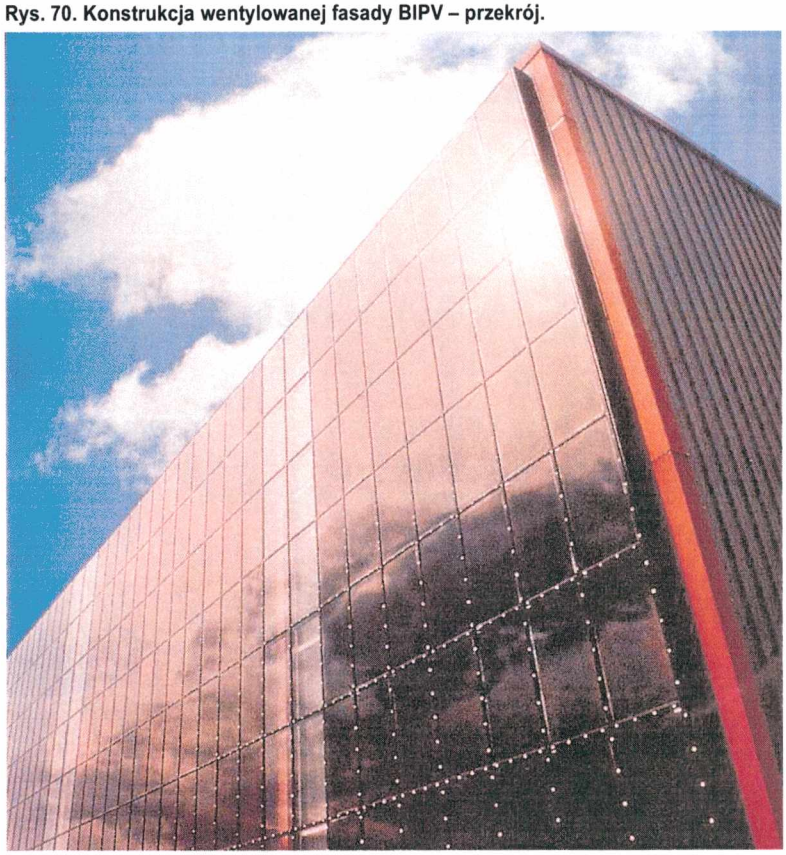
Po pewnym okresie pracy systemu fotowoltaicznego rezultat uznano za satysfakcjonujący zarówno pod względem estetycznym, jak i funkcjonalnym.



Fot. 269. Widok elewacji z generatorem PV i systemem monitorującym.



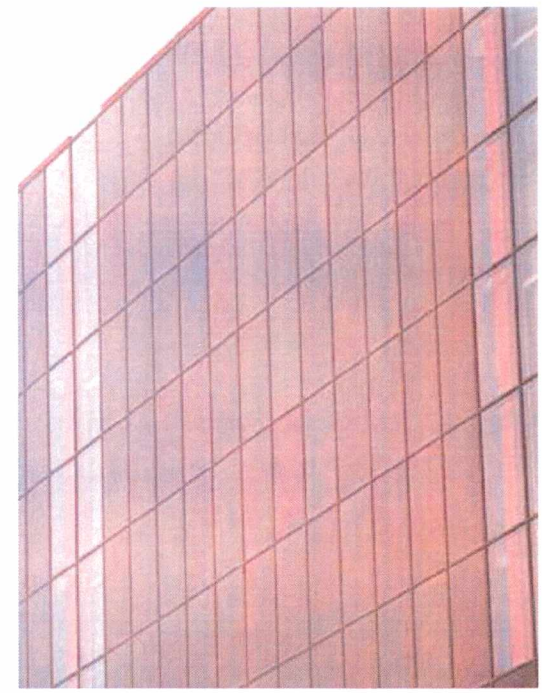
Rys. 70. Konstrukcja wentylowanej fasady BIPV – przekrój.



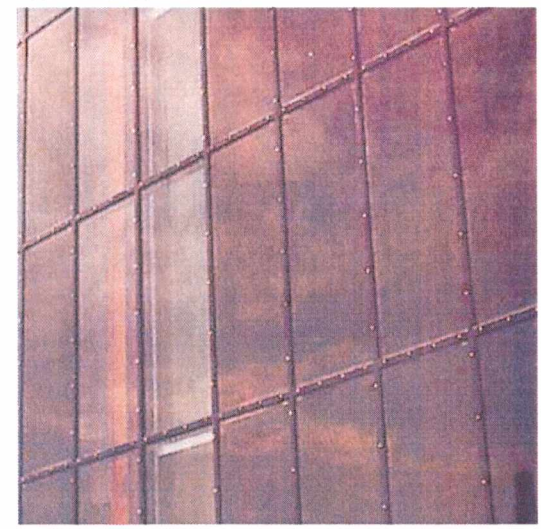
Fot. 270. Narożnik budynku z okładziną BIPV – moduły z krzemu amorficznego.



Fot. 271. Fragment elewacji.



Fot. 272. Okładzina BIPV.



Fot. 273. Mocowanie modułów PV.

006 Stadtmühle CMZ Zürich

Młyn zbożowy Stadtmühle CMZ Zürich (Swissmill) należy do grupy Coop. W ramach renowacji silosa w Zürichu zrealizowano nowe fasady oraz dwie instalacje fotowoltaiczne.

Elewacje

W ramach renowacji obiektu fasady pokryto nową okładziną (fot. 274, 275). Zastosowano system fasady wentylowanej Aluhit. Modularne panele z blachy w kolorze srebrnym oraz czarne moduły fotowoltaiczne zamocowano na podkonstrukcji metalowej.

Wysoki i smukły budynek dobrze nadaje się dla fasadowej instalacji BIPV – główna elewacja zorientowana w kierunku południowym jest dobrze widoczna i niczym nie zacieniona.

Koncepcja ekologiczna

Szwajcarskie firmy spożywcze Coop i Swissmill inwestują od lat w technologie solarne. Obok kwestii dotyczących relokacji transportu oraz segregacji odpadów, kwestie energetyczne uznają za główne zadanie w realizacji polityki środowiskowej.

Wg badań przeprowadzonych przez zakłady energetyczne miasta Zürich (EWZ) w roku 1995, 7% respondentów było skłonnych zapłacić za solarną energię elektryczną, nawet po wyższej cenie od energii konwencjonalnej. W odpowiedzi EWZ stworzyła specjalny program wymiany – firma energetyczna może funkcjonować jako aktywny pośrednik pomiędzy producentem a konsumentem energii solarnej (skupując wygenerowaną energię fotowoltaiczną od dostawcy i odsprzedając ją dalej klientom promującym energie alternatywne). Pierwszy kontrakt zrealizowano w roku 1996 instalując system fotowoltaiczny na budynku Stadtmühle CMZ. Do dziś w ramach programu zainstalowano w sumie 120 systemów PV.

Instalacja fotowoltaiczna na budynku młyna zapewniła firmie pozytywny obraz postępowego przedsiębiorstwa przemysłowego przyjaznego środowisku.

Instalacja BIPV

System fotowoltaiczny na budynku Stadtmühle CMZ był pierwszą instalacją fotowoltaiczną w Zürichu. Projekt o nazwie „Sirius" odniósł duży sukces i pociągnął za sobą kolejne realizacje.

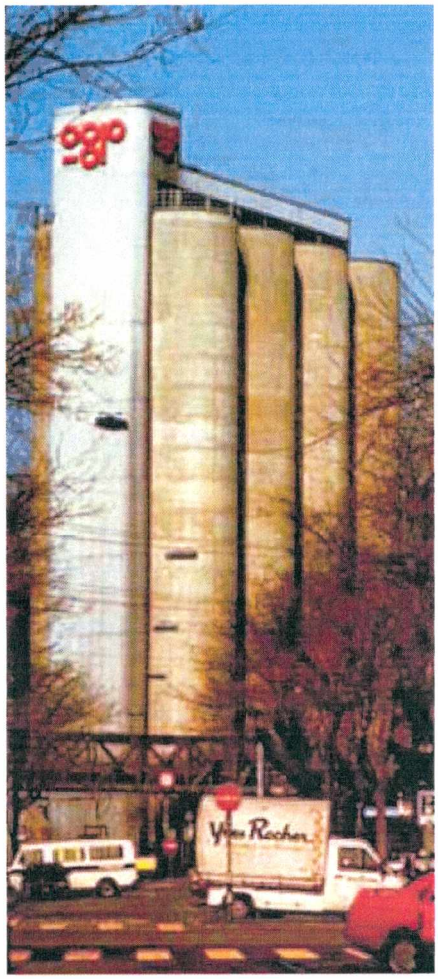
- Wentylowana okładzina fasadowa

Na pionowej fasadzie od strony południowej zastosowano moduły wyprodukowane przez firmę BP Solar (typ BP 585) – bezramowe, typu szkło-folia z ogniwami monokrystalicznymi SATURN. W budowie modułów użyto ogniwa w kolorze czarnym oraz tylną folię Tedlar w kolorze antracytowym. W ten sposób instalacja tworzy wizualnie jednolitą, czarną powierzchnię silnie kontrastującą z metaliczno-srebrnymi panelami elewacyjnymi (fot. 276, 277).

Prostokątne moduły PV pokrywają w sumie 232 m^2 powierzchni. System o mocy 17 kWp rocznie generuje 23 000 kWh energii elektrycznej. Energia skupowana jest przez sieć energetyczną EWZ, a następnie wg specjalnego programu sprzedawana zainteresowanym użytkownikom.

- Instalacja dachowa

Na płaskim dachu zainstalowano system fotowoltaiczny o mocy 15 kWp.



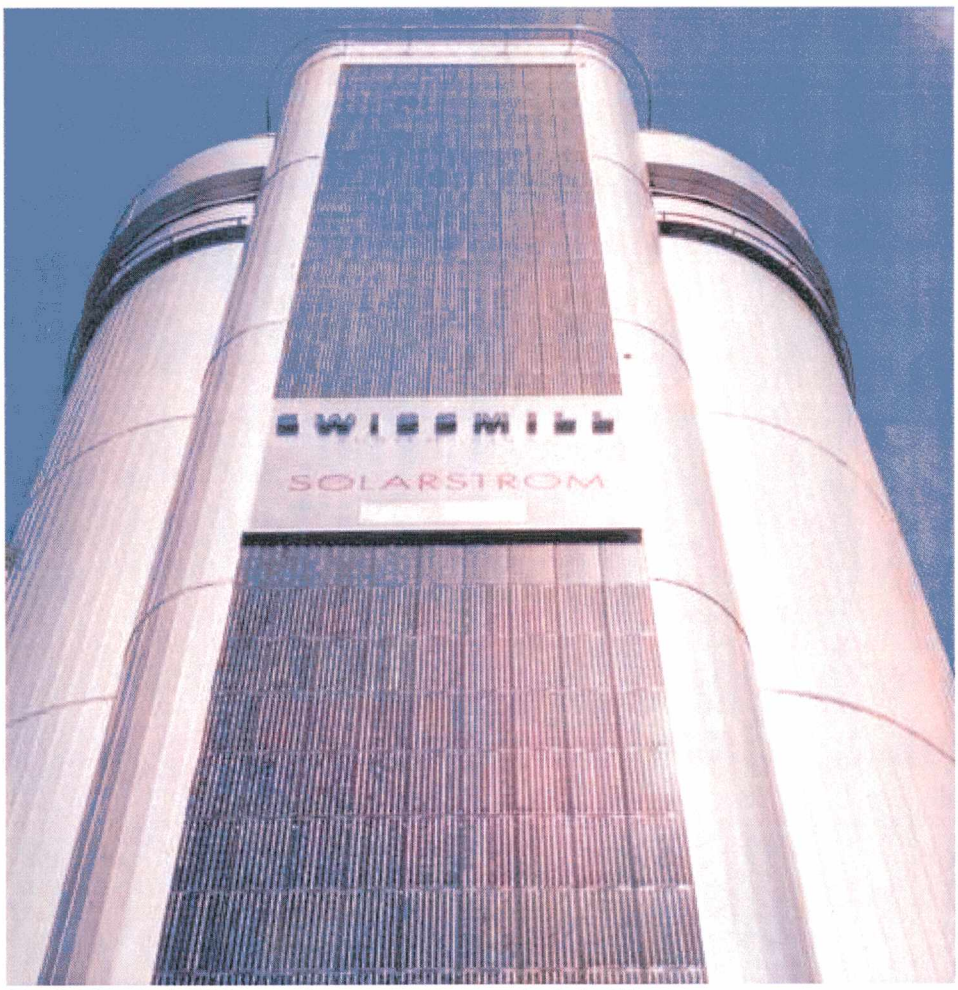
Fot. 274. Budynek przed renowacją.



Fot. 275. Budynek po renowacji.



Fot. 277. Fasada południowa.



Fot. 276. Instalacja BIPV - wentylowana okładzina w systemie Aluhit.

007 EBK Konstanz

Głównym założeniem w projekcie nowego zakładu oczyszczania miasta Konstanz było stworzenie solarnej elektrowni ze współudziałem różnych firm i mieszkańców. W ten sposób przy wjeździe do miasta powstał budynek, który stał się symbolem ekologicznej działalności przedsiębiorstwa komunalnego i jego wkładu w rozwój energii odnawialnych (fot. 278).

Architekci Schaudt Architekten BDA zaprojektowali w budynku pomieszczenia biurowe, socjalne, stołówkę, laboratorium, pomieszczenia techniczne, oczyszczalnię ścieków i archiwum. Układ funkcjonalno-przestrzenny podzielono na dwie strefy – od strony północnej zaprojektowano 5-kondygnacyjny wąski, prostopadłościenny blok z mniejszymi pomieszczeniami biurowymi. Drugą część obiektu od strony południowej przeznaczono na większe pomieszczenia.

Charakterystycznie ukształtowana forma graniastosłupa trójkątnego pokryta jest schodzącym do parteru metalicznym dachem będącym jednocześnie południową fasadą. Pomiędzy strefą północną a południową znajduje się przeszklona część z windą i klatką schodową pełniąca rolę bufora.

Konstrukcję budynku wykonano z betonu i stali.

Elewacje

Najbardziej charakterystycznym elementem budynku jest nachylona pod katem 45° metaliczno-szklana przegroda schodząca aż do przeszklonego parteru. Strukturę o powierzchni 900 m^2 wykonano w konstrukcji stalowej z pokryciem ze srebrnej profilowanej blachy, którą przecinają pasy otwieranych okien. Dodatkowo, na metalowej podkonstrukcji zamocowano instalację fotowoltaiczną, pełniącą rolę systemu zacieniającego. Srebrno-niebieska elewacja/dach nazywana jest solarnym żaglem.

Ściany pionowe izolowane termicznie panelami typu sandwicz pokryto aluminium oraz drewnem, przeszklenia wykonano w konstrukcji słupowo-ryglowej. W elewacji północnej regularnie rozmieszczono otwory okienne, okładzinę części nieprzeźroczystej wykonano z paneli aluminiowych w kolorze szarym (fot. 281). Elewacja wschodnia o charakterystycznym trójkątnym kształcie pokryta została w dużej części drewnem, którego kolor ożywił szaroniebieski budynek (fot. 280).

Dzięki charakterystycznej formie, trójkątnym kształtom i nachylonym płaszczyznom, architektura budynku jest bardzo dynamiczna. Panele fotowoltaiczne umieszczone w pewnej odległości od pokrycia południowej elewacji/dachu nachylono pod innym kątem, co jeszcze bardziej podkreśla dynamizm i nadaje bryle lekkości.

Koncepcja ekologiczna

Strukturę budynku zaprojektowano w taki sposób, aby umożliwić pasywne i aktywne wykorzystanie energii solarnej. Duże przeszklenia od strony zachodniej oraz południowej umożliwiają zyski ciepła z promieniowania. Magazynowane jest ono w masywnych betonowych stropach i ścianach konstrukcji. W celu uniknięcia nadmiernego przegrzania zapewniono cyrkulację powietrza poprzez otwierane klapy wlotowe i wylotowe oraz otwierane skrzydła okienne. Naturalne przewietrzanie reguluje klimat i temperaturę wnętrza.

Poszczególne strefy budynku mają różną temperaturę - w pomieszczeniach socjalnych z ogrzewaniem podłogowym temperatura wynosi 24° C, w biurach 21° C, natomiast w strefie technicznej i buforowej 16° C. Automatycznie regulowane termostaty w strefie oczyszczalni ścieków umożliwiają regulację klimatu i dostosowanie do warunków panujących na zewnątrz.

Wszystkie nieprzeźroczyste fragmenty ścian zewnętrznych bardzo dobrze zaizolowano termicznie (od strony północnej 10 cm), przeszklenia wykonano ze szkła izolacyjnego.

Zainstalowany od strony południowej system fotowoltaiczny wykonany w formie semitransparentnych lameli jednocześnie chroni przed nadmiernym nasłonecznieniem.

Instalacja BIPV

- System zacieniający

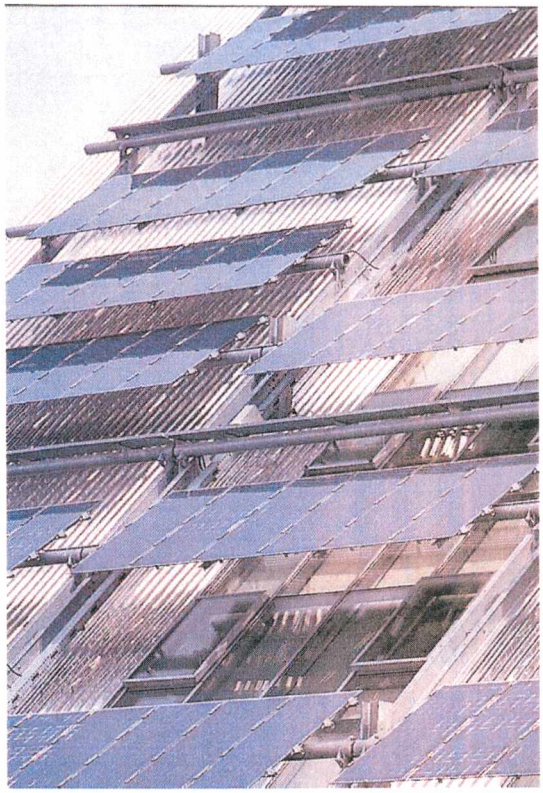
Od strony południowej zaprojektowano fotowoltaiczny system zacieniający, który stał się determinującym elementem architektury budynku.

Instalacja składa się z 252 modułów podzielonych na 42 sekcje po 6 elementów. Zastosowano moduły o wymiarach 1000 x 2160 x 12 mm i wadze 58 kg, z ogniwami z krzemu polikrystalicznego. Moduły zamocowano pośrednio na podkonstrukcji z rur metalowych (fot. 279, 282). Dla optymalizacji zysków z promieniowania słonecznego nachylono je pod kątem 32°. W ten sposób znajdują się w pewnej odległości od pokrycia (o innym nachyleniu), co umożliwia dobre chłodzenie nagrzewających się elementów.

Szklane moduły są częściowo transparentne. Elementy znajdujące się nad oknami pełnią dodatkowo rolę systemu zacieniającego, natomiast te nad pokryciem metalowym redukują obciążenie termiczne przegrody (fot. 279).



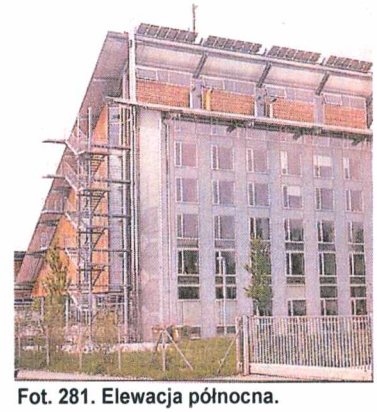
Fot. 278. Widok budynku od strony południowej.



Fot. 279. Panele PV na podkonstrukcji z rur metalowych.



Fot. 280. Nachylona przegroda o funkcji dachu/elewacji z systemem BIPV.



Fot. 281. Elewacja północna.



Fot. 282. Mocowanie modułów PV.

008 Solar-Fabrik AG

Ideą projektu było uzyskanie maksymalnej powierzchni elewacji zorientowanej w kierunku południowym. Układ funkcjonalno-przestrzenny podzielono na 3 główne strefy. Od strony południowej w długiej na 60 m szklanej hali odbywają się spotkania, konferencje, wystawy, jest tam również bistro dla gości i pracowników. Wzdłuż hali w czterokondygnacyjnym linearnym trakcie zgrupowano biura z apartamentami. Od strony północnej zlokalizowano część produkcyjną oraz sprzedaż eko-produktów.

Elewacje

Pochylona fasada szklanej hali jest najbardziej charakterystycznym elementem determinującym architekturę fabryki (fot. 283). Główna struktura z pełnych słupów i okrągłych, horyzontalnie umieszczonych rur niesie ścianę osłonową oraz zewnętrzny system zacieniający BIPV (rys. 72). Wypełnienie aluminiowego szkieletu ściany osłonowej (system słupowo-ryglowy) tworzą panele szkła izolacyjnego oraz szklane moduły PV. Dla kontrastu w strefie biurowej pionowe, masywne ściany pokryto piaskowcem. Część produkcyjną wykonano w systemie szkieletu stalowego, elewacje pokryto blachą trapezową.

Koncepcja ekologiczna

Dzięki umiejętnemu powiązaniu technologii OZE z energooszczędnymi technikami budowlanymi zrealizowano zeroemisyjną fabrykę modułów PV. Punktem wyjścia dla koncepcji energetycznej było maksymalne wykorzystanie promieniowania słonecznego. Szklana hala z pochyloną fasadą zorientowaną w kierunku południowym pasywnie i aktywnie przetwarza energię solarną.

System pasywny pokrywa ~15 % zapotrzebowania na energię cieplną do ogrzewania. W słoneczne dni szklana hala staje się kolektorem ciepła, które akumulowane jest przez masywne elementy konstrukcji (betonowe stropy, kamienne ściany). Nachylenie fasady (73°) dostosowane do kierunku padania promieni słonecznych zimą zwiększa komfort termiczny przy małym nakładzie technicznym. Istotną rolę w koncepcji energetycznej odgrywa kompaktowa forma budynku i dobra izolacja zewnętrznej powłoki (w trakcie biurowym mury z piaskowca z 16 cm ociepleniem z włókna celulozowego, w strefie produkcyjnej szkieletowe ściany z izolacją grubości 10 cm).

Dla zapewnienia odpowiednich warunków mikroklimatu wnętrza zaprojektowano system podziemnych kanałów grzewczo-chłodzących i naturalną wentylację. Świeże powietrze zasysane przez otwory w dolnej części szklanej fasady po ogrzaniu wskutek efektu kominowego unosi się ku górze i wydostaje na zewnątrz przez otwierane panele. Okna w północnej elewacji strefy biurowej pozwalają na krzyżowanie się ciągów powietrza. Poprawie warunków klimatu służy również zieleń wewnątrz foyer. Przed szklaną arkadą zaprojektowano zbiornik wodny, który reguluje różnice temperatur. Zintegrowany z fasadą zewnętrzny system zacieniający BIPV zapobiega przegrzaniu i oślepianiu, jednocześnie generując energię elektryczną.

Szklana hala nie jest ogrzewana. Dzięki pasywnej metodzie pozyskiwania energii solarnej i systemowi podziemnych kanałów powietrznych we wnętrzu utrzymuje się stała temperatura. Przestrzeń hali stanowi bufor termiczny dla strefy biurowej. W niektórych wypadkach ogrzewanie jest uruchamiane – energię dostarcza elektrociepłownia opalana olejem rzepakowym z lokalnej uprawy (rys. 71). Elektrociepłownia generuje 155 000 kWh/rok energii elektrycznej oraz 205 000 kWh energii cieplnej. Wykorzystanie biopaliwa w procesach produkcyjnych pozwala dodatkowo zredukować emisje CO_2.

Instalacja BIPV

Trzy różne instalacje BIPV zintegrowane z fasadą generują zieloną energię, regulują klimat w szklanej hali, pełnią również rolę edukacyjną. Jako atrakcyjny element estetyki nowoczesnego budynku pokazują jednocześnie ewentualnym partnerom i klientom, iż firma polega na własnych produktach (wykorzystano moduły własnej produkcji).

- Wentylowana okładzina fasadowa

Instalacja BIPV o mocy 3,9 kWp pokrywa powierzchnię 40 m^2. Elementy nachylono pod kątem 73°. System pełni funkcję demonstracyjną – prezentuje moduły PV wytwarzane w fabryce (fot. 284, 286).

- Szklana fasada osłonowa

Na południowej fasadzie część konwencjonalnych paneli szklanych zastąpiono modułami PV. Instalacja o mocy 2,5 kWp pokrywa 25 m^2. Ogniwa solarne zintegrowane ze szkleniem izolacyjnym ściany osłonowej widoczne są dobrze zarówno na zewnątrz jak i we wnętrzu szklanej hali (fot. 284, 285).

- Zewnętrzny system zacieniający

System zacieniający zintegrowano ze strukturą szklanej hali. Konstrukcję tworzą metalowe kątowniki i rury o przekroju kwadratowym. Moduły o łącznej powierzchni 210 m^2 i mocy 20,5 kWp nachylono pod kątem 15° dla maksymalizacji zysków promieniowania słonecznego w okresie letnim. Instalacja reguluje klimat wnętrza chroniąc od nadmiernego nasłonecznienia, olśnienia i przegrzania (fot. 285).

- Instalacja dachowa

Na dachu zainstalowano system fotowoltaiczny o powierzchni 300 m^2. Moduły zamocowano na specjalnej metalicznej konstrukcji i nachylono pod kątem 15°. Niewidoczna z poziomu człowieka instalacja dachowa w aspekcie estetycznym nie jest specjalnie istotna dla architektury budynku.



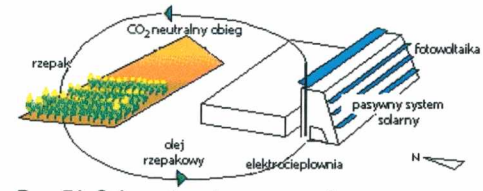
Fot. 283. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.



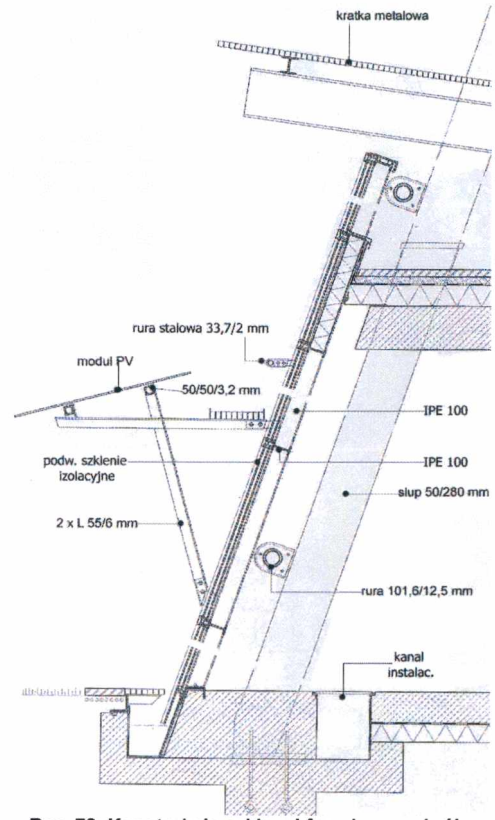
Fot. 284. Południowa fasada solarna – trzy różne instalacje fotowoltaiczne.



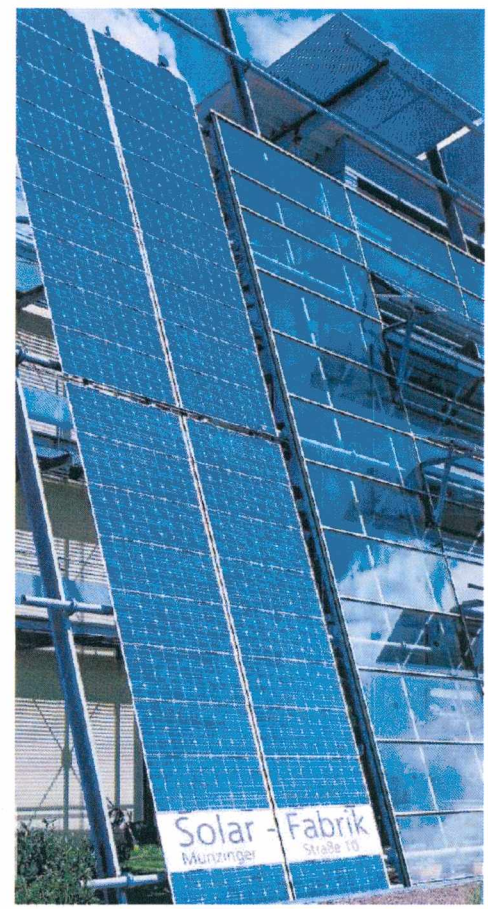
Fot. 285. Instalacje BIPV – szklana ściana osłonowa i system zacieniający.



Rys. 71. Schemat systemu energetycznego.



Rys. 72. Konstrukcja szklanej fasady - przekrój.



Fot. 286. Wentylowana fasada BIPV.

009 Tobias Grau

Główną ideą projektu było stworzenie obiektu o wyszukanej, innowacyjnej architekturze za pomocą prostych środków. W programie funkcjonalno-przestrzennym przewidziano realizację strefy magazynowej (końcowy montaż, pakowanie, ekspedycja), biurowej (departament projektowy i handlowy), oraz możliwość ekspansji w II fazie.

W pierwszym etapie zrealizowano podłużny, rurowy w kształcie budynek, usytuowany na osi N-S, w drugiej fazie inwestycji w pewnej odległości powstał drugi, taki sam element. Prawie kwadratowy, przykryty płaskim dachem łącznik scala oba budynki, tworząc w rzucie kształt litery H.

Konstrukcję nośną tworzą ramy z drewna klejonego.

Elewacje

Rurowe w kształcie budynki pokryto z zewnątrz aluminiowymi panelami Alucobond. Srebrne pokrycie płynnie przechodzi z elewacji w dach.

Od strony wschodniej i zachodniej zaprojektowano duże przeszklenia wyposażone w zewnętrzny system szklanych żaluzji. Lamele wykonane z wysokiej jakości zakrzywionego, drukowanego szkła nie wymagają podkonstrukcji mimo długości 2,5 m (fot. 291).

Pochylone elewacje od strony północnej nadają dynamizmu formie obiektu (fot. 290). Dla kontrastu od południa elewacje są wertykalne (fot. 287). Obie wykonano jako fasady strukturalne w systemie aluminiowo-szklanym firmy Schüco (typ SG 50N). Do wypełnienia użyto konwencjonalnych paneli szklanych oraz szyb zespolonych. Z niektórymi zintegrowano ogniwa fotowoltaiczne (fot. 288, 289, 292).

Koncepcja ekologiczna

Światło i transparentność są wiodącym tematem projektu. Duże powierzchnie przeszkleń oraz wewnętrzne atria umożliwiają przenikanie do wnętrza naturalnych promieni słonecznych. Dobre wykorzystanie światła dziennego pozwala zredukować zużycie energii elektrycznej.

Od strony północnej światło penetruje głęboko do wnętrza przez mocno nachylone szklane fasady. W elewacjach od strony wschodniej i zachodniej transparentna struktura chroniona jest od nadmiernego przegrzewania. Zaprojektowano w tym celu system wygiętych szklanych lameli indywidualnie regulowanych w zależności od kąta padania promieni słonecznych.

Na fasadach południowych architekci wraz z inżynierami Ridder Meyn und Partner zaprojektowali dwie częściowo transparentne instalacje BIPV. Poprzez rozstawienie ogniw solarnych, jedynie pewien procent światła słonecznego przedostaje się do wewnątrz tworząc grę światłocienia, chroniąc jednocześnie od przegrzania i oślepiania.

W budynku zastosowano system stropów grzewczo-chłodzących. Chłodna woda w przewodach obniża temperaturę w miesiącach letnich, zimą wykorzystywane jest ogrzewanie podłogowe. Masa betonu akumulując ciepło pozwala zbilansować różnice temperatur.

Budynek posiada w sumie dwa systemy energetyczne. System kogeneneracji (z silnikiem na gaz) oraz fasadowa instalacja BIPV razem pokrywają sporą część (ponad połowę) zapotrzebowania na energię. Rocznie można uniknąć dzięki temu emisji 2000 kg CO_2.

Instalacja BIPV

- Szklana fasada

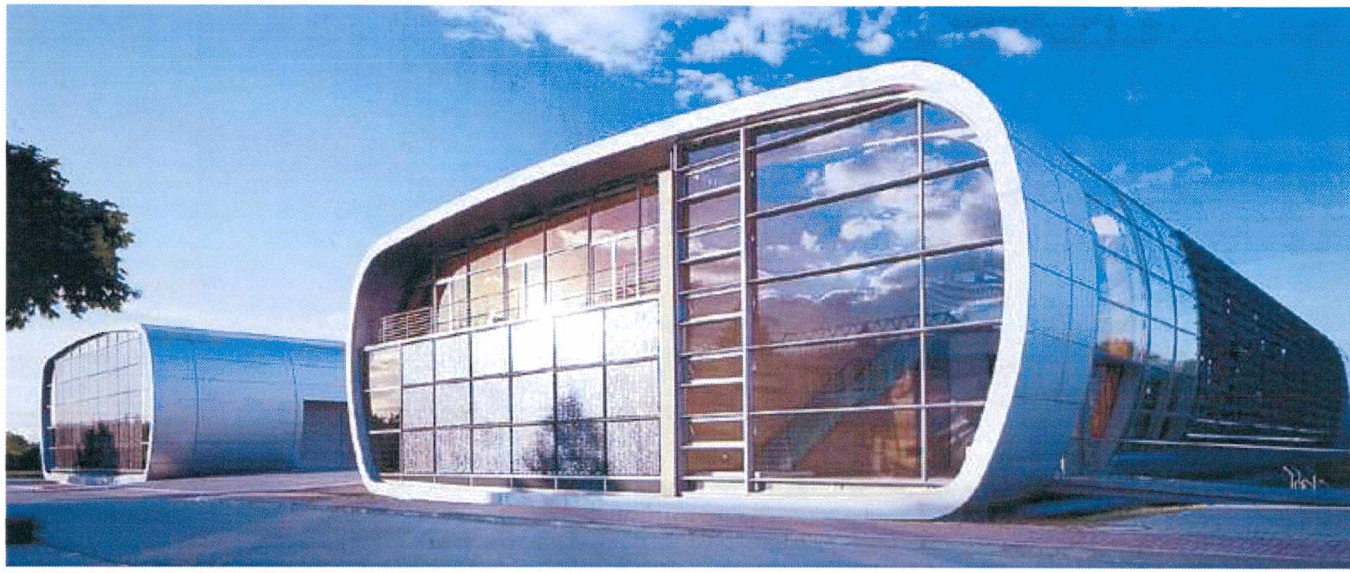
Na dwóch fasadach od strony południowej zaprojektowano system fotowoltaiczny. Instalacje zajmują powierzchnię 51 m^2 (I) + 128 m^2 (II). Rocznie generują ~10 800 kWh zielonej energii elektrycznej.

Zastosowano system fasadowy Schüco SG 50 N ze szkleniem strukturalnym. Panele, z którymi zintegrowano ogniwa fotowoltaiczne wyprodukowała firma Saint-Gobain Glass Solar. Składają się z następujących warstw: szkło PLANDIDUR-DIAMANT - 6 mm / Zalaminowane ogniwa ASE EFG - 2mm / PLANDIDUR-PLANILUX - 4 mm / Pustka – 12 mm / Szkło laminowane z warstwą niskoemisyjną - 12 mm.

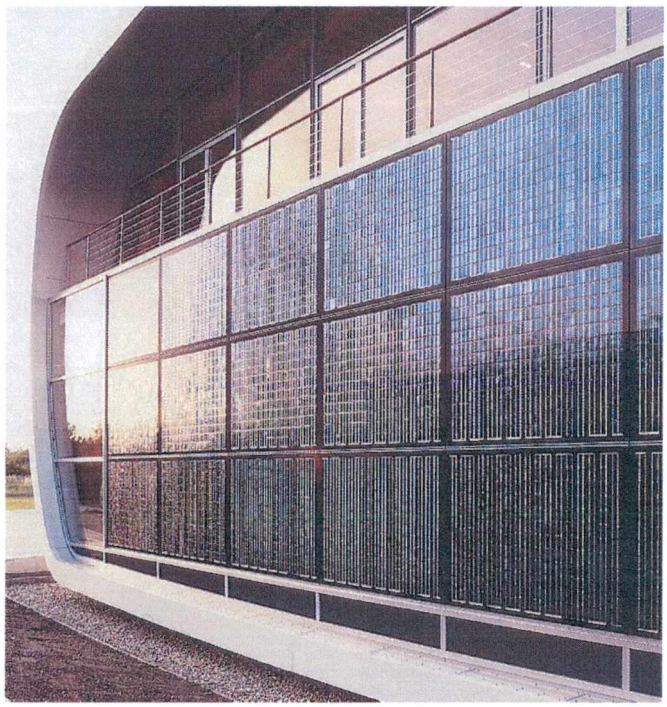
Użyto ciemnoniebieskich ogniw o strukturze polikrystalicznej (EFG). Ułożone w odstępach 9 mm od siebie (w kierunku pionowym i poziomym) oraz 5 cm od rantów modułu tworzą semitransparentną siatkę, przez którą przenika do wnętrza naturalne światło.

Szklane panele BIPV osiągają dobre parametry przenikalności ciepła. Wadą integracji materiałów krystalicznych z systemem szyb zespolonych jest jednak brak przewietrzania nagrzewających się fotoogniw, co prowadzi do obniżenia ich sprawności.

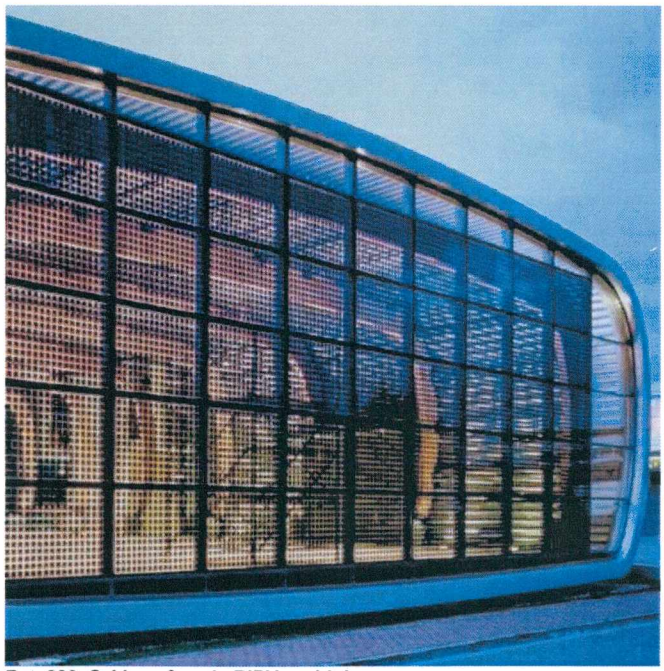
Instalacja BIPV zrealizowana dzięki środkom finansowym landu Schlezwig-Holstein pełni przede wszystkim rolę demonstracyjną. Dobrze widoczna zarówno w ciągu dnia jak i nocą stanowi ważny element transparentnej architektury budynku (fot. 289, 292). Ilość generowanej energii elektrycznej jest w skali roku stosunkowo niska z powodu mało korzystnej lokalizacji geograficznej obiektu i dużego odchylenia od idealnej orientacji (S -65°). Dodatkowo zyski z energii promieniowania słonecznego są zredukowane wskutek wertykalnego nachylenia modułów i ich integracji ze szkleniem izolacyjnym.



Fot. 287. Widok od strony południowo-wschodniej.



Fot. 288. Moduły PV zintegrowane ze szklaną fasadą.



Fot. 289. Szklana fasada BIPV – widok nocą.



Fot. 290. Elewacje północne.



Fot. 291. Zewnętrzny system szklanych żaluzji.



Fot. 292. Szklana fasada BIPV – widok w ciągu dnia.

010 Wasserwerk Mühlenscharrn

Koncepcję projektu oparto na wpisujących się w teren prostych figurach geometrycznych. W skład kompleksu wchodzą dwa, powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty zaprojektowane na ciężkich, wychodzących z ziemi bazach w kształcie koła oraz prostokąta (rys. 73, 74). Wewnątrz kolistej formy znajdują się trzy okrągłe zbiorniki wody oczyszczonej. Ta część zakładu pokryta jest prawie w całości ziemią i porośnięta roślinnością. Nieopodal zlokalizowano podłużny budynek z prostokątnym cokołem, szklanymi ścianami i falującym dachem. Lekka konstrukcja dachu bez podpór pośrednich jest ważnym elementem projektu ze względów wizualnych i funkcjonalnych. Łupinową konstrukcję wykonano z drewna klejonego, wolne od belek i słupów konstrukcyjnych wnętrze umożliwia demontaż i wymianę wielkich filtrów.

Elewacje

Bazę obiektów tworzą masywne formy w kształcie koła oraz prostokąta. Geometryczne korpusy pozostają w widocznych relacjach, co podkreślono ich równą wysokością (pomimo częściowego ukrycia w ziemi, innego dla każdego z budynków) i wyborem tego samego materiału pokrycia. Gładkie betonowe powierzchnie są specjalnie profilowane w układzie horyzontalnym.

W kolistych zbiornikach jedynie niewielkie fragmenty betonowych ścian wystają z porośniętego trawą terenu. Prostokątna baza budynku, choć także wpisuje się w nierówny naturalny krajobraz jest zdecydowanie bardziej widoczna. Ciężki cokół podkreśla lekkość znajdującej się powyżej konstrukcji elewacji oraz dachu wizualnie wyraźnie się od nich odcinając (fot. 293).

Szklane elewacje prostokątnego budynku ukazują wewnętrzną działalność. Życzeniem inwestora było zapewnienie maksymalnej transparentności i wywołanie zainteresowania obiektem oraz jego funkcją. Przegrody zaprojektowano w szkieletowej konstrukcji stalowej z poziomym podziałem na 3 pasy. Modularne pola wypełniono przeźroczystym szkłem. Północno-zachodni narożnik betonowej bazy tak ukształtowano, aby zwracał uwagę - wygląda jakby wchodził w kolizję z przechodzącą obok drogą.

Fasada od strony zachodniej jest dostępna bezpośrednio poprzez duże zewnętrzne schody, które pełnią rolę miejsca do siedzenia i umożliwiają wgląd poprzez elewację do wnętrza budynku (fot. 294).

Całość utrzymano w jednolitej, szarej tonacji kolorystycznej. Masywne elementy pokryto specjalnym środkiem anty-graffiti i bezbarwną żywicą epoksydową.

Koncepcja ekologiczna

Proste geometryczne formy zagłębione w teren w dużej części porośnięte są trawą oraz drzewami, dzięki czemu cały kompleks doskonale wpisuje się w naturalny krajobraz.

Założeniem projektanta było zastosowanie konwencjonalnych materiałów budowlanych tj. betonu, stali, szkła i ograniczenie do minimum ich ilości. Na fasadzie południowo-zachodniej zainstalowano nieprzewidywany początkowo system przeciwsłoneczny. Zintegrowano z nim instalację fotowoltaiczną (fot. 293, 295).

Instalacja BIPV

- System zacieniający

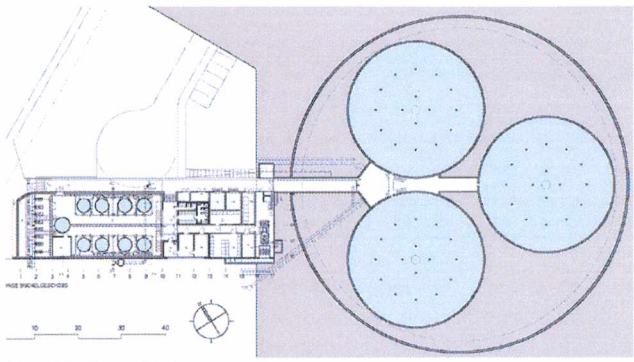
Instalację BIPV zrealizowano na fasadzie południowo-zachodniej (fot. 295). Zastosowano system zacieniający typu *„shadovoltaic"* - w czasach realizacji był to jeden z dwóch tego rodzaju systemów funkcjonujących w Europie. Z obracanymi jednoosiowo szklanymi lamelami zintegrowano ogniwa fotowoltaiczne (fot. 296-298).

Dla optymalizacji zysków z energii solarnej zastosowano termohydrauliczny system śledzący pozycję Słońca, który bez użycia prądu umożliwia osiowy obrót lameli. Działanie mechanizmu oparte jest na systemie hydraulicznym złożonym z przewodów i siłowników. Promienie słoneczne nagrzewając przewody powodują rozprężenie płynu hydraulicznego znajdującego się w środku i wytworzenie ciśnienia w siłownikach, które z kolei powoduje obracanie paneli aż do pozycji prostopadłej do kierunku padania promieni (fot. 296, 297). W ten sposób podczas największego nasłonecznienia idealnie ustawione lamele generują energię elektryczną jednocześnie dobrze zacieniając wnętrze.

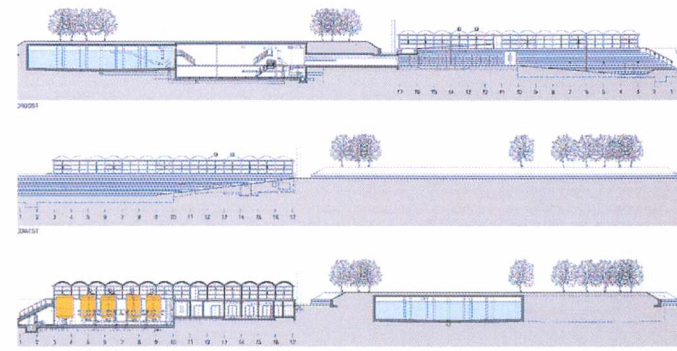
Obrotowa instalacja (o wymiarach 50,4 x 2,8 m) zawieszona jest w pewnej odległości od szklanej fasady. Do pionowych kolumn stalowych wspierających łupiny dachowe przytwierdzono podkonstrukcję w formie konsoli. Do nich na obrotowych tulejach zamocowano w układzie horyzontalnym szklane lamele z ogniwami fotowoltaicznymi.

Pojedynczy element lameli składa się z dwóch warstw szkła TVG (grubości 4 mm), pomiędzy którymi zalaminowano polikrystaliczne niebieskie ogniwa EFG. Zwiększenie ich rozstawu umożliwiło transparentność lameli rzędu 60 % (fot. 298). Całość składa się z 14 pól o wymiarach 2,7 x 3,6 m.

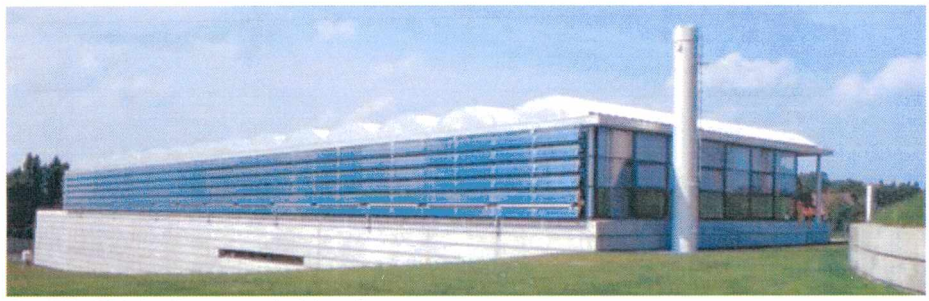
Podwójna funkcja systemu pozwoliła na bardzo dużą oszczędność kosztów w porównaniu do zastosowania zwykłej instalacji PV i wysokiej jakości markizy zacieniającej.



Rys. 73. Rzut obiektu.



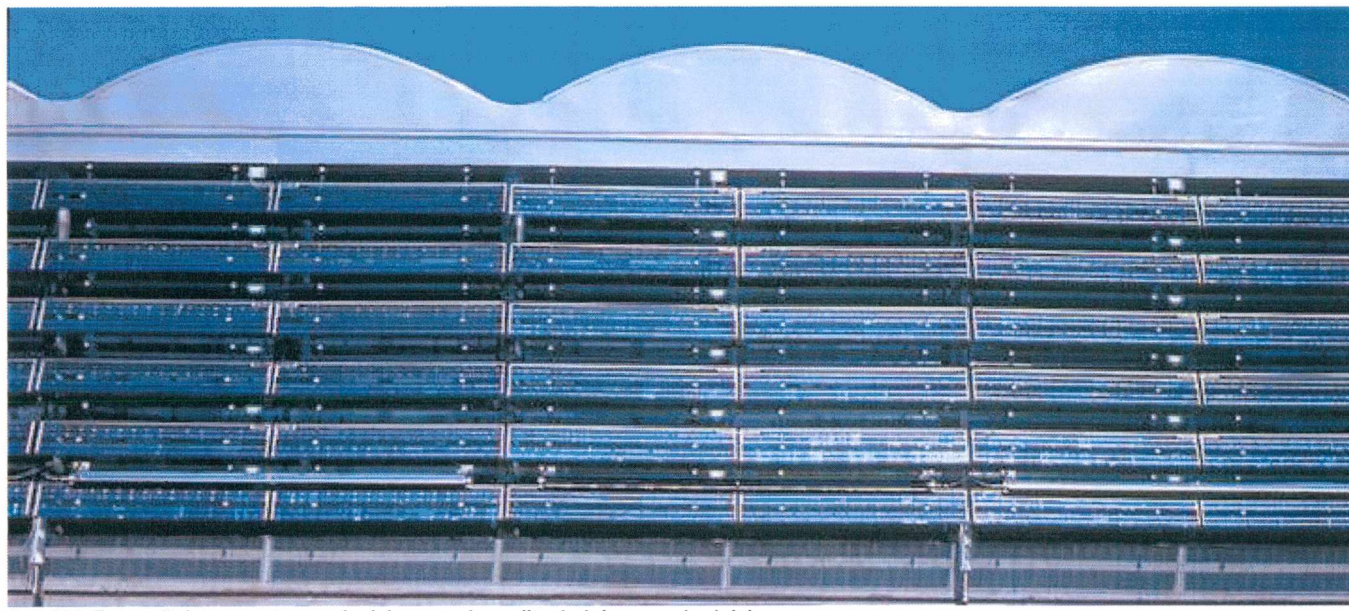
Rys. 74. Przekroje.



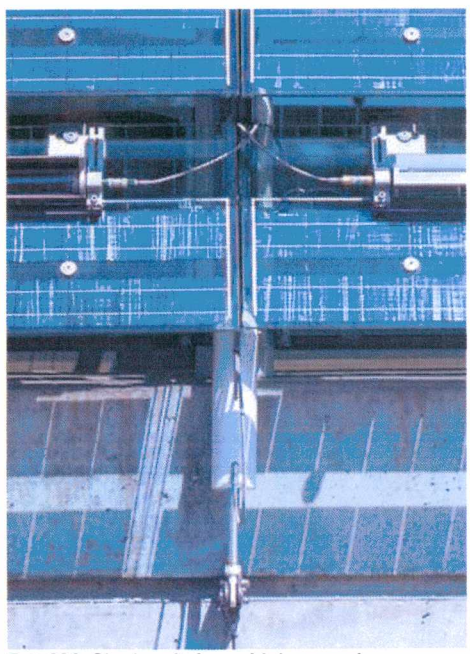
Fot. 293. Widok od strony południowej.



Fot. 294. Widok od strony zachodniej.



Fot. 295. Fotowoltaiczny system zacieniający na elewacji południowo-zachodniej.



Fot. 296. Shadovoltaic – widok z przodu.



Fot. 297. Termohydrauliczny system sterowania.



Fot. 298. Lamele BIPV – widok od spodu.

011 Scheuten Solar Cells

Fabryka powstała w ramach rewitalizacji terenów przemysłowych Nadrenii Północnej-Westfalii. Koncepcja rozwoju regionu miała na celu przekształcenie dawnych terenów kopalnianych w centrum alternatywnych technologii energetycznych. Wybudowana przez Deutsche Shell AG fabryka, niegdyś najnowocześniejsza i największa w Europie fabryka ogniw słonecznych, obecnie należy do holenderskiej firmy Scheuten Solar.

Układ funkcjonalno-przestrzenny podzielono na 3 strefy. Od strony południowej zaprojektowano strefę administracyjną, od północy przylega do niej hala produkcyjna. Płaski dwukondygnacyjny łącznik od strony wschodniej pomiędzy fabryką i drugim budynkiem należącym do Scheuten Solar służył pierwotnie jako przestrzeń informacyjno-wystawowa.

Elewacje

Eliptyczna przegroda od strony południowej stanowi główny element architektury – fasada przechodzi płynnie w dach nad strefą administracyjną (fot. 299). Wejście do budynku podkreślono żółtym i czerwonym kolorem oraz wspartym na kolumnie, „ostrym" zadaszeniem (fot. 300). Od frontu centralną część zakrzywionej przegrody tworzy pas szklenia, z którym zintegrowano ogniwa fotowoltaiczne. Po jego obu stronach zastosowano profilowane panele z blachy aluminiowej Kalzip, na których zamocowano moduły fotowoltaiczne. Corus Bausysteme GmbH wykonała 50 m długości profilowane płyty aluminiowe, co pozwoliło na wykonanie ciągłego przekrycia bez horyzontalnych łączeń i zakładek. Wszystkie panele okładziny wyprodukowano na zamówienie. Łączenia wzdłużne przebiegają tak samo, jak elipsa dachu i dzięki zawinięciu rąbków tworzą szczelną powłokę.

Boczne ściany fabryki wykonano w aluminiowej konstrukcji słupowo-ryglowej. W zależności od funkcji przylegających do ściany pomieszczeń i ich orientacji względem stron świata szkielet elewacji można wypełniać różnymi materiałami. W części biurowej zastosowano szkło, okładzinę pozostałej części stanowią płyty z aluminiowej blachy falistej o poziomym układzie fali.

Ze względu na konieczność zachowania specjalnych warunków czystości w procesie produkcyjnym, wewnątrz hal wytwarzane jest nadciśnienie. Aby uzyskać konieczną szczelność obiektu wyjątkowo starannie wykonano warstwę paroizolacyjną zewnętrznych przegród.

Koncepcja ekologiczna

W budynku fabryki zrealizowano 4 różne instalacje fotowoltaiczne.

Halę produkcyjną pokryto dachem pilastym. Od strony północnej stromo nachylone, przeszklone połacie doświetlają wnętrze rozproszonym światłem dziennym, od strony południowej zainstalowano nieprzezierne moduły PV.

Z eliptyczną przegrodą od strony południowej zintegrowano dwa różne systemy fotowoltaiczne - wentylowaną okładzinę fasadową oraz szklenie BIPV. Szklana przegroda doświetla wnętrze naturalnym światłem dziennym, chroniąc jednocześnie przed nadmiernym nasłonecznieniem, przegrzaniem.

Na południowej elewacji łącznika zastosowano system zacieniający z ogniwami PV i holograficznymi elementami optycznymi HOE (fot. 302).

Instalacja BIPV

- Szklana fasada

Pasy ogniw z krzemu polikrystalicznego zintegrowano ze szklaną przegrodą. Rozstaw ogniw zmienia się w zależności od kąta nachylenia struktury - od dołu rzadziej rozmieszczone zwiększają dopływ światła do wnętrza, zagęszczają się natomiast ku górze, gdzie promienie słoneczne padają pod kątem prostym (fot. 301).

- Wentylowana okładzina fasadowa

Pasy paneli fotowoltaicznych (po 5 obramowanych modułów każdy) zamocowano do aluminiowego pokrycia przegrody w układzie horyzontalnym i nachylono pod różnym kątem wg zakrzywienia przegrody (fot. 299, 303). Metalową podkonstrukcję paneli przytwierdzono do rąbków stojących specjalnymi klipsami, aby uniknąć dziurawienia wodochronnej powłoki. Pustka powietrzna pomiędzy modułami a blachą zapewnia dobrą wentylację (fot. 304).

- Dach pilasty

W części produkcyjnej południowe połacie dachu pilastego nachylone pod kątem 72° pokryto nieprzeźroczystymi modułami PV.

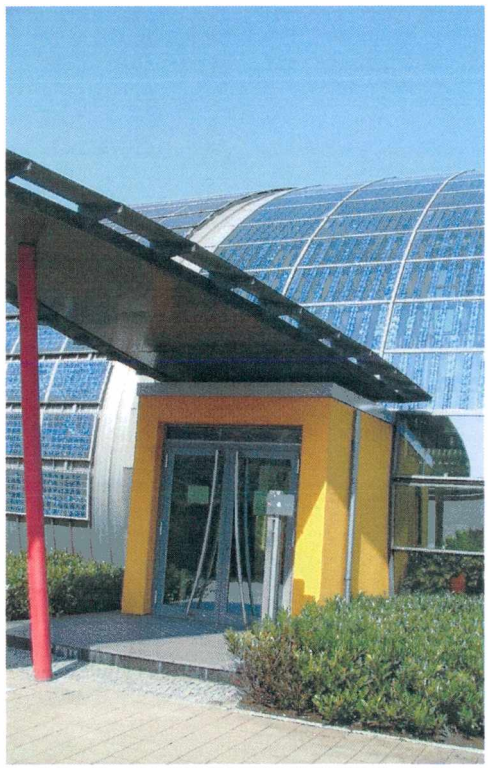
- Fasadowy system zacieniający z HOE

Na elewacji łącznika zainstalowano system zacieniający ze szkła Holo-Volt®. 13 pionowych, transparentnych lameli chroni od nadmiernego nasłonecznienia wnętrza i oślepiania. Holograficzna folia zintegrowana z przednią warstwą szkła koncentruje bezpośrednie promienie słoneczne na znajdujące się za szkłem ogniwa fotowoltaiczne. Promieniowanie rozproszone przechodzi pomiędzy ogniwami oświetlając wnętrze. System obracany jest osiowo w kierunku Słońca (fot. 302, 305).

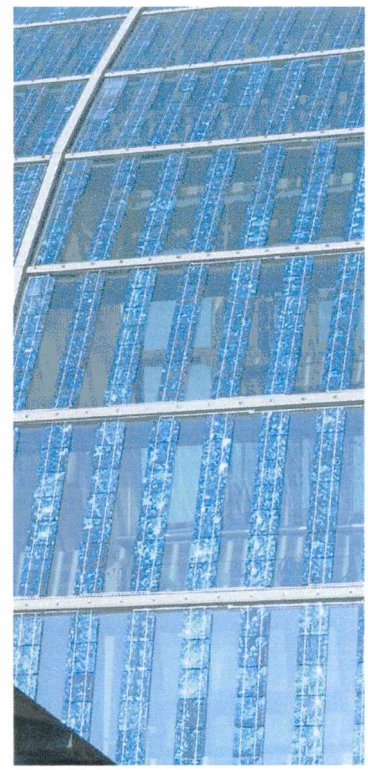
Holograficzne elementy optyczne są nie tylko wyjątkowo efektywne dla zarządzania światłem słonecznym, tworzą także ciekawe, dynamiczne efekty wizualne – w zależności od oświetlenia i punktu obserwacji widoczne są różne, tęczowe kolory.



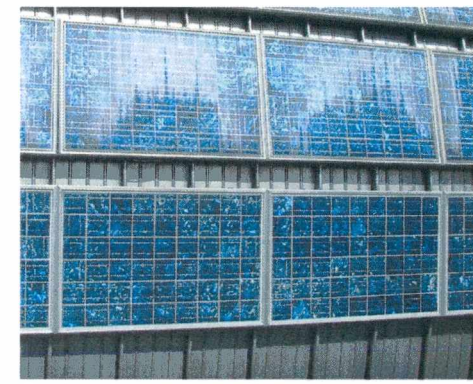
Fot. 299. Widok budynku od strony południowej.



Fot. 300. Wejście główne.



Fot. 301. Szklana fasada BIPV.



Fot. 303. Pasy okładziny fotowoltaicznej.



Fot. 304. Mocowanie okładziny BIPV.



Fot. 302. Fotowoltaiczny system zacieniający.



Fot. 305. Sterowane lamele Holo-Volt®.

012 Energiepark West

Budynek zlokalizowano w nasłonecznionej dolinie w zachodniej Austrii. Rejon słynie z innowacyjnej architektury przyjaznej dla środowiska, wykorzystującej pasywne i aktywne systemy solarne dla redukcji emisji gazów cieplarnianych. Sprecyzowane przez inwestora cele projektowe i zaangażowanie specjalistów od początku planowania inwestycji, korzystnie wpłynęły na jej szybką realizację i sukces. Zadaniem architektów było zaprojektowanie estetycznego, funkcjonalnego obiektu z odpowiednią powierzchnią dla instalacji solarnych. Budynek miał pomieścić różne firmy związane z OZE i zapewniać możliwość rozbudowy.

Powstała kompaktowa bryła o prostej formie prostopadłościennej z bardzo dobrze widoczną instalacją solarną. Konstrukcję wykonano w postaci stalowej struktury nośnej z masywnymi stropami.

Układ funkcjonalno-przestrzenny podzielono na strefę biurową, produkcyjną i magazynową.

Elewacje

W rejonie Vorarlberg istnieje długa tradycja budowania z drewna, dlatego ściany zewnętrzne wykonano w konstrukcji drewnianej z izolacją z wełny mineralnej (18 cm) i zewnętrzną okładziną z profilowanej blachy. Wysoka jakość powłoki minimalizuje straty ciepła (zapotrzebowanie na ciepło jest na tyle małe, że przez większość czasu pokrywają je zyski z systemów solarnych).

Interesujący pomysł wielofunkcyjnej okładziny zrealizowano na elewacji południowej - poza otworami okiennymi, pokryto ją w całości dwoma różnymi instalacjami solarnymi. Dodatkowo strukturę przegrody przedłużono poza budynek, w ten sposób służy ona jako parawan chroniący od wiatru wejście do strefy biurowej i produkcyjnej (fot. 307, 308).

Koncepcja ekologiczna

Dla minimalizacji wpływu na środowisko powiązano różne strategie ekologicznego budownictwa. Inwestor określił następujące warunki:

- Ograniczenie zużycia energii w budynku przy maksymalnym zaopatrzeniu ze źródeł odnawialnych oraz stworzenie energetycznego systemu zapasowego przyjaznego dla środowiska;
- Instalacja systemów solarnych całkowicie zintegrowanych z powłoką budynku;
- Wykorzystanie wody podgrzewanej przez system kolektorów solarnych do ogrzewania betonowej podłogi w hali produkcyjnej i wewnętrznych ścian w biurach.

Zapotrzebowanie na ciepło pokrywa solarna fasada termalna oraz dwa zapasowe systemy kogeneracji na biodiesel. Fasada z kolektorami termalnymi o łącznej powierzchni 82 m^2 generuje rocznie 22400 kWh energii.

Energię elektryczną zapewnia fasadowa instalacja fotowoltaiczna. Dodatkowy system na dachu produkuje energię dla sieci energetycznej SAG Solarstrom AG. Pracownicy biurowi korzystają w pracy z elektrycznych aut firmowych. Stacja do ładowania akumulatorów znajduje się naprzeciw wejścia - urządzenia elektryczne powiązano z systemem PV zainstalowanym na dachu.

Wg koncepcji energetycznej poszczególne strefy budynku utrzymywane są w różnych temperaturach – w pomieszczeniach biurowych 20-22°C, w hali produkcyjnej 16°C, magazyn jest nieogrzewany.

Inwestor od początku wiedział, jakiego rodzaju materiały i moduły PV chce zastosować. Wykorzystano produkty i metody budowlane niegroźne dla środowiska, m.in. zminimalizowano PVC przez zastosowanie alternatywnych materiałów dla okablowania.

Specjalny system monitoringu pokazuje dane termiczne i elektryczne, pomiary napięcia, produkcji energii, wiatru, temperatury powietrza, promieniowania słonecznego na południowej i zachodniej fasadzie, insolacji na poziomej powierzchni.

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

Południową elewację budynku (poza otworami okiennymi) pokryto instalacją solarną o powierzchni 220 m^2, z czego 143 m^2 tworzą ciemnoniebieskie moduły fotowoltaiczne z ogniw polikrystalicznych, a pozostałą część kolektory solarne (fot. 306, 307). Do montażu dwóch różnych systemów wykorzystano typowe elementy konstrukcji fasadowej, które zaadaptowano tak, aby panele znajdowały się w jednej płaszczyźnie.

Na elewacji zachodniej zainstalowano drugi, mniejszy system PV. Ułożone w kierunku pionowym moduły tworzą długi pas solarny wzdłuż prawie całej ściany (fot. 309). W obu przypadkach moduły umieszczono równolegle do wertykalnych ścian tzn. pod kątem 90°.

- Instalacja dachowa

Podłużne panele składające się z 9 połączonych ze sobą modułów fotowoltaicznych z krzemu monokrystalicznego zamocowano na rurowej, metalowej podkonstrukcji ustawionej na dachu (fot. 310). Panele nachylono dla maksymalizacji zysków z promieniowania solarnego.

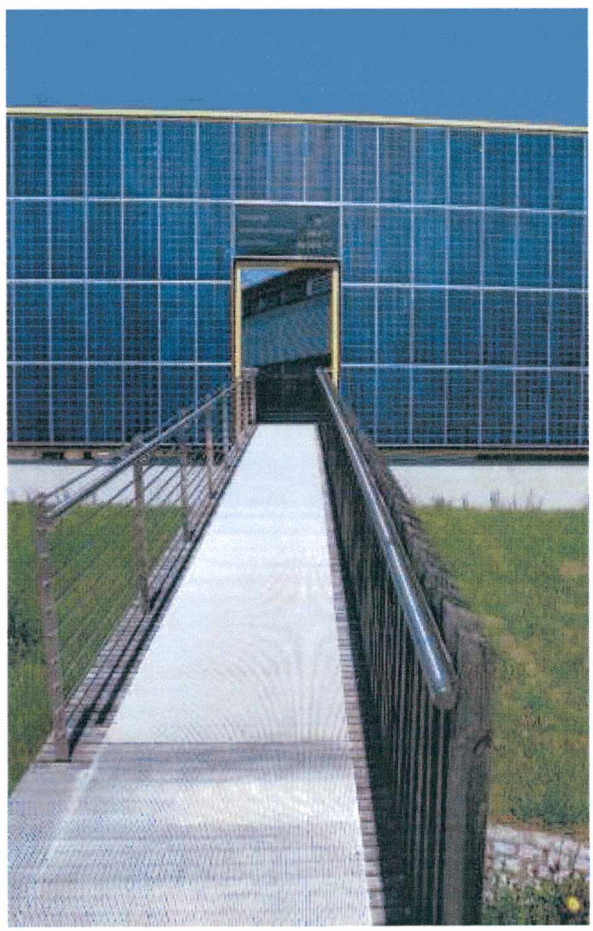
Instalacja podłączona do sieci produkuje energię dla SAG Solarstrom AG. Do sieci energetycznej eksportowane jest 17 760 kWh energii elektrycznej rocznie. Na potrzeby funkcjonowania budynku importowane jest 7017 kWh/r.



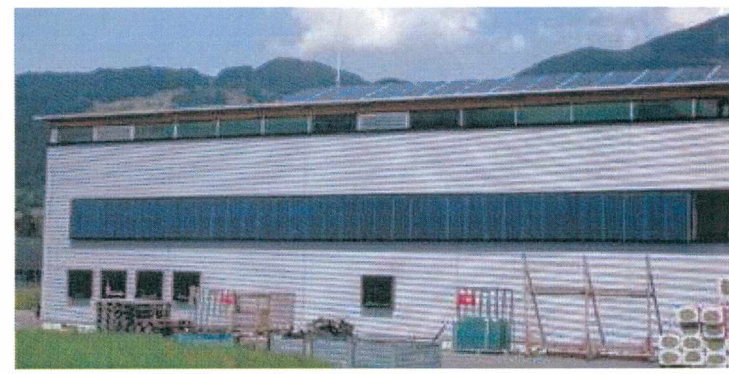
Fot. 306. Widok budynku – elewacja południowa i wschodnia.



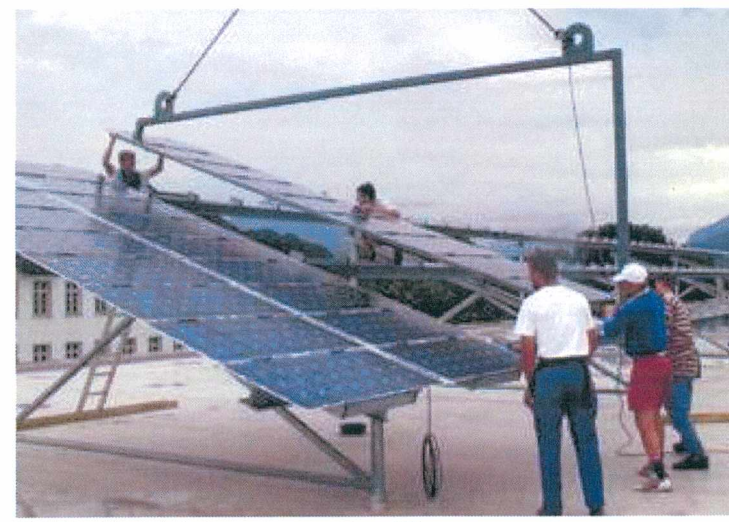
Fot. 307. Elewacja południowa – instalacja fotowoltaiczna i kolektory solarne.



Fot. 308. Wentylowana okładzina fotowoltaiczna.



Fot. 309. Systemy fotowoltaiczne na dachu i elewacji zachodniej.



Fot. 310. Montaż dachowego generatora PV.

013 Energy Research Foundation - ECN nr 31

Z końcem lat 90. podjęto decyzję o demonstracyjnej, ekologicznej transformacji budynku nr 31 (z roku 1963, fot. 311). Ekspertyza n/t stanu technicznego budynku i jego efektywności energetycznej pokazała liczne problemy, tj.: złą izolację termiczną, przegrzanie wnętrza, niedostateczne oświetlenie, niskoefektywne i mało komfortowe systemy wentylacji w laboratoriach, duże zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i elektryczność, przeciągi. Poza modernizacją zaplanowano zmianę funkcji – laboratoria wzdłuż południowej fasady przekształcono w biura, z kolei biura od północy w laboratoria.

Elewacje

Zewnętrzne ściany budynku były w złym stanie technicznym, z licznymi mostkami termicznymi. Od strony południowej duże przeszklenia powodowały nadmierne nagrzewanie pomieszczeń. Renowacja ścian polegała na wykonaniu nowej izolacji termicznej oraz pokryciu okładziną z ceramicznych paneli. W elewacjach od strony północnej i południowej całkowicie wymieniono konstrukcję na drewnianą.

W odległości 80 cm od fasady południowej zainstalowano system przeciwsłonecznych lameli PV. Metalowe pióra z zakrzywionego aluminium zamocowano do pionowych profili IPE 120 połączonych z elementami poziomymi. Te z kolei przytwierdzono do istniejących masywnych stropów. W przestrzeni pomiędzy fasadą a lamelami znajdują się pomosty dla konserwacji i mycia okien (fot. 313, rys. 75).

Koncepcja ekologiczna

Za główny cel modernizacji uznano optymalizację jakości klimatu wewnętrznego i komfortu, redukcję energii (elektrycznej o 35%, do ogrzewania o 75%) oraz ograniczenie emisji gazów cieplarnianych poprzez efektywne wykorzystanie energii solarnej. Projekt objął:

- renowację fasad (izolacja termiczna, całkowita renowacja konstrukcji od strony N, S),
- instalację fotowoltaiczną na dachu i fasadzie (system zacieniający),
- realizację systemu wentylacji z odzyskiem ciepła, wentylacji nocnej dla chłodzenia latem,
- realizację nowego systemu grzewczego,
- optymalizację systemu oświetleniowego,
- zredukowanie konsumpcji energii w budynku (łącznie z komputerami i innymi urządzeniami).

Problem przegrzewania wnętrza od strony południowej rozwiązano za pomocą systemu lameli BIPV. Komputerowe symulacje pokazały, iż klimatyzacja nie będzie potrzebna (zaoszczędzone pieniądze wykorzystano dla instalacji PV).

Instalacja BIPV

- Zewnętrzny system zacieniający

Założeniem projektowym było uzyskanie wysokiej jakości architektonicznej oraz zapewnienie widoczności z pomieszczeń na zewnątrz. Przeprowadzone symulacje komputerowe pozwoliły określić optymalną wielkość, ilość elementów oraz ich umiejscowienie na fasadzie.

Dla ograniczenia kosztów zastosowano standardowe moduły PV. Z tego względu konieczne okazało się opracowanie specjalnego systemu metalowych lameli dla ich zamocowania. Wykonano model instalacji w skali 1:10 i przetestowano różne rozwiązania: 2 szerokie lamele PV w odległości 1,5 m w pionie oraz 7 mniejszych w odległości 0,5 m. W obu przypadkach testowano je jako elementy stałe oraz ruchome. Symulacje komputerowe pokazały, że dla optymalnych zysków solarnych, naturalnego oświetlenia i zacienienia wystarczą 4 lamele na piętro. W porównaniu do systemu stałego, elementy ruchome zapewniały zyski energii większe o 10%, jednak ze względu na wysokie koszty wybrano system nieruchomy z lamelami nachylonymi pod kątem 37°. Użytkownicy pomieszczeń mogą ustawiać jedno pióro żaluzji na wysokości oczu do pozycji horyzontalnej (po określonym czasie wraca ono do ustalonej pozycji). W kolejnym etapie fragment systemu zacieniającego zrealizowano w skali 1:1 – model umieszczono na fasadzie i monitorowano (fot. 315).

Ostatecznie wykonano lamele o wymiarach: 840 mm x 3000 mm, które pokryto panelami z 3 modułów PV z ogniwami z krzemu polikrystalicznego. Perforacja lameli od tylnej strony zapewnia wentylację modułów. Okablowanie poprowadzono w profilach i pod listwami maskującymi metalowej konstrukcji, która połączona jest z główną konstrukcją budynku. Latem lamele zacieniają elewację w 85%. Zimą dla dodatkowej ochrony zaplanowano zwykły system żaluzji wewnętrznych.

Początkowo niska akceptacja użytkowników zdecydowanie wzrosła po instalacji całego systemu.

- System dachowy

Dachowy system BIPV miał być rodzajem parasola, urządzeniem chłodzącym dach. Ostatecznie zrealizowano wodoszczelną instalację, a przestrzeń między nią a dachem wykorzystano dla urządzeń wentylacyjnych i kanałów powietrznych.

Dach skonstruowano w zakrzywionej formie z belek stalowych IPE 240, które pokryto blachą trapezową, izolacją termiczną, folią EPDM oraz standardowymi modułami PV mocowanymi w systemie BP Sunflower. Ponieważ nie można chodzić po modułach, dodatkowo zainstalowano specjalne pomosty dla konserwacji.



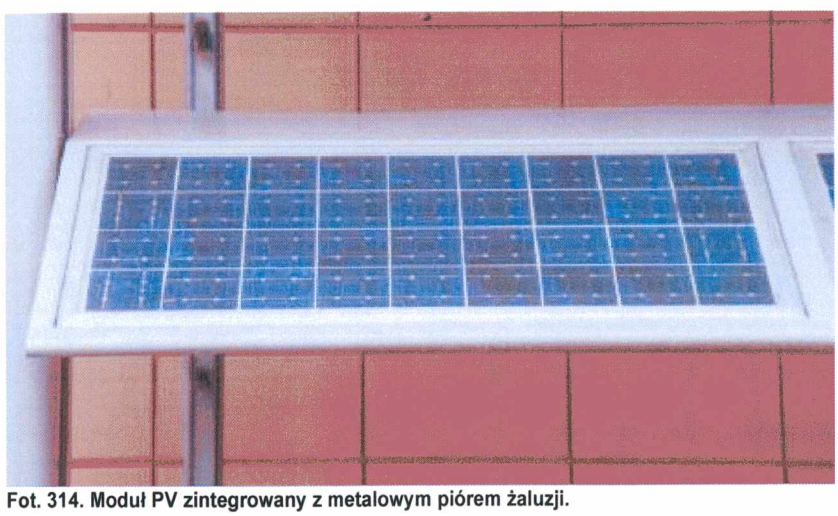
Fot. 311. Budynek przed modernizacją.



Fot. 312. Budynek po modernizacji.



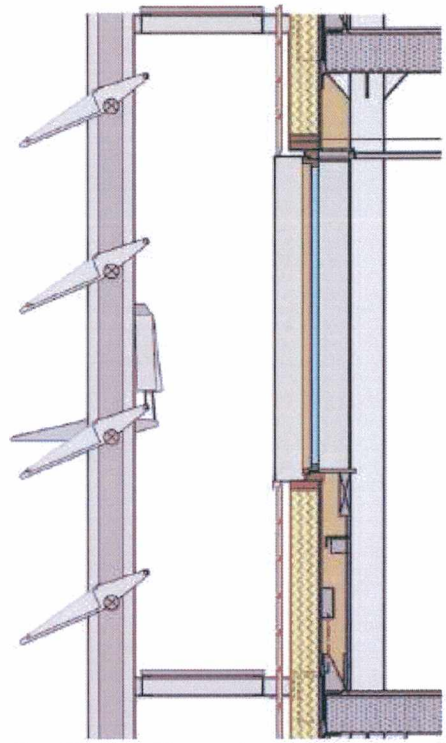
Fot. 313. Fotowoltaiczny system zacieniający na południowej fasadzie.



Fot. 314. Moduł PV zintegrowany z metalowym piórem żaluzji.



Fot. 315. Model żaluzji BIPV w skali 1:1.



Rys. 75. Przekrój przez elewację.



Fot. 316. Żaluzje BIPV.



Fot. 317. Lamele żaluzji – widok od spodu.

014 Straż pożarna Houten

Budynek zlokalizowano na działce otoczonej dużym obszarem zieleni. Warunki projektowe zakładały stworzenie przyjaznego dla środowiska, funkcjonalnego budynku dla 6 wozów strażackich.

Ideą przewodnią koncepcji architektonicznej było radykalne rozdzielenie struktury przekrycia budynku od wewnętrznej organizacji przestrzeni. Wybór parabolicznej powłoki pełniącej jednocześnie funkcje dachu i elewacji to rezultat poszukiwań estetycznej formy i optymalnej konstrukcji.

Wnętrze podzielono na dwie strefy. Od południa, w otwartej hali, znajdują się stanowiska dla wozów strażackich i wyposażenie techniczne. Pozostałe funkcje zgrupowano w północnej części budynku w masywnym, murowanym bloku. Na parterze umieszczono strefę socjalno-sanitarną i magazyny dla mechanicznego sprzętu. Pokój konferencyjny i kafeteria znajdują się na pierwszym piętrze, wyżej biura i magazyny. Otwarty korytarz zapewnia widok na halę z maszynami. Obie strefy – otwarta hala i zamknięty blok pokryto niezależną, wielofunkcyjną skórą będącą jednocześnie dachem i elewacją.

We wnętrzu obiektu architekci zrealizowali zaskakujący pomysł – 220 dzieci w wieku 5-7 lat ze wszystkich miejscowych rodzin namalowały fresk na temat strażaków na 2200 panelach formatu A3. Panele utrzymane w specjalnie zaprojektowanej kolorystyce, zmieniającej się niczym płomień od ciemno niebieskiego przez zielony, żółty, pomarańczowy aż do czerwonego, pokrywają główną ścianę masywnego bloku strefy dla pracowników (fot. 323). Wyjątkowa dekoracja dzięki przeszkleniu hali jest doskonale widoczna na zewnątrz. Mieszkańcy są w pewnym sensie emocjonalnie związani z budynkiem, dzięki czemu uniknięto problemu wandalizmu, częstego w tej okolicy.

Elewacje

Paraboliczna forma struktury będącej jednocześnie dachem oraz elewacją to nowoczesny wariant niezależnej, wielofunkcyjnej powłoki/skóry. Wykonana w szkieletowej, metalowej konstrukcji z zewnątrz przypomina hangar lotniczy (fot. 318, 321).

Południowa strona budynku, w której zlokalizowano halę dla pojazdów i maszyn strażackich, jest transparentna. Szklaną ścianę osłonową wykonano z metalicznych profili Schüco. Pionowe boczne ściany przeszklono zwykłym szkłem (fot. 319-321).

W zakrzywionej części zewnętrznej przegrody znajduje się 6 podnoszonych do góry bram wjazdowych. Pozostałą część pokryto szklanymi panelami, z którymi zintegrowano fotoogniwa (fot. 320, 323). Dzięki przeszkleniu doskonale widoczne na zewnętrz wyposażenie techniczne prezentuje się niczym na witrynie.

Pozostałą część parabolicznej powłoki nad masywnym blokiem i jego wertykalne boki pokryto nieprzeźroczystymi panelami metalicznymi z nielicznymi otworami drzwiowymi i okiennymi.

Koncepcja ekologiczna

Gdy wstępna koncepcja projektu z przeszkloną, paraboliczną powłoką okazała się być odpowiednia dla integracji sytemu solarnego, firma energetyczna zasugerowała instalację BIPV i już w początkowym stadium procesu budowlanego częściowo ją sfinansowała. Instalacja BIPV (podłączona do sieci) generuje zieloną elektryczność pokrywając 100 % zapotrzebowania budynku. Rocznie pozwala zredukować emisje CO_2 o 18,3 ton.

Lekko ogrzewana, przeszklona od południa hala pełni rolę bufora termicznego dla północnego bloku. Zimą chroni od niskich temperatur i pozwala przenikać promieniom słonecznym, które ogrzewają wnętrze. Latem ogniwa instalacji fotowoltaicznej chronią od zbytniego nagrzania i oślepiania.

Miasto wraz z firmą energetyczną REMU (będącą przez 10 lat właścicielem systemu PV) wykorzystują budynek do promowania architektury proekologicznej. Straż pożarna w Houten jest pierwszym w Holandii budynkiem, którego powłokę tworzy przepuszczająca światło instalacja BIPV. Sukces tej realizacji jest kolejnym dowodem na to, że zastosowanie modułów PV w architekturze jest nie tylko dobrym rozwiązaniem ze względów energetycznych, ale i estetycznych oraz reklamowych.

Instalacja BIPV

- Szklana powłoka

Orientacja budynku na osi WE pozwoliła wykorzystać od strony południowej duży fragment zakrzywionej powłoki na instalację fotowoltaiczną. Konwencjonalne panele ze szkła zastąpiono w tym miejscu szklanymi laminatami Shell Solar z ogniwami z krzemu krystalicznego.

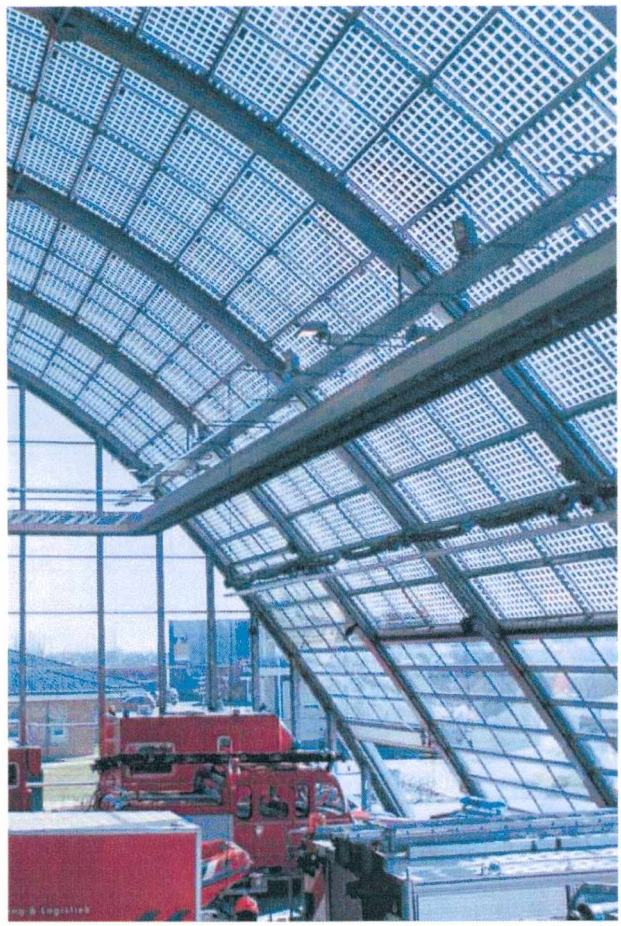
Ułożone w kierunku horyzontalnym elementy nachylone są pod różnymi kątami podążając za krzywizną parabolicznej powłoki. Częściową transparentność modułów uzyskano poprzez rozsunięcie ogniw na większą niż standardowo odległość (fot. 319, 320, 322, 323). W ten sposób zapewniono możliwość przenikania naturalnego światła dziennego do wnętrza, z jednoczesnym ograniczeniem jego nadmiaru latem.



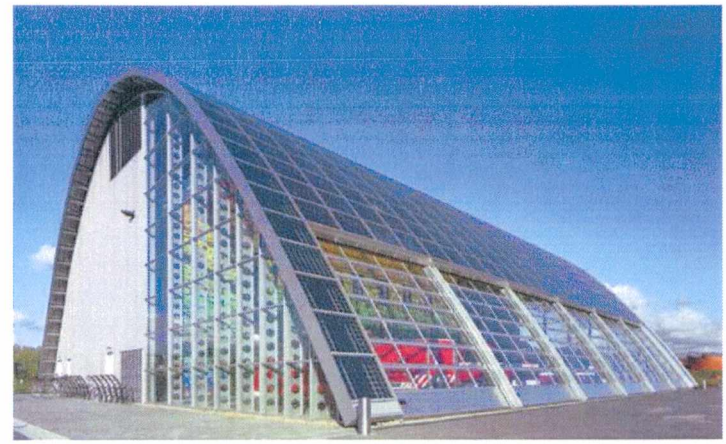
Fot. 318. Elewacja południowa.



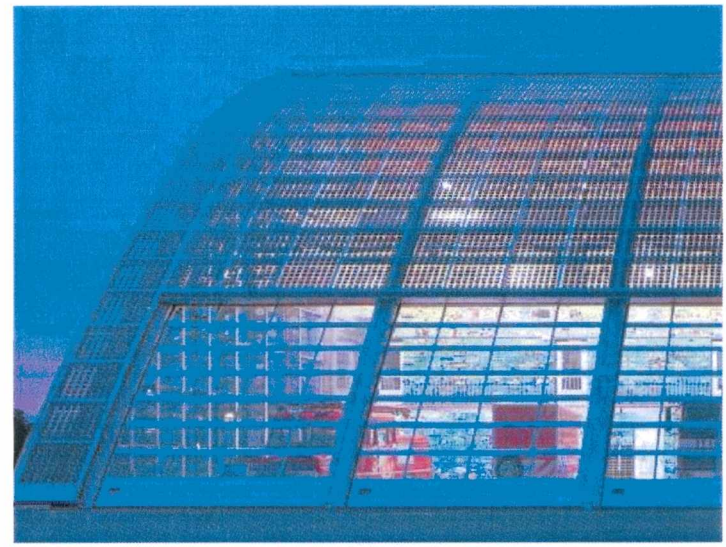
Fot. 319. Szachownica światła i cienia we wnętrzu.



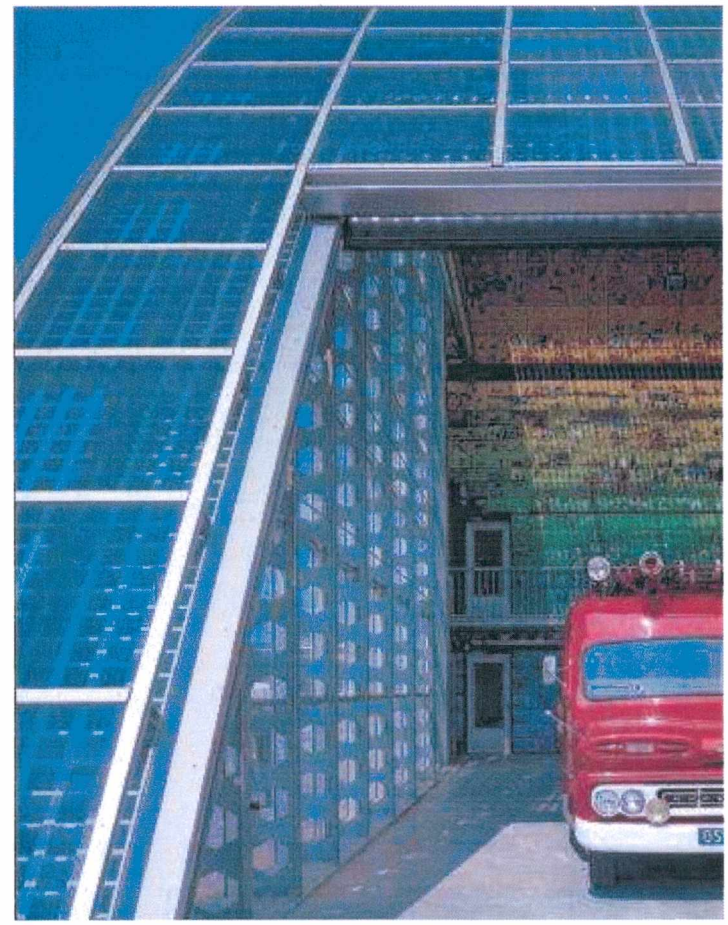
Fot. 320. Szklana powłoka BIPV – widok od wewnątrz.



Fot. 321. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.



Fot. 322. Elewacja BIPV z zewnątrz – widok nocą.



Fot. 323. Brama wjazdowa w szklanej powłoce BIPV.

015 ZF-BOGE – Elastmetall AG

Ideą projektu nowej siedziby firmy ZF Boge Elastmetall było stworzenie nowoczesnej architektury dla nowoczesnych produktów. W pięciokondygnacyjnym budynku o wysokości 24 m układ funkcjonalno-przestrzenny zoptymalizowano w taki sposób, aby w jednym obiekcie powiązać wszystkie etapy działalności – „od pomysłu do produkcji". Jednocześnie opracowywane są koncepcje nowych produktów, przeprowadzane badania materiałów, doświadczenia i testy, aż do produkcji prototypów. Na łącznej powierzchni 8000 m^2 zaprojektowano pomieszczenia laboratoryjne (2400 m^2), warsztaty, itd. Każde z 4 pięter budynku zajmuje powierzchnię 1200 m^2. Ze szklanego foyer goście mają dostęp do pomieszczeń konferencyjnych i sal spotkań.

Architektura budynku jest połączeniem kompaktowej, prostopadłościennej formy z dynamiczną szklaną bryłą oraz wpisującą się w nią wieżą w kształcie walca. Reprezentacyjnie ukształtowana strefa wejściowa jest najbardziej charakterystycznym elementem budynku i wg zamierzeń inwestora ma odzwierciedlać innowacyjny, dynamiczny charakter działalności centrum rozwojowego.

Elewacje

Najbardziej charakterystyczna jest dynamiczna, geometryczna forma fasady w strefie wejściowej (fot. 325, 327). Liczne skosy mają za zadanie odzwierciedlać nowoczesność i dynamikę firmy. Szklane elewacje o rombowym i trapezowym kształcie wykonano w systemie Schüco FW 50+. Wypełnienie metalicznego szkieletu tworzą panele ze szkła bezpiecznego oraz szklane moduły fotowoltaiczne.

Ciepło-zimna fasada jest połączeniem transparentnego szklenia z wielowarstwową, wentylowaną strukturą izolowaną wełną mineralną.

Koncepcja ekologiczna

W strefie reprezentacyjnej zaprojektowano szklaną elewację BIPV.

Duża ilość szkła w elewacjach pozwala doświetlić wnętrze naturalnym światłem dziennym. W strefie foyer elementy wypełnienia z przepuszczających światło modułów fotowoltaicznych jednocześnie chronią przed nadmiernym nasłonecznieniem.

Płaskie dachy pokryto zielenią. Przy wejściu do budynku zaprojektowano staw z wodą, który wg zamierzeń autorów łączący naturalny krajobraz z nowoczesną, geometryczną formą budynku (fot. 329).

Instalacja BIPV

- Szklana fasada ciepło-zimna

Na powierzchni 150 m^2 moduły fotowoltaiczne zintegrowano ze szklano-metaliczną fasadą. Konstrukcję ciepło-zimnej fasady wykonano w systemie Schüco FW 50+ (rys. 76).

W wielowarstwowej, wentylowanej strukturze panele PV tworzą nieprzezroczystą okładzinę (spandrele). Pustka powietrzna pomiędzy izolacją z wełny mineralnej a modułem PV pozwala chłodzić od tyłu nagrzewające się elementy.

W części fasady ciepłej, obok paneli zwykłego szkła, zastosowano elementy zintegrowane z ogniwami fotowoltaicznymi. Ogniwa z krzemu polikrystalicznego rozstawiono w większej odległości od siebie, pozostawiono również szerszy rant dookoła aktywnej powierzchni, co pozwoliło na przepuszczanie pewnej ilości światła dziennego do wnętrza foyer. Częściowo transparentne moduły PV chronią od nadmiernego nasłonecznienia (fot. 326).

Ze względu na charakterystycznie ukształtowaną fasadę, konieczne było wyprodukowanie modułów na zamówienie dla dostosowania ich wymiarów i kształtów do geometrii elewacji (fot. 328). Poza typowymi prostokątnymi elementami, poprzez cięcie laserem uzyskano kształty trójkątne i trapezowe (wymagało to cięcia fotoogniw umieszczonych przy rantach modułów). W sumie dla 102 szklanych modułów PV użyto 26 różnych mocowań.



Fot. 324. Widok budynku.



Fot. 325. Wejście główne i szklana elewacja BIPV.



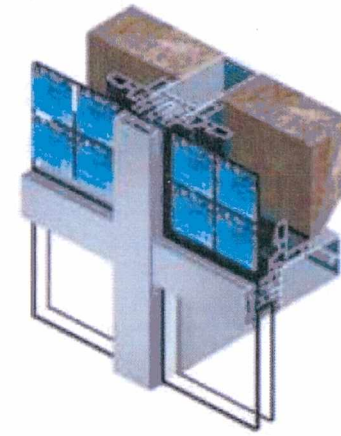
Fot. 326. Szklana elewacja BIPV od wewnątrz.



Fot. 327. Wejście do budynku.



Fot. 328. Narożnik z instalacją BIPV.



Rys. 76. Schemat konstrukcji fasady BIPV.



Fot. 329. Staw przy wejściu do budynku.

016 SMA - budynek nr 6

SMA Technologie AG (producent falowników „Sunny-Boy") jest właścicielem dużego terenu, na którym zlokalizowano kilka różnych budynków należących do firmy, m.in. jej główną siedzibę. Architekci Hegger Hegger Schleiff opracowali plan zagospodarowania dla całej działki oraz projekt budynku produkcyjno-biurowego nr 6.

Podłużny budynek zaprojektowano na osi NE-SW. Od strony południowej znajduje się główna strefa wejściowa, którą przekręcono w stosunku do głównej bryły budynku dla zorientowania frontowej fasady dokładnie na południe. W czterokondygnacyjnym obiekcie parter i pierwsze piętro przeznaczono na funkcję produkcyjną i montaż części elektronicznych. Na drugim piętrze zlokalizowano biura, na najwyższej kondygnacji foyer oraz pomieszczenia seminaryjne.

Układ wnętrza na poszczególnych kondygnacjach jest na tyle fleksybilny, by w razie potrzeby umożliwić zmianę funkcji. Część przeznaczoną do pakowania i testowania produktów umieszczono w kondygnacji podziemnej, do której prowadzi specjalna rampa dla transportu palet. Strefę produkcyjną obsługuje od strony północnej druga klatka schodowa z windą towarową.

Konstrukcję budynku wykonano w szkielecie żelbetowym.

Elewacje

Od strony południowej zaprojektowano szklaną fasadę solarną z instalacją BIPV (fot. 330). Dla maksymalizacji zysków energii z promieniowania słonecznego cała strefa wejściowa została przekrzywiona w stosunku do głównej bryły obiektu. W tej części budynku pionowe boczne ściany wykonano z betonu, natomiast południową elewację w formie nachylonego metalicznego szkieletu z cięgnami i panelami osłonowymi ze szkła izolacyjnego. Dolny pas elewacji na wysokość pierwszej kondygnacji pozostawiono w formie zwykłego, transparentnego szklenia (fot. 330, 336). Pozostałe szklane panele zintegrowano z niebieskimi ogniwami z krzemu krystalicznego.

Dla kontrastu tylna fasada od strony północnej jest relatywnie zamknięta. Prosta, pionowa ściana pokryta panelami metalicznymi z czterema niewielkimi otworami okiennymi pełni zadanie ochrony budynku od zimna.

Ważnym elementem architektonicznym są też boczne elewacje. Projektanci połączyli w spójną całość elementy metalicznego pokrycia z aluminiowej blachy falistej, z horyzontalnymi pasami okien, systemem zasłon przeciwsłonecznych i aluminiowymi rurami. Całość utrzymana jest w metalicznej srebrnej tonacji typowej dla budownictwa industrialnego (fot. 334-336).

Koncepcja ekologiczna

Koncepcja energetyczna przewiduje, że wyprodukowane w budynku ciepło pochodzące z procesów produkcyjnych zostanie ponownie zużytkowane. Do tego celu służą pompy cieplne z wymiennikami ciepła. Energia magazynowana w zbiornikach w razie potrzeby wykorzystywana jest ponownie do ogrzewania budynku. Takie rozwiązanie pozwala pokryć główne obciążenie, jedynie zimą dodatkowo używane jest ogrzewanie gazowe. Masywne elementy betonowej struktury akumulują ciepło pozwalając zachować stałą temperaturę we wnętrzu.

Zorientowana w kierunku południa, nachylona szklana fasada łączy pasywne i aktywne metody pozyskiwania promieniowania słonecznego. Pełniąc funkcję generatora energii, jednocześnie reguluje warunki mikroklimatu we wnętrzu budynku. Dzięki odzyskowi ciepła z falowników instalacja BIPV pozwala na pokrycie w dużym stopniu zapotrzebowania na ciepło w hali wejściowej.

Woda deszczowa jest odzyskiwana i służy do spłukiwania toalet.

Instalacja BIPV

- Szklana fasada

W strefie wejściowej zaprojektowano szklaną fasadę BIPV o nachylonej strukturze, zorientowanej dokładnie w kierunku południowym.

Ogniwa z krzemu krystalicznego (fot. 332, 333) zintegrowano ze szkłem izolacyjnym. Rozstawione od siebie na pewną odległość umożliwiają penetrację światła do wnętrza, tworząc wyjątkowe efekty wizualne i grę światłocienia. Dzięki temu cała strefa wejścia, klatki schodowej i foyer ze szklanymi boksami zyskuje niepowtarzalny charakter (fot. 337). W kombinacji z systemem naturalnej wentylacji i basenem wodnym umieszczonym wzdłuż elewacji, moduły PV zapobiegają przegrzaniu wnętrza.

W instalacji BIPV (o mocy 20 kWp) zastosowano własnej produkcji falowniki Sunny-Boy, które przetwarzają generowany przez ogniwa prąd stały na zmienny, a także system baterii dla magazynowania energii. Prąd sprzedawany jest do sieci energetycznej. We foyer zainstalowano monitory pokazujące moc falowników i inne parametry systemu PV.



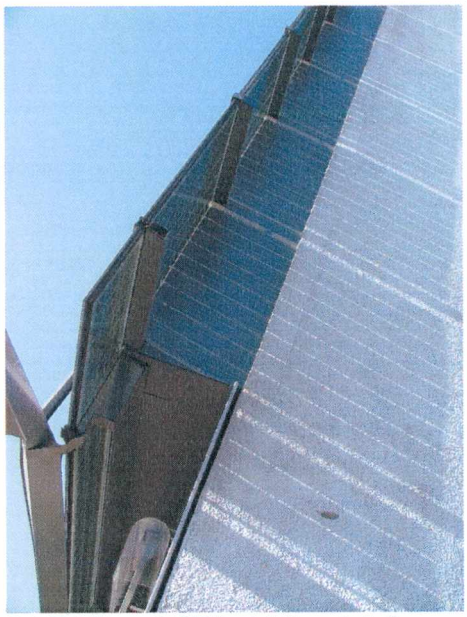
Fot. 330. Elewacja południowa z instalacją BIPV – wejście do budynku.



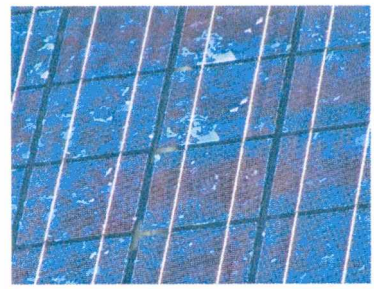
Fot. 335. Narożnik południowo-wschodni.



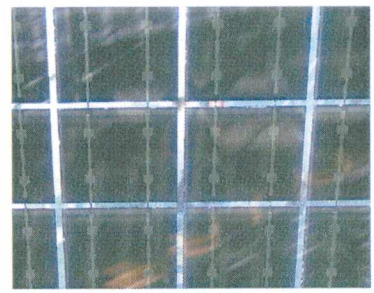
Fot. 336. Nachylona elewacja BIPV.



Fot. 331. Elewacja BIPV – detal konstrukcji.



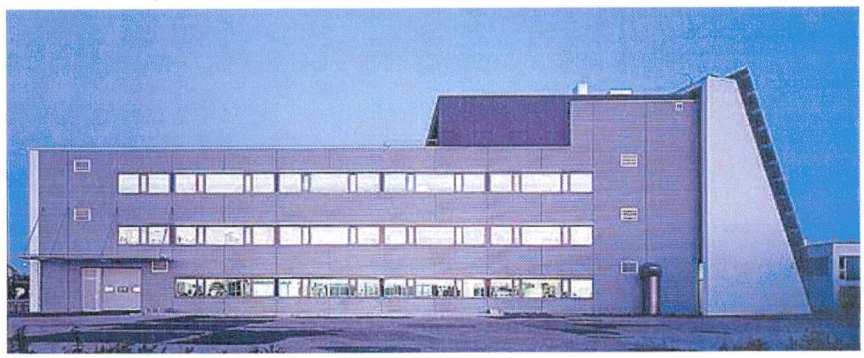
Fot. 332. Ogniwa PV – widok z zewnątrz.



Fot. 333. Ogniwa PV od wewnątrz.



Fot. 337. Gra światłocienia wewnątrz budynku.



Fot. 334. Elewacja zachodnia.



Fot. 338. Detal konstrukcji fasady BIPV.

017 Tsukuba Open Space Laboratory (OSL)

Tsukuba OSL jest centrum badawczym należącym do Agencji Nauk Przemysłowych i Technologii (Agency of Industrial Science and Technology, AIST) odpowiedzialnej za promowanie fotowoltaiki w Japonii. W budynku znajdują się laboratoria, w których prowadzone są badania i eksperymenty z dziedziny fizyki, nauk informatycznych, biologii i biotechnologii. Ze względu na różne profile działalności, podstawowym założeniem projektowym była maksymalna elastyczność i adaptacyjność budynku.

Elewacje

Dwukondygnacyjny obiekt zaprojektowano w formie prostopadłościanu z prostymi w wyrazie, biało-szarymi fasadami. Centralną część głównej ściany obok wejścia do budynku podkreślono dużej powierzchni przeszkleniem, które wykonano w systemie MPG (*metal point glazing*). W miejscu konwencjonalnych paneli szklanych, stosowanych zwykle w tego typu systemach, użyto szklanych modułów fotowoltaicznych (fot. 339).

Koncepcja ekologiczna

Pierwszym założeniem inwestora była realizacja systemu fotowoltaicznego o mocy 250 kWp. Ponieważ w fazie projektowej koszty konstrukcji okazały się zbyt duże, z pomysłu zrezygnowano. W realizację systemu PV zaangażował się projektant Jiro Ohno, który w celu promowania integracji fotowoltaiki z architekturą chciał stworzyć unikalny model BIPV o charakterystycznej estetyce. Zaproponowany przez niego system o mocy 10 kW zmieścił się w granicach budżetu. Instalację wykonano w 6 miesięcy.

Ze względu na klimat Japonii konieczne było zastosowanie mechanizmów redukujących nagrzewanie w miesiącach letnich. Ponieważ systemy chłodzenia są kosztowne i zużywają dużo energii, w budynku wykorzystano do tego celu semitransparentne szklane świetliki BIPV.

Instalacja BIPV

- Szklana fasada strukturalna

Unikalna instalacja fotowoltaiczna wykorzystuje szklenie strukturalne MPG, z którym zintegrowano charakterystyczne, okrągłe fotoogniwa z krzemu krystalicznego o średnicy 150 mm (fot. 344-346). W ten sposób szkło funkcjonuje jednocześnie jako generator energii o mocy 7,2 kWp i energooszczędny materiał elewacyjny. W szkleniu strukturalnym zastosowano specjalnie wyprodukowane moduły o wymiarach 2676 x 1360 mm.

Instalację zrealizowano w najbardziej widocznym miejscu przy głównym hallu wejściowym. Założeniem projektantów było stworzenie modelu instalacji BIPV i wykorzystanie jej w celach edukacyjno-informacyjnych. Fasada wywołuje duże zainteresowanie wśród licznie odwiedzających budynek osób, promuje fotowoltaikę i nowoczesne technologie.

W ciągu dnia szklana ściana od wewnątrz zapewnia widok na otoczenie, z zewnątrz z pewnej odległości wydaje się być wykonana z czarnego szkła (fot. 340-341). Z kolei nocą, sztuczne światło z hallu wejściowego przedostaje się na zewnątrz pomiędzy ogniwami podkreślając ich charakterystyczny kształt.

- Szklane świetliki

Na dachu nad atrium zastosowano podwójne szklenie, z którym zintegrowano cienkowarstwowe ogniwa z krzemu amorficznego a-Si. Częściowo transparentny materiał przepuszcza do wewnątrz 30 % promieniowania doświetlając wnętrze budynku naturalnym światłem dziennym. Dzięki systemowi semitransparentnych świetlików BIPV z odzyskiem ciepła, uniknięto konieczności zastosowania kosztownych mechanizmów chłodzących.

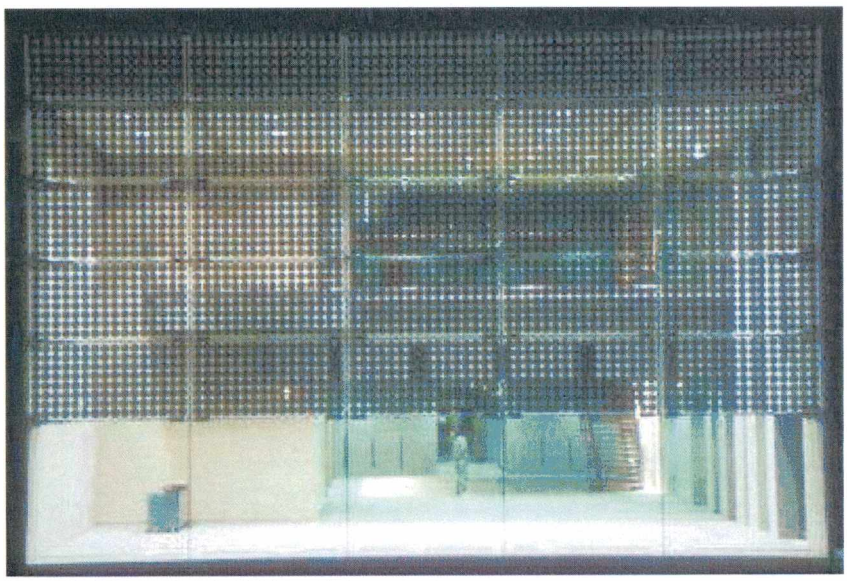
- Szklane zadaszenie

Na elewacji południowej nad szklaną elewacją BIPV zamontowano horyzontalny pas zadaszenia (fot. 339, 342, 343). Wykorzystano szklane moduły o wymiarach 1229 x 657 mm z ogniwami z krzemu polikrystalicznego.

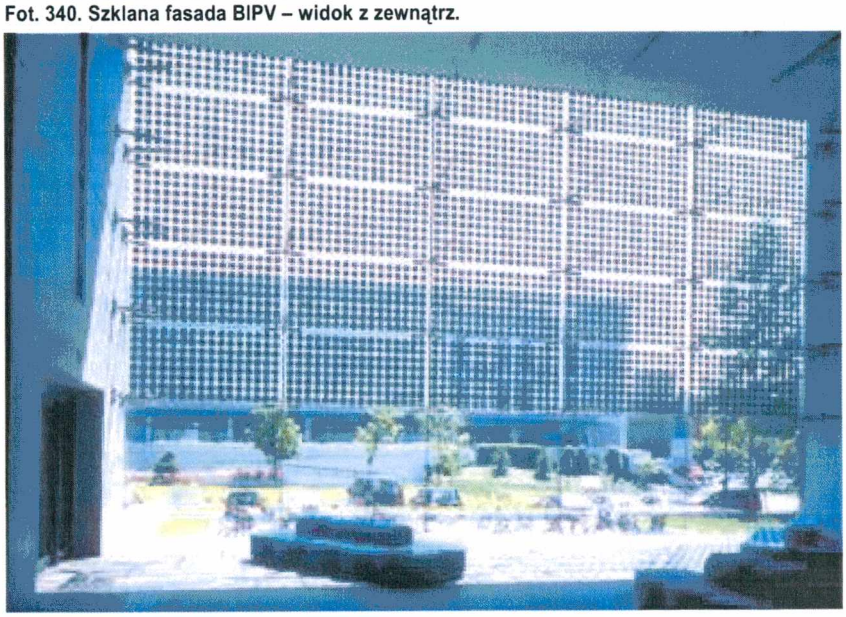
Łączna moc systemu wynosi 1,3 kW.



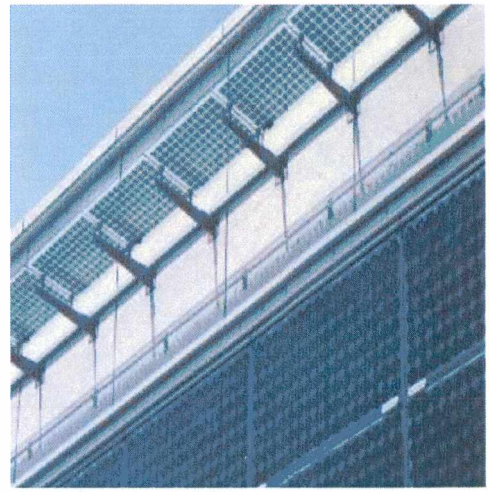
Fot. 339. Elewacja południowa z dwiema instalacjami fotowoltaicznymi.



Fot. 340. Szklana fasada BIPV – widok z zewnątrz.



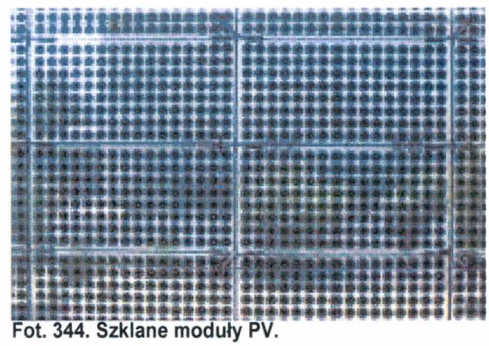
Fot. 341. Szklana fasada BIPV – widok od wewnątrz.



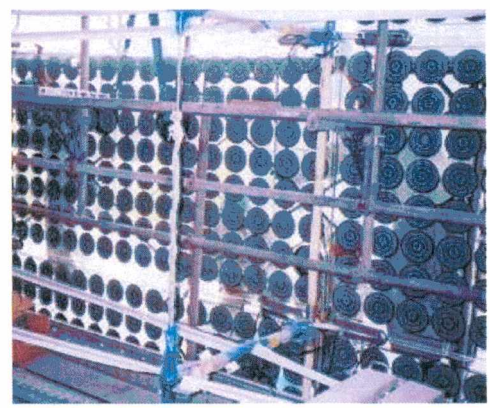
Fot. 342. Instalacje BIPV.



Fot. 343. Zadaszenie BIPV – detal konstrukcji.



Fot. 344. Szklane moduły PV.



Fot. 345. Budowa fasady BIPV.

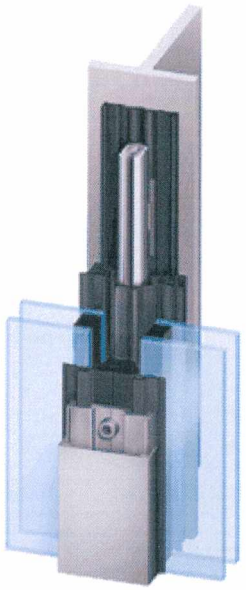


Fot. 346. Okrągłe ogniwa PV.

018 Bauer Energietechnik



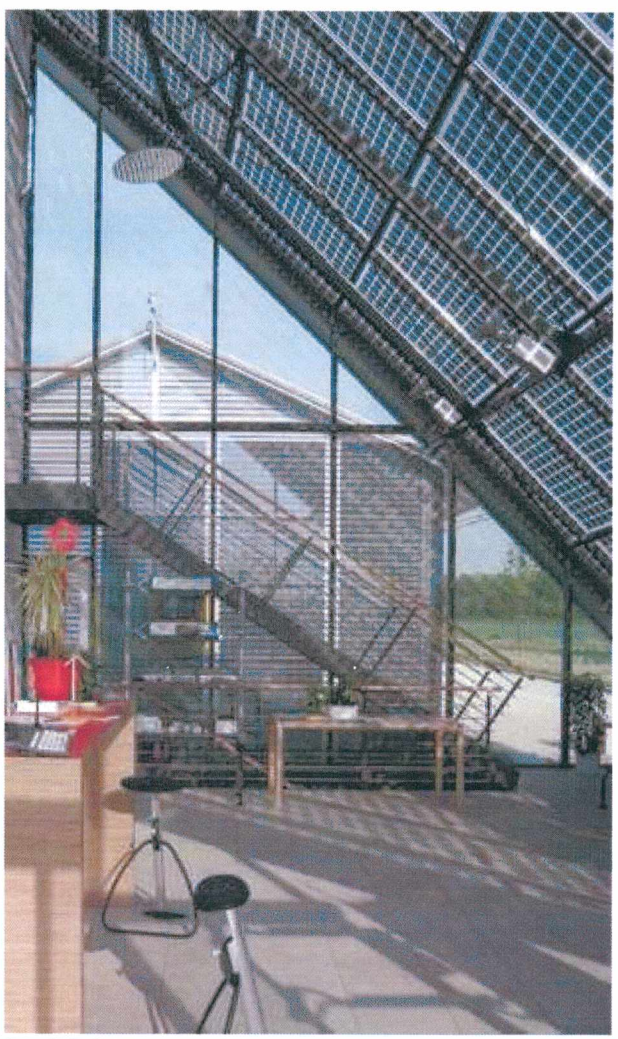
Fot. 347. Wejście główne i szklany dach BIPV.



Rys. 77. Schemat konstrukcji fasady.



Fot. 348. Szklana elewacja BIPV.



Fot. 349. Szklany dach BIPV – widok od wewnątrz.

019 SmartSolarFab®



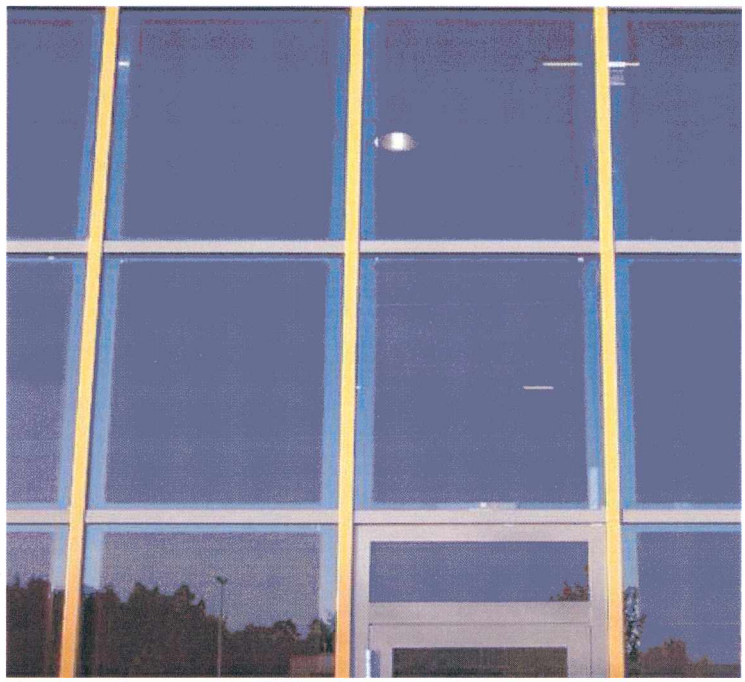
Rys. 78. Schemat budynku z zaznaczeniem instalacji BIPV.



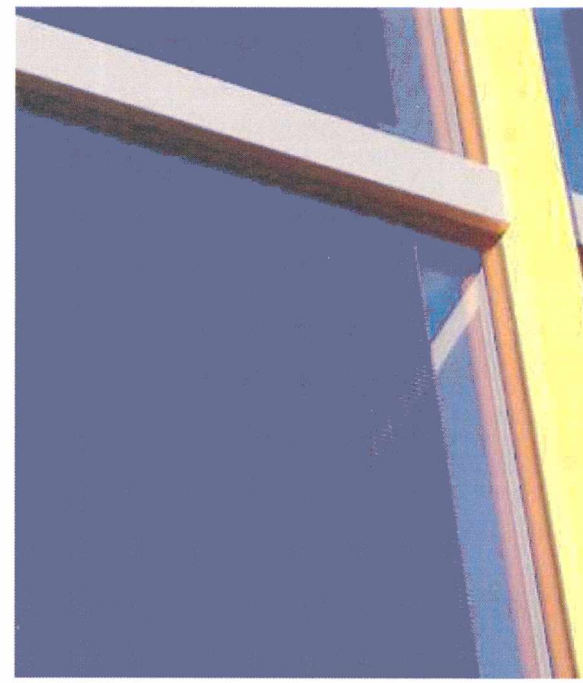
Fot. 350. Widok z lotu ptaka.



Fot. 353. Fragment elewacji południowej.



Fot. 351. Szklana elewacja BIPV – widok z zewnątrz.



Fot. 354. Ogniwa amorficzne zintegrowane ze szkłem.



Fot. 352. Semitransparentna elewacja BIPV – widok od wewnątrz.



Fot. 355. System słupowo-ryglowy ze szkleniem BIPV.

020 ThyssenKrupp Steel

Zakład walcowni taśm stalowych ThyssenKrupp Stahl AG jest jednym z obiektów należących do ogromnego kompleksu industrialnego Duisburg Beeckerwerth. Budynek usytuowano na zielonym terenie nad rzeką Ren, obok autostrady A42.

Architektura obiektu stanowi połączenie prostych, kubicznych form typowych dla budownictwa industrialnego. W ramach modernizacji zrealizowano nowe fasady, które stały się główną cechą wyróżniającą obiekt.

Elewacje

Elewacje budynku pokryto stalową blachą trapezową. Niecodzienny w sektorze industrialnym dobór barw, którego autorem jest Friedrich Ernst von Garnier sprawił, iż stały się one główną, rzucającą się w oczy cechą architektoniczną. Najbardziej znany w Europie projektant kolorów zaproponował mocne, świeże barwy z kolekcji ReflectionsOne® dla pokazania, iż budynki przemysłowe mogą być czymś więcej, niż tylko zwykłym, zimnym i ponurym pokryciem przestrzeni produkcyjnej.

Południowo-wschodnia elewacja jest kombinacją powszechnego w budownictwie industrialnym metalu z zaawansowaną technologią solarną. Wysoka na 24 m fasada składa się z prostokątnych pól, na przemian krytych blachą i przeszklonych (fot. 356, 358). Na zielonym blaszanym tle odcinają się ułożone w formie fali granatowo-fioletowe moduły PV. Fala ta tworzy interesujący, harmonijny kontrast w stosunku do typowych, prostych linii architektury przemysłowej. Jednocześnie budynek dobrze wpisuje się w otaczający krajobraz – zielone tereny spacerowe nad rzeką Ren. Kolorowa, długa na 300 m fasada jest wg Garniera *„przyjaznym pozdrowieniem dla wszystkich kierowców przejeżdżających autostradą obok zakładu"*.

Koncepcja ekologiczna

W ramach modernizacji budynku zrealizowano jedną z największych w Europie fotowoltaicznych instalacji fasadowych. Wg słów Friedricha Ernsta von Garniera: *„jeżeli istnieje możliwość pogodzenia krajobrazu i technologii za pomocą koloru, wówczas nie trzeba się wahać tylko chwycić daną szansę."* Projektant nazywa takie działanie *„ekologią dla oczu"*. Odpowiedni dobór barw pokrycia elewacji sprawił, że architektura stała się wizualnym symbolem – przyjazny środowisku budynek przemysłowy generuje zieloną elektryczność i dobrze wpisuje się w naturalny krajobraz (fot. 356).

Instalacja BIPV

- Ściana osłonowa

Na południowo-wschodniej fasadzie zainstalowano system BIPV o mocy 50 kWp. Zastosowany materiał - ThyssenKrupp-Solartec® - jest kompletnym systemem fasadowym w postaci blachy stalowej z trwale osadzonym cienkowarstwowym laminatem UNISOLAR® (fot. 357).

Produkty THYSSEN-Solartec® pozwoliły projektantowi dowolnie wymodelować fasadę (co byłoby zdecydowanie trudniejsze z modułami krystalicznymi). Pasy laminatów różnej długości tworzą na każdym z 6 pól nieregularne fale, silnie kontrastujące z panelami konwencjonalnego pokrycia (fot. 358).

Moduły fotowoltaiczne pokrywają w sumie powierzchnię 1400 m^2:

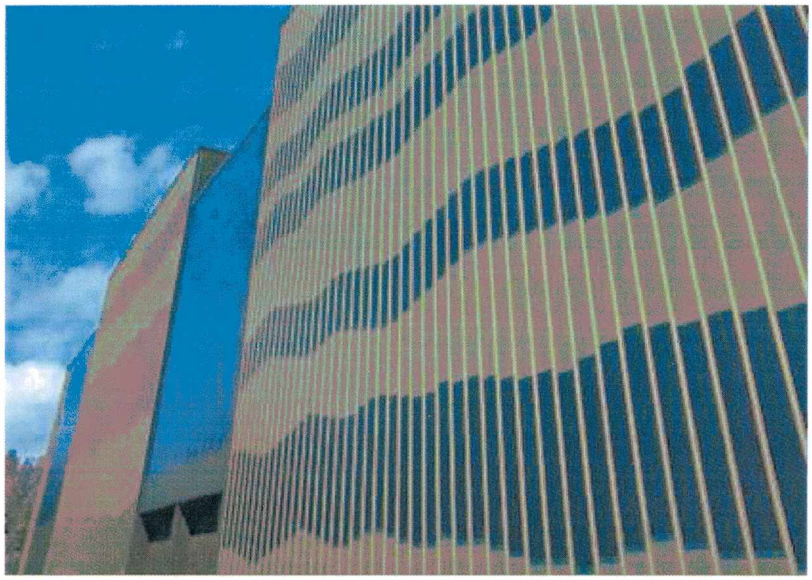
- pole 1 – 40 modułów PV o łącznej mocy 2,56 kWp,
- pole 2 – 200 modułów PV o łącznej mocy 11,2 kWp,
- pole 3 – 150 modułów PV o łącznej mocy 4,8 kWp +100 modułów PV o łącznej mocy 5,6 kWp,
- pole 4 – 150 modułów PV o łącznej mocy 4,8 kWp +100 modułów PV o łącznej mocy 5,6 kWp,
- pole 5 – 200 modułów PV o łącznej mocy 11,2 kWp,
- pole 6 – 64 moduły PV o łącznej mocy 5,3 kWp.

Wszystkie elementy pokrycia z blachy trapezowej mocowane są stalowymi śrubami do podkonstrukcji z profili ceowych. Za pomocą stalowych klipsów na łączeniach zamocowano w sumie 4,8 km listw maskujących (fot. 362). Pod pokryciem ułożono 10 km okablowania elektrycznego.

Pomimo faktu, iż kąt nachylenia modułów PV względem słońca nie jest optymalny (90°) system fotowoltaiczny osiąga wysokie parametry. Zastosowane ogniwa UNISOLAR® w technologii *triple-junction solar cells* efektywnie pracują nawet w gorszych warunkach nasłonecznienia. Roczne zyski z energii solarnej osiągają 32.130 kWh. Wygenerowana przez instalację BIPV energia elektryczna sprzedawana jest do lokalnej sieci energetycznej RWE.



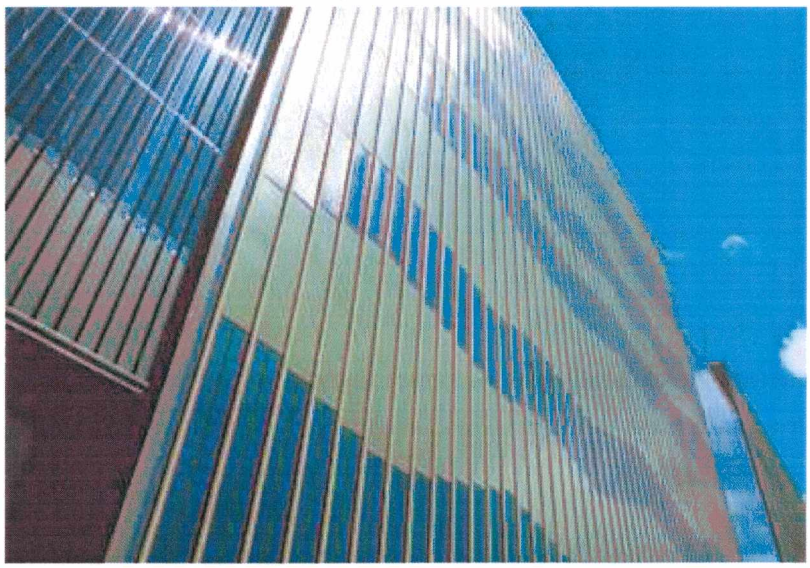
Fot. 356. Widok budynku od strony terenów spacerowych nad rzeką Ren.



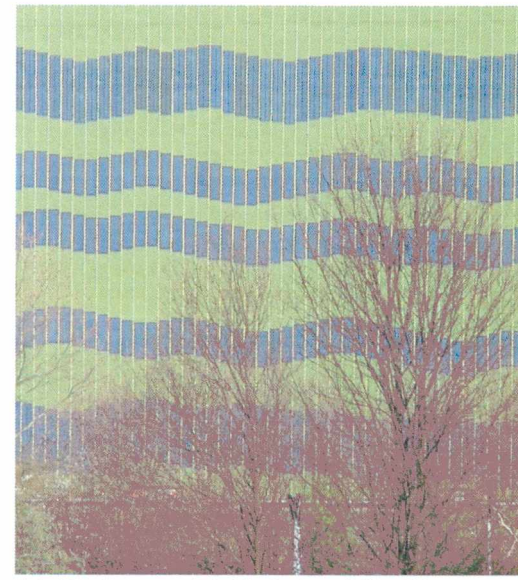
Fot. 357. Moduły PV zintegrowane z płytami warstwowymi – elewacja południowa.



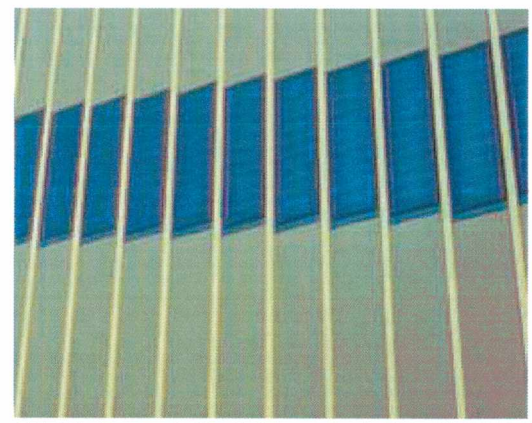
Fot. 358. Widok elewacji południowej.



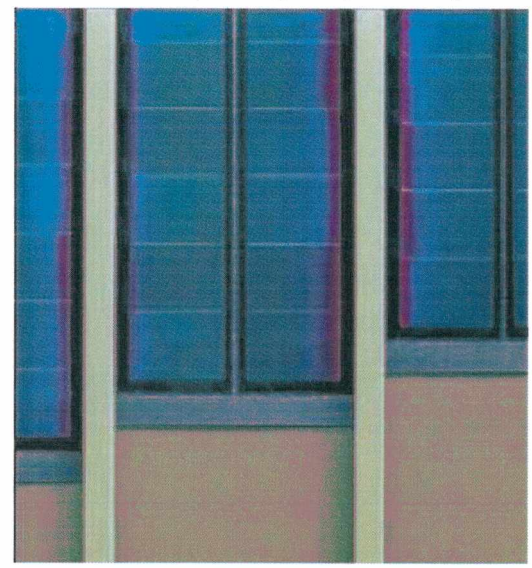
Fot. 359. Fragment instalacji BIPV.



Fot. 360. Kolorowe fale blachy i modułów PV.



Fot. 361. Pas modułów zintegrowanych z fasadą.



Fot. 362. Detal pokrycia fasady.

021 Protechno Card

Życzeniem inwestora było stworzenie nowoczesnego, reprezentacyjnego budynku biurowo-produkcyjnego (dla wytwarzania automatów do druku indywidualizowanych kart chipowych).

Głównym elementem architektury jest reprezentacyjna strefa wejściowa w formie wyższej szklanej hali z ciemnogranatową fasadą solarną (fot. 363). Układ funkcjonalno-przestrzenny pozostałej części budynku podąża za kierunkiem produkcji wokół centralnego patio (fot. 367).

Ciekawostką jest fakt, iż podczas budowy dokonano znaleziska archeologicznego – budynek wzniesiono w miejscu przecięcia dawnych szlaków handlowych Hellweg i Frankfurter Weg. Wykopalisko można oglądać wewnątrz budynku.

Elewacje

Konstrukcję wykonano w formie szkieletu drewnianego. Proste, wertykalne elewacje o strukturze wentylowanej pokryto aluminiową blachą falistą oraz panelami Trespa w kolorach srebrnym i pomarańczowym (fot. 366). Duże fragmenty odpowiednio zorientowanych względem Słońca ścian przeszklono dla maksymalizacji zysków ciepła z promieniowania solarnego.

W strefie wejściowej zaprojektowano reprezentacyjną halę, w dużej części przeszkloną. Jej południową fasadę pokryto instalacją BIPV (fot. 363, 364).

Modularność struktury wszystkich elewacji pozwala na łatwy demontaż lub wymianę poszczególnych elementów okładziny.

Koncepcja ekologiczna

Budynek wzniesiono wg standardów niskoenergetycznych. Szczególną wagę przywiązano do naturalnego oświetlenia światłem dziennym wnętrza obiektu (zarówno strefy biurowej jak i produkcyjnej). W miarę możliwości z każdego miejsca pracy starano się zapewnić kontakt z wewnętrznym patio poprzez duże przeszklenia elewacji lub zwykłe otwory okienne (fot. 366, 367).

Użyto materiałów budowlanych przyjaznych dla środowiska, które można poddać recyklingowi. Poza prefabrykowanymi ramami z drewna tworzącymi główną konstrukcję, pozostałe elementy budowlane pochodzą z lokalnej produkcji. Ściany bardzo dobrze ocieplono włóknem celulozowym.

Płaskie dachy pokryto zielenią.

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

System BIPV pokrywa całą południową ścianę reprezentacyjnej hali (fot. 363-365). Dodatkowo, pas 8 modułów zainstalowano od jej zachodniej strony (fot. 365). Wentylowana struktura fasady zapewnia możliwość chłodzenia od tyłu modułów fotowoltaicznych, co jest niezbędne w przypadku silnie nagrzewających się materiałów monokrystalicznych.

Zastosowano laminaty typu szkło-folia firmy ISOFOTON. Moduły o łącznej powierzchni 80 m^2 ułożono w kierunku pionowym w miejscu konwencjonalnej okładziny. Nieprzeźroczyste elementy mają ciemny, granatowo-czarny kolor, ponieważ jako tylną warstwę obudowy zastosowano folię Tedlar w kolorze czarnym (fot. 368).

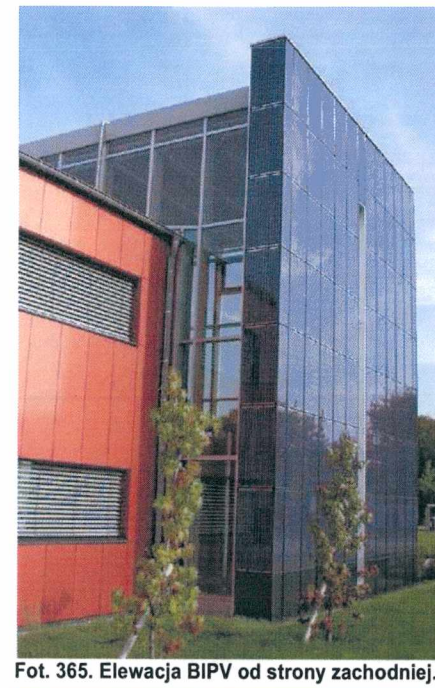
Łączna moc systemu fotowoltaicznego wynosi 9,56 kWp.



Fot. 363. Elewacja BIPV.



Fot. 364. Reprezentacyjna hala wejściowa.



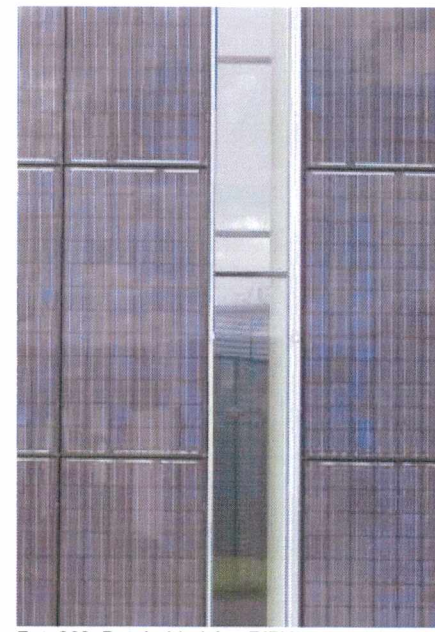
Fot. 365. Elewacja BIPV od strony zachodniej.



Fot. 366. Elewacja południowa.



Fot. 367. Patio wewnętrzne.



Fot. 368. Detal okładziny BIPV.

022 Technium OpTIC

Centrum technologiczno-inkubacyjne Technium OpTIC (Opto-electronics Technology and Incubation Centre) jest jednym z najnowocześniejszych w Europie. Budynek uhonorowano w 2005 główną nagrodą w kategorii budownictwa zrównoważonego (Sustainability Awards 2005), a także RICS Wales Sustainability Award jako stylowy przykład nowoczesnej architektury i model energooszczędności.

Centrum zlokalizowano przy wjeździe do parku biznesowego. Jego funkcją jest stymulowanie rozwoju innowacyjnych produktów i procesów w dziedzinie optoelektroniki. Architektura wzbudza zainteresowanie, przez co budynek stał się głównym punktem spotkań i konferencji w okolicy.

W dwukondygnacyjnym obiekcie znajdują się laboratoria typu *clean room* wraz z zapleczem, jednostka wsparcia biznesowego, centrum inkubacyjne oraz liczne pomieszczenia konferencyjne i seminaryjne. Jednostki centrum inkubacji i centrum biznesowego oddzielono wewnętrznym, przeszklonym pasażem komunikacyjnym, w którym zaprojektowano strefę rekreacyjną. Inkubator składa się 24 jednostek - bazowa jednostka o powierzchni 52 m^2 może być powiększona do 100 lub 150 m^2. W budynku znajduje się także restauracja, miejsca wystawowe, itd.

Zaprojektowany z dużą dbałością budynek charakteryzuje się wysoką jakością. Odpowiednio rozplanowane i wyposażone wnętrze zapewnia użytkownikom komfort i odpowiednie warunki pracy.

Elewacje

Gładkie pokrycie elewacji, w postaci paneli PV i okładziny z drzewa cedrowego, podkreśla wyjątkową geometrię budynku (fot. 369). Czarna i jednolita ściana solarna, zakrzywiona w miejscu połączenia z dachem, wygląda jakby spływała do ziemi. Stanowi najbardziej charakterystyczny, zwracający uwagę element architektoniczny (fot. 370).

Koncepcja ekologiczna

Założeniem projektantów było wykorzystanie różnych rozwiązań przyjaznych środowisku i zbilansowanie ich z potrzebami użytkownika. Budynek uzyskał ocenę „doskonały" w środowiskowej ocenie budynków BREEAM.

Najbardziej charakterystycznym elementem jest elewacja BIPV - jedna z największych instalacji fotowoltaicznych w Europie została zlecona przez agencję Welsh Development Agency (WDA), która zainwestowała w projekt 15,7 mln funtów. Generując czystą energię system BIPV pozwala uniknąć emisji 20 ton CO_2 rocznie.

Budynek otoczono istniejącymi żywopłotami i drzewami będącymi pod ochroną, ziemię z wykopów wykorzystano w innym miejscu. Użyto wiele materiałów z recyklingu. Prefabrykacja elementów zapewniła wysoką jakość materiałów oraz redukcję odpadów.

Inne elementy koncepcji ekologicznej to np. zewnętrzne lampy PV, syfony solarne, specjalna izolacja termiczna, niskoenergetyczny system chłodzenia i oświetlenia. Komputerowy system BEMS (Building Energy Management Systems) monitoruje i kontroluje instalacje budynku.

Jednostki centrum inkubacji i centrum biznesowego oddzielono wewnętrzną, naturalnie wentylowaną przeszkloną drogą - trzy wylotowe kominy wypuszczają ciepłe powietrze, dwa zasysają świeże. W laboratoriach strefy badawczej zaprojektowano instalację mechanicznej wentylacji.

Woda deszczowa spływa z dachu po fasadzie PV do 1,5 m szerokości sadzawki u podstawy ściany, zasilając podziemne zbiorniki o pojemności 40 000 l (fot. 373). Wykorzystana m.in. w toaletach i do podlewania, pozwala na oszczędność 1000 m^3 wody rocznie.

Instalacja BIPV

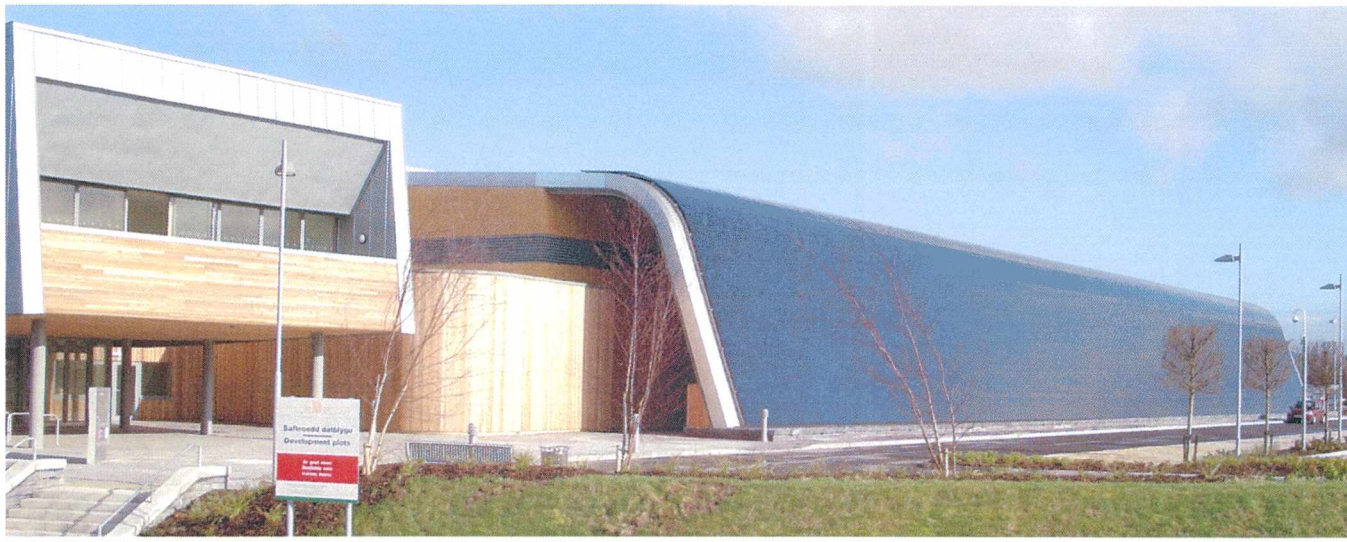
- Wentylowana okładzina fasadowa

Charakterystyczna ściana BIPV o powierzchni 1200 m^2 i mocy 85 kW jest jedną z największych w Europie instalacji CIS. Uzyskanie odpowiednich paneli PV doprowadziło do poszukiwań na skalę światową. Pierwszy dostawca (firma ANtec) zbankrutował, drugi (BP Solar) zamknął fabrykę, trzeci także zbankrutował. Ostatecznie zamówienie zrealizowała fabryka Shell, dostarczyła jednak moduły, które wymagały zmiany koncepcji fasady.

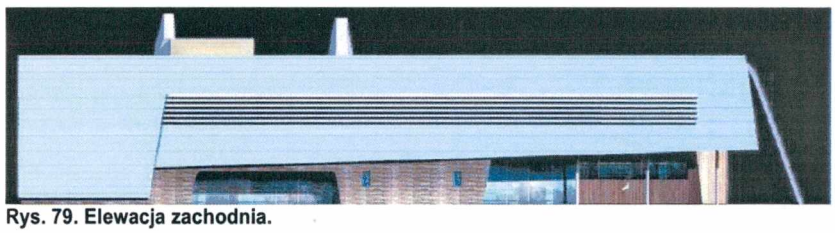
Strukturę wentylowanej przegrody opracowała Energy Equipment Testing Service Ltd EETS. Zakrzywiony kształt fasady wymagał specjalnej konstrukcji i dokładnych połączeń (płaskie, szklane moduły CIS nie są giętkie, umieszczono je pod różnym kątem). Instalacja i dopasowanie elementów trwało 4 tygodnie. Prefabrykacja elementów pozwoliła znacznie zredukować koszty systemu. 2400 modułów o wymiarach 140 x 35 cm połączono w fabryce w większe panele. Poprzez konsole do tyłu paneli zamocowano wytłaczane profile Unirac. Sekcję zakrzywioną wykonano z zimnogiętych, odpowiednio ukształtowanych profili. 400 gotowych podsystemów przetransportowano na plac budowy i zainstalowano za pomocą klipsów (rys. 80, fot. 371, 372).

System BIPV pokrywa około 5% konsumpcji energii. Energia fotowoltaiczna zasila *clean-roomy*, ewentualne nadwyżki mogą być eksportowane do sieci.

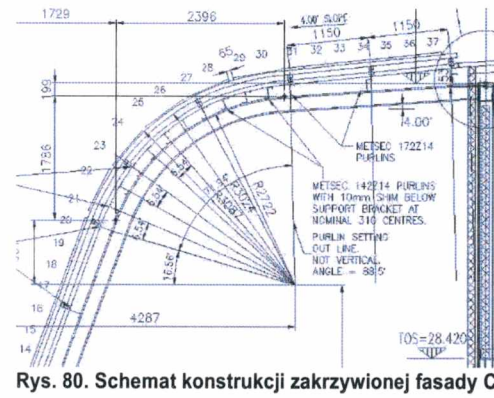
W wypadku tej instalacji prace były znacznie opóźnione i utrudnione ze względu na brak doświadczenia wykonawców i złą komunikację pomiędzy głównym wykonawcą a firmą solarną.



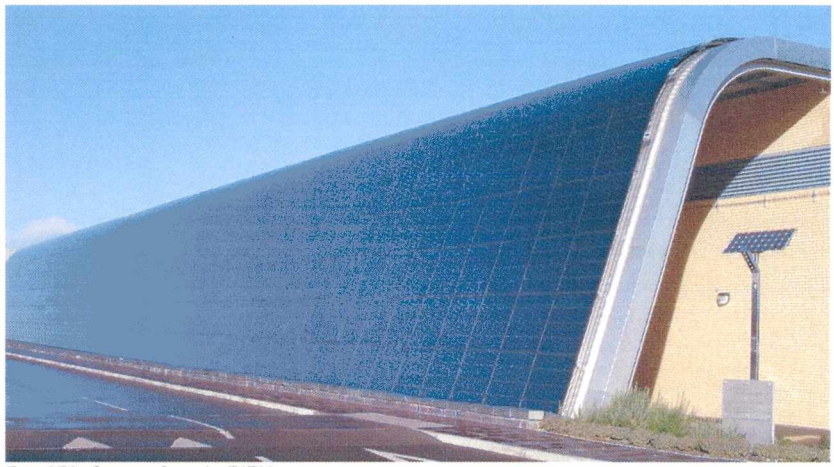
Fot. 369. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.



Rys. 79. Elewacja zachodnia.



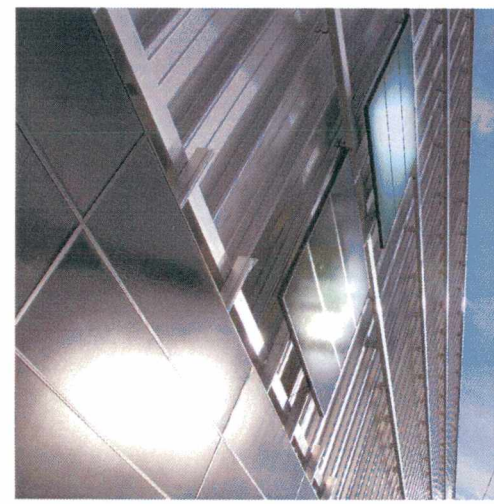
Rys. 80. Schemat konstrukcji zakrzywionej fasady CIS.



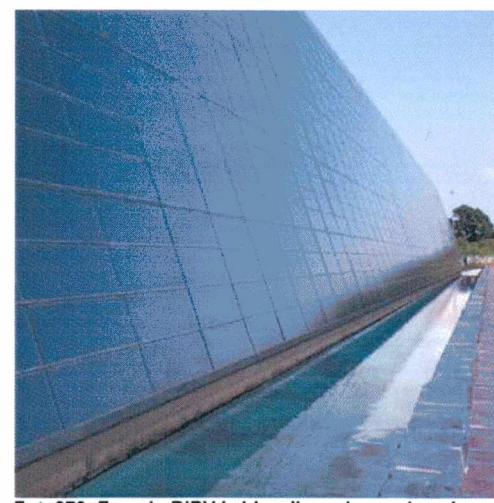
Fot. 370. Czarna fasada BIPV.



Fot. 371. Montaż paneli fotowoltaicznych.



Fot. 372. Konstrukcja fasady BIPV.



Fot. 373. Fasada BIPV i zbiornik wody opadowej.

023 SchapfenMühle

Ze względu na niewielką powierzchnię terenu do zabudowy, dla osiągnięcia wymaganej przez inwestora pojemności magazynowej jedyną możliwością było wyciągnięcie budowli w górę. Zrealizowano wyjątkowo smukły, prostopadłościenny budynek o wysokości 114,6 m (z anteną 125 m) na bazie o wymiarach 10,13 x 16,65 m. Trzeci co do wysokości budynek w mieście Ulm jest najwyższym na świecie funkcjonującym silosem (fot. 374).

Punktem wyjściowym koncepcji projektowej było wyeksponowanie obiektu. Usytuowany na wjeździe do miasta, ekstremalnie smukły i wysoki budynek przyciąga wzrok, wiele wysiłku włożono więc w osiągnięcie wysokiej jakości architektonicznej.

Smukła „wieża" składa się z trzech elementów powiązanych ze sobą w jedną strukturę - do prostopadłościennego silosa dołączono zewnętrzną klatkę schodową i szyb windowy (fot. 375, 377). Na górze znajduje się taras widokowy.

Ze względu na ograniczenie przestrzeni w rzucie (168 m^2) wszystkie urządzenia muszą być bardzo precyzyjnie ustawione i połączone ze sobą w celu optymalizacji powierzchni pracy. Wg producenta modułów solarnych Würth Solar obiekt ten jest dowodem na to, że tradycja, rzemiosło i przyszłościowe technologie mogą znakomicie funkcjonować pod jednym dachem.

Elewacje

Ze względu na wyeksponowaną lokalizację budynku konieczne było sprostanie wymaganiom wysokiej jakości architektonicznej. Pomimo typowo przemysłowej, technicznej funkcji obiektu aspekty formalne odgrywały bardzo ważną rolę. W ukształtowanie fasad włożono wiele wysiłku.

Główną strukturę obłożono metalową okładziną. Zastosowano panele o wymiarach 3 x 3 m, w kolorze szarym z poziomym podziałem. Na ścianie południowej i wschodniej dodatkowym elementem jest czarna instalacja BIPV (fot. 378, 381). Moduły fotowoltaiczne zawieszono na konstrukcji słupowo-ryglowej.

Całość utrzymana jest w stonowanej, szaro-czarnej kolorystyce (fot. 374). Szyb windowy pozostawiono niczym nieobłożony (fot. 377), zewnętrzna klatka schodowa obudowana jest ażurowymi kratkami stalowymi (fot. 375).

Koncepcja ekologiczna

Na fasadzie południowej i wschodniej zrealizowano jedną z największych instalacji fotowoltaicznych z modułów CIGS. System BIPV generuje rocznie 70 000 kWh czystej energii elektrycznej. Nowoczesna technologia pozwoli uniknąć emisji 50 000 kg CO_2.

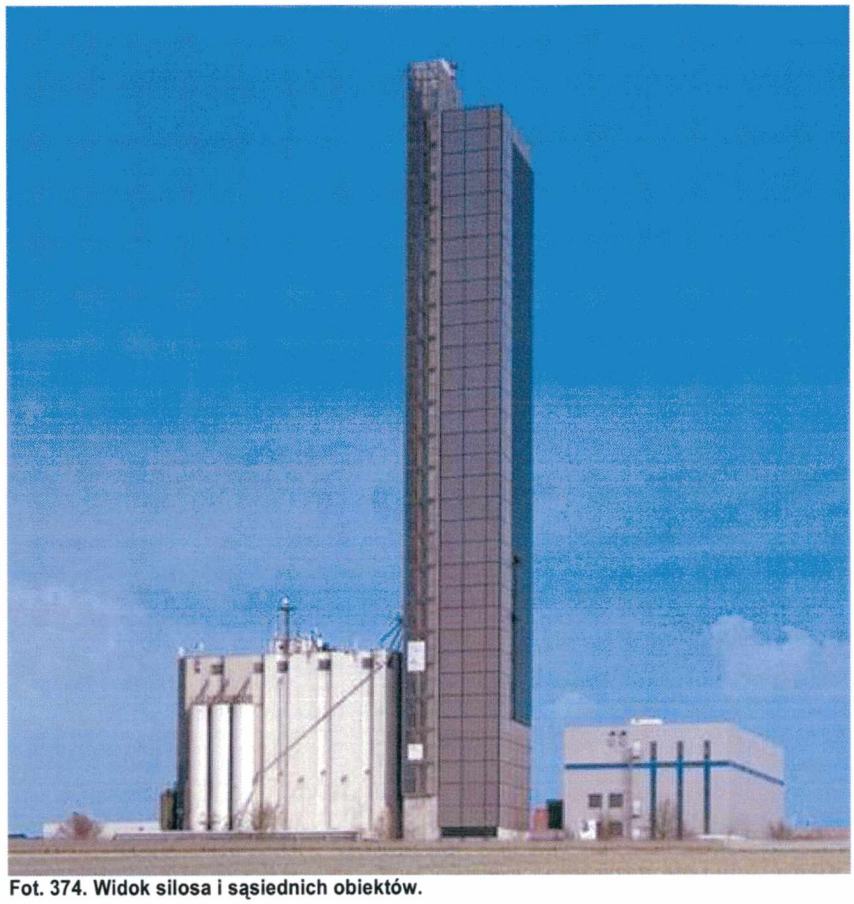
Budynek uzyskał nagrodę *Photovoltaics Integrated In Building* 2005.

Instalacja BIPV

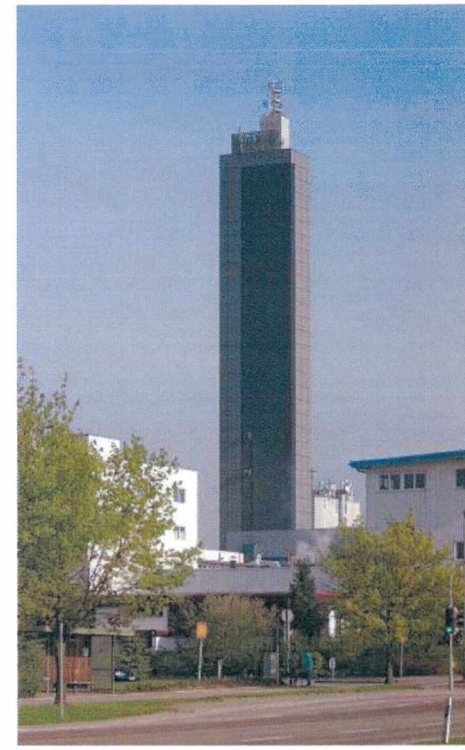
Imponująca, 102 m wysokości instalacja fotowoltaiczna zintegrowana z fasadą młyna zbożowego jest najwyższą na świecie instalacją z materiałów cienkowarstwowych CIGS. System BIPV pokrywa większą część elewacji południowej i wąski pas elewacji wschodniej (fot. 378). W sumie użyto ponad 1300 modułów, które zawieszono na metalowej konstrukcji słupowo-ryglowej.

Zastosowano bezramowe, szklane moduły cienkowarstwowe CIGS wyprodukowane przez Würth Solar, kóre zmodyfikowano dla spełnienia wysokich wymagań technicznych. Zmiany dotyczyły przede wszystkim puszek łączeniowych oraz zwiększenia wytrzymałości szkła. Moduły CIGS wybrano ze względu na formalne i użyteczne właściwości - jednolita, czarna, matowa powierzchnia okładziny BIPV jest funkcjonalna i estetyczna (fot. 380, 381). Optycznie dobrze integruje się z prostą formą i fasadami silosa. Jednocześnie poza generacją energii przejmuje wszystkie funkcje konwencjonalnej okładziny.

Jak dotąd, istnieje bardzo niewiele danych empirycznych na temat systemów BIPV wykorzystujących moduły CIGS. W SchapfenMühle system o łącznej mocy 98 kWp (83,1 kWp na elewacji południowej i 14,85 kWp na elewacji zachodniej) sprawnie funkcjonuje od roku 2004 generując energię, która równolegle dostarczana jest do trzech faz lokalnej sieci energetycznej.



Fot. 374. Widok silosa i sąsiednich obiektów.



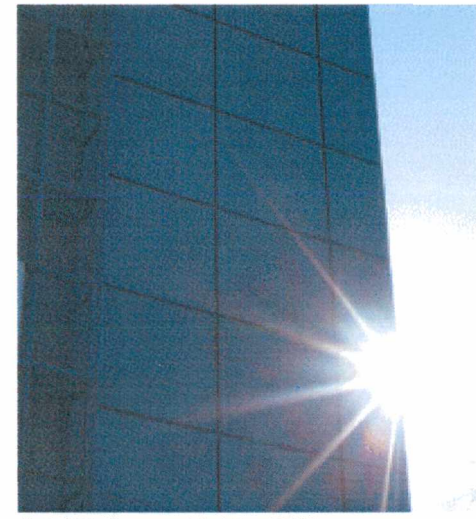
Fot. 379. Widok z miasta Ulm.



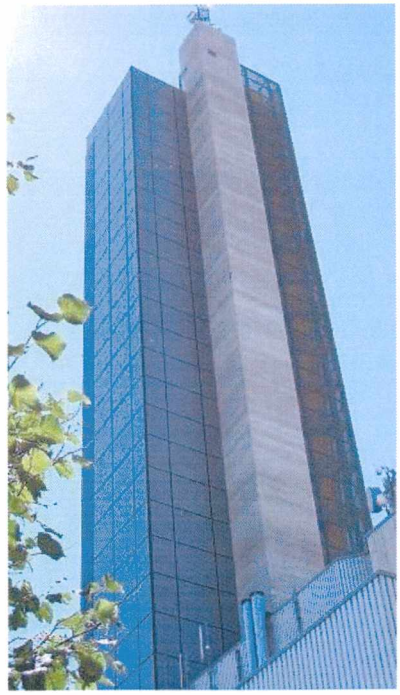
Fot. 375. Klatka schodowa.



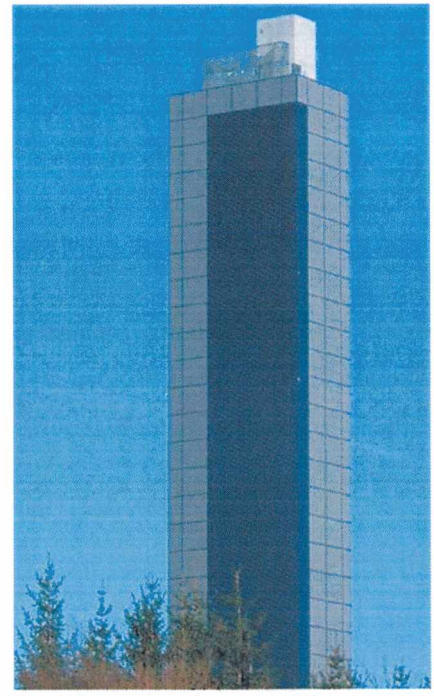
Fot. 376. Fragment elewacji południowej



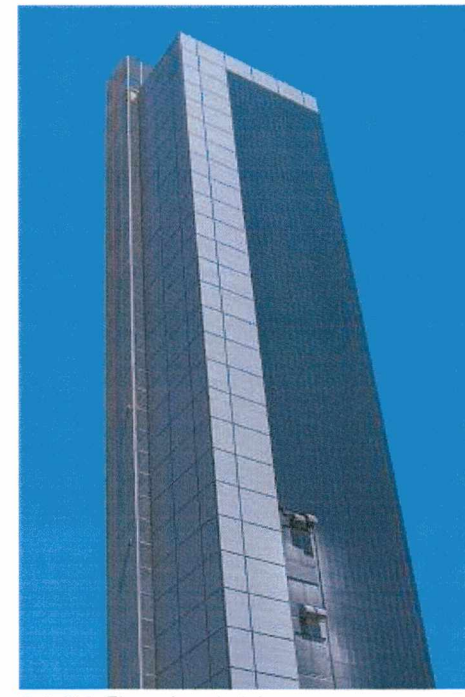
Fot. 380. Czarna okładzina BIPV.



Fot. 377. Widok od strony północnej.



Fot. 378. Fasadowa instalacja BIPV.



Fot. 381. Elewacja południowa.

024 Wattwerk

Heinrich Holinger, właściciel firmy Holinger Solar AG (prekursor solarnego pojazdu „solarmobile"), od początku lat 90. propaguje technologie solarne i ich zastosowanie w budownictwie. Wykorzystując wieloletnie doświadczenie firma zrealizowała dla siebie budynek nazywany „fabryką watów".

Na pierwszy rzut oka architektura obiektu o bardzo prostej formie nie wyróżnia się niczym specjalnym od innych „kostek" przemysłowych znajdujących się w pobliżu, zastosowano jednak wiele innowacyjnych rozwiązań (fot. 382). Projekt uzyskał nagrodę *Europäischer Solarpreis* 2004.

W układzie funkcjonalno-przestrzennym wyodrębnić można dwie strefy: od strony północnej nieogrzewane magazyny, od południa laboratorium, biura oraz trzon sanitarny. Na drugiej kondygnacji wynajmowane są pomieszczenia biurowe.

Elewacje

Zewnętrzne przegrody wykonano z prefabrykowanych elementów drewnianych z izolacją z wełny mineralnej. Modularne elewacje zaprojektowała i zrealizowała firma ERNE (fot. 385). Proste, pozbawione elementów dekoracyjnych fasady pokryto panelami metalicznymi w kolorze czerwonym. Na południowo-zachodniej ścianie w miejscu konwencjonalnej okładziny użyto modułów PV (fot. 382-384).

Koncepcja ekologiczna

Główną cechą projektu jest innowacyjna koncepcja energetyczna. Budynek generuje rocznie ponad dwa razy więcej energii, niż jest w nim zużywane (łącznie dla ogrzewania, oświetlenia, podgrzewania wody, wyposażenia, urządzeń elektronicznych). Osiągnięto to dzięki kombinacji różnych technik ekologicznego budowania i zaopatrzenia energetycznego.

Zaprojektowano modularny budynek o kompaktowej formie. Konstrukcję typu *low-tech* wykonano w systemie *Minergie-P*. „Fabryka watów" jest pierwszym w Szwajcarii budynkiem przemysłowym odpowiadającym standardom budynku pasywnego.

Zaprojektowane przez ERNE zewnętrzne ściany oraz dach zaizolowano wełną mineralną grubości 36 cm (20 + 10 cm), w środku której znajduje się 15 mm grubości płyta OSB zatrzymująca parę i usztywniająca konstrukcję. Optymalna izolacja pozwoliła na radykalne ograniczenie ogrzewania. W wynajmowanych pomieszczeniach biurowych każdy reguluje temperaturę wg potrzeb.

Nowatorskim rozwiązaniem jest wykorzystanie energii geotermalnej. Ze względu na ochronę wód podziemnych po raz pierwszy w Szwajcarii zastosowano nowy typ ekologicznej sondy z ciekłym CO_2. W kombinacji z pompą cieplną pozwala ona wykorzystać energię z głębokości 75 m. Ciepło rozprowadzane jest przez system ogrzewania podłogowego.

Zaprojektowano system wentylacji z odzyskiem ciepła oraz specjalnie izolowane okna otwierane od dołu dla naturalnego przewietrzania. Doświetlają one wnętrze światłem naturalnym, posiadają zewnętrzny system żaluzji regulowanych przez użytkowników.

Płaski dach, południową fasadę i zadaszenie nad wejściem wykorzystano do pozyskiwania energii słonecznej poprzez instalację fotowoltaiczną. Wygenerowany prąd wykorzystywany jest do ładowania akumulatora elektrycznego pojazdu (fot. 382).

Budynek ma ponad 10-krotnie mniejsze zapotrzebowanie na energię w przeliczeniu na 1 m^2 powierzchni ogrzewanej w stosunku do konwencjonalnych obiektów. Jednocześnie rocznie zaoszczędzonych zostaje w ten sposób ~10 675 kg Co_2. Całość koncepcji dopełnia ekologiczne zagospodarowanie terenu i zbiornik o pojemności 6000 l na wodę deszczową.

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

Na południowej fasadzie budynku zastosowano w miejscu tradycyjnej okładziny obramowane moduły PV z ciemnoniebieskimi ogniwami m-Si i tylną warstwą ochronną w kolorze białym. Jak podkreśla właściciel, nie jest to instalacja nałożona na fasadę, ale instalacja, która jest fasadą.

System składający się z 152 modułów o łącznej mocy 12 kWp rocznie produkuje ~24 420 kWh energii elektrycznej, tzn. dwa razy więcej niż jest w budynku zużywane. Dla ograniczenia kosztów wykorzystano standardowe moduły PV – tym razem wg słów H. Holingera, to nie moduły dostosowano do elewacji i okien, ale okna dopasowano do modułów PV. Mocowane na podkonstrukcji z profili aluminiowych moduły przykręcone są do niej w 6 miejscach. Pustka powietrzna zapewnia wentylację i chłodzenie nagrzewających się ogniw. Pokrycie fasady jest całkowicie wodoszczelne dzięki wypełnieniu fug syntetycznymi uszczelkami EPDM. Okablowanie poprowadzono na zewnątrz budynku, by zredukować ilość otworów w powłoce budynku (fot. 387).

- Instalacja dachowa

Moduły PV zainstalowane na płaskim dachu zamocowano w systemie SOFREL. Elementy klejone są do betonowej podkonstrukcji, która zapewnia im optymalne nachylenie względem Słońca (fot. 382).

- Zadaszenie

Nad wejściem do budynku zrealizowano szklane zadaszenie BIPV. Panel fotowoltaiczny zamocowano w układzie horyzontalnym.



Fot. 382. Widok budynku z trzema instalacjami fotowoltaicznymi.



Fot. 383. Okładzina fasadowa – czerwone metalowe panele i moduły PV.



Fot. 384. Instalacja BIPV – elewacja południowa.



Fot. 385. System Minergie-P.



Fot. 386. Budowa obiektu.



Fot. 387. Montaż okładziny BIPV.

025 MSK Fukuoka



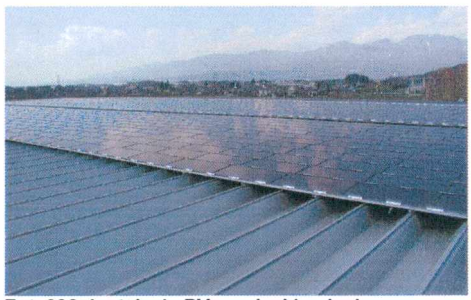
Fot. 388. Semitransaprentne moduły od wewnątrz.



Fot. 391. Narożnik budynku z instalacją BIPV.



Fot. 389. Fasada BIPV od wewnątrz.



Fot. 390. Instalacja PV na płaskim dachu.



Fot. 392. Szklana fasada BIPV od zewnątrz.



Fot. 393. Widok fabryki.

026 Kameyama Plant



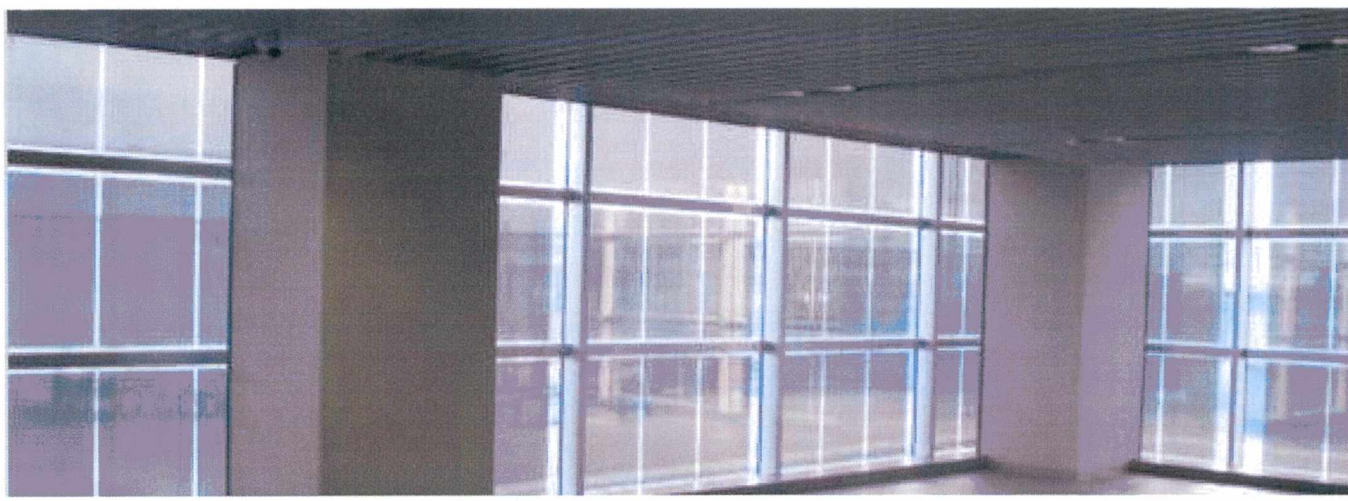
Fot. 394. Widok z lotu ptaka – fasadowe i dachowe instalacje fotowoltaiczne.



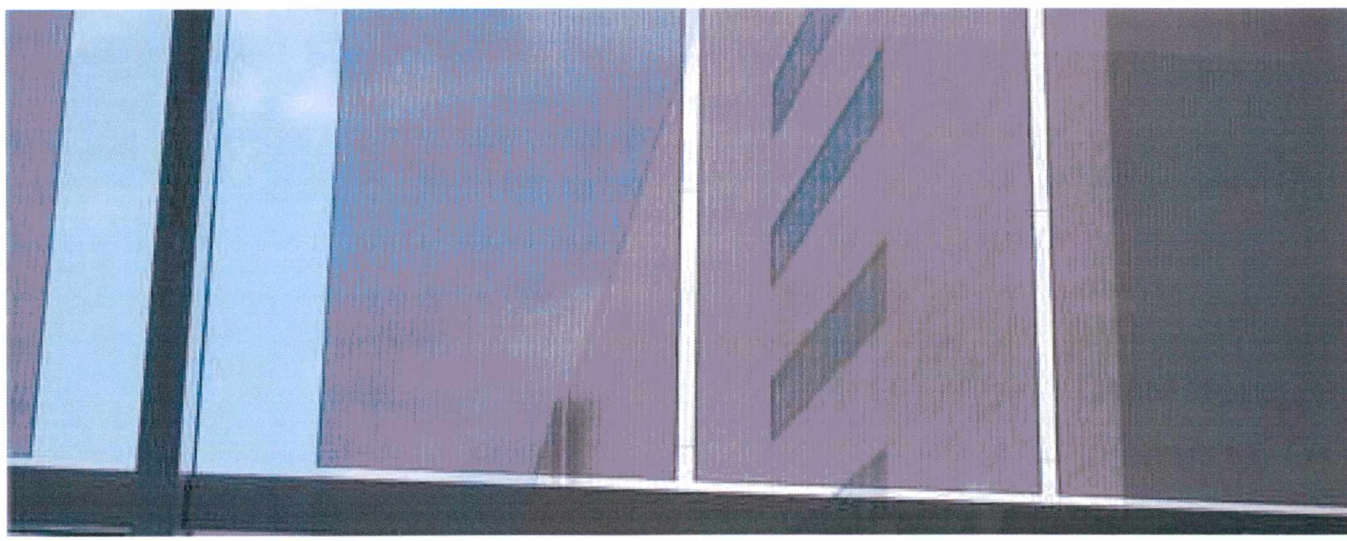
Fot. 395. Kameyama Plant nr 1 – szklana fasada BIPV.



Fot. 396. Kameyama Plant nr 2 – szklany narożnik BIPV.



Fot. 397. Szklana fasada kurtynowa BIPV - Kameyama Plant nr 2, widok od wewnątrz.



Fot. 398. Moduły cienkowarstwowe zintegrowane ze szkłem – Kameyama Plant nr 2, widok od wewnątrz.

027 Isofotón

Nową siedzibę hiszpańskiej firmy fotowoltaicznej Isofotón zlokalizowano w parku technologicznym w Maladze (Parque Tecnológico de Andalucía). W skład kompleksu wchodzą połączone ze sobą dwie długie, prostopadłościenne hale produkcyjne z magazynami i laboratoriami B&R, mały budynek techniczny oraz blok administracyjny. W fabryce produkowane są moduły fotowoltaiczne (cały proces od cięcia płytek krzemowych dla ogniw do ekspedycji gotowych modułów) oraz kolektory termalne. Budynek administracyjny pełni jednocześnie rolę ekspozycji – architektoniczna integracja różnego rodzaju systemów solarnych obrazuje działalność firmy (fot. 399).

Elewacje

W projekcie elewacji zarówno w części produkcyjnej, jak i administracyjnej, architekci wykorzystali logo oraz kolorystykę firmy (fot. 399, 400, 404).

4 elewacje budynku administracyjnego pokryto ceramiczną, wentylowaną okładziną na podkonstrukcji z metalowych szyn. Na dwóch fasadach ceramiczne panele zintegrowano z ogniwami fotowoltaicznymi. Część produkcyjną pokryto panelami metalowymi (fot. 404).

Koncepcja ekologiczna

W budynku zrealizowanym wg zasad architektury bioklimatycznej za główny cel uznano maksymalizację efektywności energetycznej, poprzez redukcję konsumpcji energii wykorzystywanej w systemach ogrzewania i chłodzenia. W budynku administracyjnym zaprojektowano:
- wentylowane fasady (przestrzeń powietrzna między okładziną a izolacją termiczną umożliwia wentylację poprzez naturalną konwekcję na całej powierzchni fasady, polepszając jej właściwości termiczne i zapobiegając wilgoci);
- kurtynowe ściany z podwójnym szkleniem;
- horyzontalne ekrany z modułów PV na fasadach wyeksponowanych w kierunku Słońca;
- centralne patio wykorzystywane jako klimatyczny bufor (regulowana wentylacja świetlików, wpusty świeżego powietrza zorientowane na zacienioną stronę budynku oraz nawilżacze generują efekt kominowy pozwalając uniknąć konsumpcji energii elektrycznej dla chłodzenia nawet w lecie);
- pokrycie ze szkła chroniące od nadmiernego nasłonecznienia;
- system termalny (na płaskim dachu zainstalowano płaskie i próżniowe kolektory termalne, które pozwalają rocznie uniknąć emisji 190 ton CO_2 i 570 ton SOx);
- 3 różne typy systemów fotowoltaicznych na fasadach.

W budynku fabryki zrealizowano innowacyjny system solarny – kolektory termalne pozwalają pokryć część zapotrzebowania energetycznego centralnego systemu klimatyzacji (ogrzewanie i chłodzenie) i służą do podgrzewania wody dla procesów przemysłowych.

Fabryka posiada centralny system klimatyzacji z urządzeniami o wysokiej mocy, funkcjonujący cały rok zarówno w pomieszczeniach biurowych jak i produkcyjnych. Specjalny system absorpcyjny pozwala na oszczędność ~70% energii. Instalacje są cały czas monitorowane, dane analizowane dla celów B&R. Zastosowanie w jednym miejscu różnych rozwiązań stwarza dla budynku laboratorium badawcze *„in situ"*.

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

Na dwóch elewacjach zainstalowano moduły laminowane na podłożu ceramicznym (I-50 CER). Na konwencjonalnych panelach ceramicznych (stanowiących okładzinę budynku) naklejono ogniwa fotowoltaiczne z ochronnym pokryciem (fot. 400, 401). Konstrukcja wentylowanej fasady pozwala na łatwą instalację modułów, dostęp do elementów systemu i ewentualne naprawy.

- Podwójne fasady kurtynowe

Przeszklone fragmenty elewacji wykonano w konstrukcji podwójnej fasady kurtynowej – wewnętrzną warstwę tworzy hermetyczne podwójne szklenie, zewnętrzną - moduły PV typu szkło-folia. Zastosowano laminaty z transparentną folią Tedlar w celu oświetlenia wnętrza naturalnym światłem dziennym. Powstały 3 horyzontalne pasma szklane: centralny, całkowicie przezierny z otwieranymi elementami oraz górny i dolny zintegrowany z ogniwami (fot. 401, 405, 406).

- Systemy zacieniające

Nieruchome, horyzontalne struktury zacieniające BIPV wykonano na fasadzie południowo-wschodniej i południowo-zachodniej. Zastosowano specjalnie zaprojektowane, bezramowe laminaty typu szkło-folia, transparentne i opalizujące. Mocowane poprzez system zacisków tworzą zadaszenie nad centralnym pasmem transparentnego szkła kurtynowej fasady (fot. 400, 402, 403).

- Świetliki szedowe

Zorientowane na południe świetliki szedowe wykonano z transparentnych laminatów, które doświetlają wnętrze światłem rozproszonym (rys. 81). Filtrując promieniowanie bezpośrednie moduły pozwalają na penetrację promieni odbitych i światła od strony północnej.



Fot. 399. Elewacje BIPV - zachodnia i południowa.



Rys. 81. Schemat instalacji solarnych.



Fot. 400. Elewacja południowa – trzy różne instalacje BIPV.



Fot. 404. Hala produkcyjna.



Fot. 401. Okładzina ceramiczna zintegrowana z modułami PV i szkło BIPV.



Fot. 405. Szklenie BIPV – widok z zewnątrz.



Fot. 402. Fragment elewacji BIPV.



Fot. 403. Zadaszenie BIPV.



Fot. 406. Szklenie BIPV - widok od wewnątrz.

028 Q-cells AG (budynek III)

Q-cells AG jest największym na świecie niezależnym producentem ogniw fotowoltaicznych. Wraz z rozwojem przemysłu solarnego kompleks zabudowań firmy powiększono w latach 2002-2003 (budynek II) i po raz drugi w 2005 (budynek III).

Nowa część zakładu zrealizowana w 2005 przylega od strony północnej do istniejących zabudowań. W jej skład wchodzi budynek produkcyjny, magazynowy i część biurowa. Dwupiętrowy magazyn usytuowano pomiędzy starym budynkiem a jednokondygnacyjną halą produkcyjną. Sześciopiętrowy budynek administracyjny z głównym wejściem na ścianie południowo-wschodniej jest najwyższy z całego kompleksu i wyraźnie odcina się od reszty. Pomiędzy połączonymi budynkami powstały otwarte atria.

Celem projektu było stworzenie nie tylko funkcjonalnej struktury, powiązanej i dobrze komponującej się z istniejącymi budynkami, ale także reprezentacyjnej architektury odzwierciedlającej działalność firmy. Ideę zrealizowano wznosząc wysoki prostopadłościan bloku biurowego (h=~22 m), na którym w zamian konwencjonalnej okładziny fasadowej zastosowano instalację BIPV.

Elewacje

Elewacje hali produkcyjnej i magazynu nawiązują charakterem do wcześniejszych zabudowań. Proste, wertykalne ściany tej samej wysokości pokryto drewnem w naturalnym, ciepłym kolorze. Wieża administracyjna wyrasta ponad strefę produkcyjną o ~14 m. Oprócz wyraźnej różnicy w wielkości, odcina się od reszty wyglądem elewacji ze zróżnicowanym podziałem i materiałami. Od strony południowo-wschodniej i południowo-zachodniej zaprojektowano duże przeszklenia i balkony nadające architekturze lekkości. Całość utrzymana jest w jednolitej, beżowo-szarej kolorystyce. Dodatkowym charakterystycznym elementem jednej ze ścian są zewnętrzne, spiralne schody (fot. 408).

Południowa fasada bloku biurowego pozbawiona została całkowicie otworów okiennych i wykorzystana w dużej części na instalację BIPV. Dwukolorowe ogniwa solarne układające się w literę „Q" tworzą logo firmy. Okładzina fotowoltaiczna przejmuje tu rolę konwencjonalnego materiału chroniąc od warunków atmosferycznych i dodatkowo generuje energię. Reprezentacyjna ściana (18,29 x 12,24 m) jest dobrze widoczna z daleka i z autostrady, funkcjonuje więc niczym drogowskaz, baner reklamowy. Fasadę wykonano w konstrukcji żelbetowej z izolacją z wełny mineralnej. Dookoła prostokątnego pola BIPV okładzinę ściany tworzą zawieszane płyty betonowe wentylowane od tyłu.

Instalacja BIPV

- Wentylowana okładzina fasadowa

System BIPV z charakterystycznym logo firmy w postaci litery „Q" zastępuje konwencjonalne pokrycie ściany. Dla uzyskania zamierzonego efektu wizualnego użyto ogniwa z krzemu polikrystalicznego w dwóch kolorach: niebieskim i szarym (własnej produkcji).

Ogniwa zalaminowane w folii EVA umieszczono w obudowie ochronnej pomiędzy 6 mm szkłem ESG i tylną folią Tedlar. Wszystkie moduły PV użyte na fasadzie mają wymiar ~1,5 x 1,5 m. Dla uzyskania wyraźnej litery „Q" niezbędny był podział kolorystyczny ogniw w obrębie jednego elementu. Niebieskie ogniwa mają zwykłą sprawność 15%, szare osiągają niższą wartość 11%. Połączenie fotoogniw o różnej wydajności jest możliwe, ale bardzo skomplikowane, dlatego w mieszanych kolorystycznie panelach specjalnie dobierano je, wybierając niebieskie ogniwa o gorszej sprawności. W rezultacie moduły wykonane wyłącznie z niebieskich ogniw mają moc 283 Wp, a pozostałe 215 Wp. Fasadę tworzy w sumie 68 modułów z ogniwami w kolorze niebieskim i 23 moduły z ogniwami mieszanymi (niebieskie i szare, fot. 412).

Dla podkreślenia kontrastu między kolorami, niebieskie ogniwa pokryto dodatkowo specjalną warstwą, dzięki której uzyskano bardziej jednorodną powierzchnię. Tylko wprawne oko dostrzeże, że są to ogniwa polikrystaliczne a nie materiał monokrystaliczny. Szare ogniwa mają natomiast widoczną, typową polikrystaliczną strukturę. Dodatkowo, dla ujednolicenia koloru ciemnoniebieskiej płaszczyzny w modułach zastosowano tylną folię (Tedlar) w kolorze antracytowym, elektrody pokryto czarną folią.

Dla instalacji solarnej fasady, firma Metallbau Weber zmodyfikowała konwencjonalny system słupowo-ryglowy. W żelbetowej ścianie zakotwiono konsole ze stalowych profili „C". Pełnią one rolę uchwytów dla pionowych słupów, miedzy którymi rozpięto horyzontalne rygle. Wypełnienie pól stanowią moduły PV. Aluminiowe profile słupowo-ryglowej konstrukcji od przodu pokryto gumowymi uszczelkami. Czarne listwy maskujące są maksymalnie cienkie, aby nie zacieniać ogniw (fot. 409, 412).

Górując ponad halą produkcyjną dobrze widoczna fasada BIPV nie jest narażona na zacienienie. Mimo to ani lokalizacja geograficzna nie jest idealna dla instalacji fotowoltaicznej, ani orientacja fasady (25° w kierunku SE) oraz nachylenie modułów (90°). Z tego powodu wykorzystywane jest jedynie 60-65% optymalnego nasłonecznienia i ilość generowanej energii nie jest wysoka. W wypadku tego projektu nie jest to jednak najbardziej istotne. Na dachu niższej hali produkcyjnej energię generuje dodatkowo niewidoczny z dołu dla obserwatora system, optymalnie zorientowany i nachylony względem Słońca (fot. 410). Fasada BIPV z logo firmy pełni rolę przede wszystkim reprezentacyjno-reklamową.



Fot. 407. Z przodu szklana elewacja BIPV, z tyłu okładzina BIPV z logo firmy.



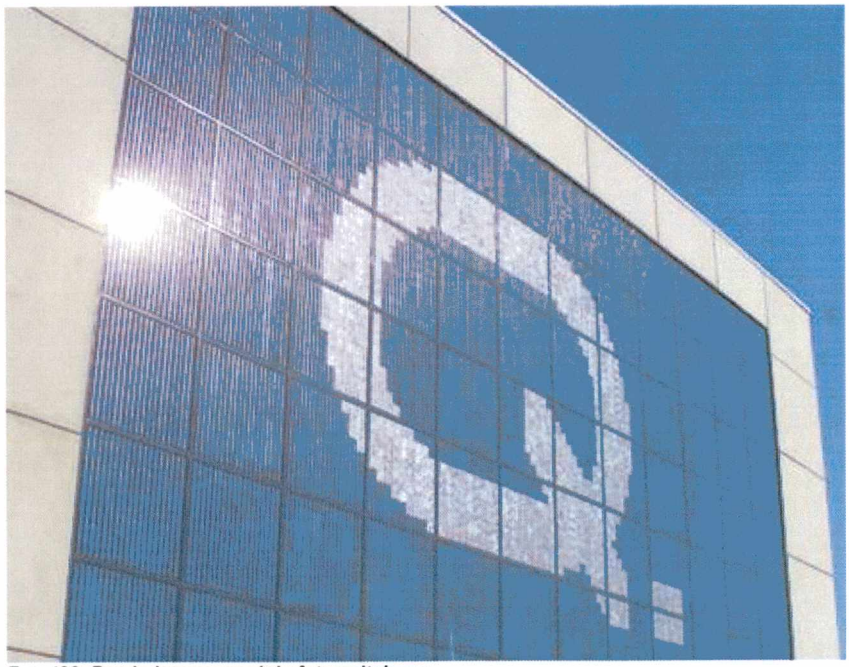
Fot. 410. Instalacja PV na płaskim dachu.



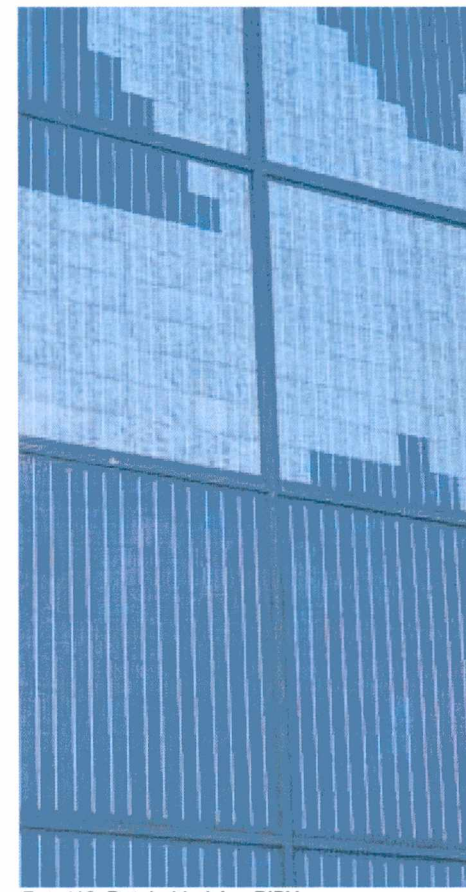
Fot. 408. Fasada zachodnia.



Fot. 411. Widok budynku.



Fot. 409. Dwukolorowe moduły fotowoltaiczne.



Fot. 412. Detal okładziny BIPV.

ZAKOŃCZENIE

1.
PODSUMOWANIE

"Każdy wiek musi stworzyć własną architekturę w swojej własnej technologii, która wyraża jej własny Zeitgeist - ducha czasu". (Eero Saarinen)

We współczesnej architekturze industrialnej coraz silniej zaznaczają się tendencje proekologiczne. Nowoczesne strategie projektowania są próbą znalezienia równowagi pomiędzy potrzebami rozwijającej się cywilizacji, postępem i możliwościami technologii a naturalnym środowiskiem. Wyzwanie dla architektów polega dziś na tworzeniu obiektów wysokiej jakości, ekonomicznych i funkcjonalnych, estetycznych oraz komfortowych bez destrukcji natury i destabilizacji procesów w niej zachodzących. Odpowiednie ukształtowanie zewnętrznych przegród, w tym elewacji, jest tu kluczowym zagadnieniem. Ich ewolucja prowadzi w kierunku kolejnej generacji zaawansowanej technologicznie, kompleksowej powłoki na podobieństwo skóry żywego organizmu zdolnej do fluktuacji i adaptacji do zmieniających się warunków.

Technologie epoki przemysłowej zużywały ogromne ilości nieodnawialnych zasobów, zanieczyszczały powietrze, wodę i ziemię, pozostawiały odpady. Na przełomie XX/XXI wieku nowoczesna architektura typu *eco-tech* opierając się na innowacyjnych technologiach OZE takich jak fotowoltaika, czerpie energię z natury bez negatywnych dla niej skutków. Systemy fotowoltaiczne wykorzystując darmowe, niewyczerpalne w skali ludzkiej promieniowanie słoneczne przekształcają je w energię elektryczną w sposób bezpośredni, cichy i bez zanieczyszczeń. Powiązane ze strukturą powłoki, w postaci materiałów BIPV, stanowią istotny element holistycznej koncepcji kształtowania nowoczesnego, przyjaznego dla środowiska i użytkownika budynku.

Nieustający postęp technologii zapewnia coraz szerszy wachlarz produktów i możliwości bezpośredniej integracji urządzeń fotowoltaicznych, otwierając nowe pole działania dla architektów, inżynierów i firm budowlanych. W rezultacie, wzrasta liczba realizacji fasad BIPV oraz ich różnorodność, co można zaobserwować także w sektorze industrialnym, choć najbardziej popularne są tam nadal instalacje dachowe.

Motywacji a także korzyści wynikających z zastosowania technologii BIPV w kształtowaniu zarówno typowych elewacji jak i bardziej złożonych powłok, jest wiele. Specyficzne cechy architektury przemysłowej, tj. charakter budynków, ich skala i lokalizacja, oferują korzystne warunki dla implementacji fotowoltaiki. W najbardziej powszechnych, prostopadłościennych halach z płaskim przekryciem, potencjał powierzchni odpowiedniej dla integracji systemu PV jest co prawda kilkakrotnie mniejszy dla ścian niż dla da-

chu, ale ze względu na dodatkowe korzyści wynikające z widoczności i wielofunkcyjności fasad z pewnością należy go uznać za istotny. Duże możliwości oferują silosy czy potężne bryły zakładów przemysłu ciężkiego z rozległymi płaszczyznami ścian rozciągniętymi w kierunku wertykalnym. Jak pokazują coraz liczniejsze światowe realizacje BIPV, w przemyśle różnego rodzaju struktury mogą być jednocześnie skuteczne i architektonicznie atrakcyjne.

Niezależnie od rozwiązań, fotowoltaika jest przede wszystkim technologią środowiskową. Jej wprowadzenie do architektury rozszerza ideę efektywności energetycznej budynków z minimalizacji zużycia energii do wykorzystania aktywnych systemów, dzięki którym obiekty przechodzą z pozycji obciążającego środowisko konsumenta do roli producenta energii. W obliczu rosnących wymagań co do wydajności i wielofunkcyjności zewnętrznych przegród, bezpośrednia integracja modułów PV jest szczególnie korzystna. Generując zieloną elektryczność elewacje BIPV regulują jednocześnie przepływ energii między różnymi środowiskami, redukują negatywne oddziaływanie na otoczenie, optymalizują komfort[681]. Nowoczesna skóra budynku staje się złożonym, aktywnym i adaptacyjnym systemem.

Fotowoltaika jest jedyną wśród technologii OZE, której urządzenia można wyprodukować w postaci elementów trwale zintegrowanych z konwencjonalnym materiałem budowlanym. Rezultatem są innowacyjne, wielofunkcyjne produkty BIPV łączące tradycyjne techniki konstrukcyjne ze światem zaawansowanych technologii i ochrony środowiska. Z roku na rok powstają nowe, bardziej efektywne, zróżnicowane pod kątem technicznym i wizualnym materiały. Standaryzowane, modularne elementy zapewniają łatwy montaż i nieograniczoną wręcz ilość kombinacji w kwestii parametrów, wielkości, efektów plastycznych. Wytwarzane masowo lub na specjalne zamówienie są dziś dostępne na rynku komercyjnym tak samo jak tradycyjne komponenty. Ich wysokie ceny stopniowo maleją, nadal jednak stanowią barierę dla wielu potencjalnych inwestorów. W fasadach budynków przemysłowych użyto już rozmaitych produktów BIPV – fotowoltaicznych okładzin, zintegrowanego z fotoogniwami szkła, tworzyw sztucznych, blach a nawet płyt warstwowych. Materiały metaliczne, jeszcze mało powszechne, są z pewnością szczególnie interesujące.

Liczne firmy produkujące materiały solarne oferują doradztwo i pomoc[682], dotychczasowa praktyka pokazuje jednak brak odpowiedniej wiedzy i doświadczenia wśród inwestorów, projektantów oraz wykonawców. Skutkiem są błędy projektowe i wykonawcze, zwiększenie ostatecznych kosztów inwestycji. Nie wszystkie produkty czy rozwiązania techniczne okazują się zadowalające i skuteczne, a specjaliści z poszczególnych branż nie zawsze

[681] Jednocześnie powstają relacje między generatorem/źródłem energii a użytkownikiem, co może mieć pozytywny wpływ na wzrost świadomości proekologicznej i przełożyć się na końcowy bilans energetyczny.
[682] Od momentu planowania, projektowania i realizacji, aż po użytkowanie a nawet rozbiórkę budynku.

zdają sobie sprawę ze swoich potrzeb czy możliwości i ograniczeń technologii. Integracja fotowoltaiki to proces złożony i skomplikowany, wymagający w każdym wypadku indywidualnego podejścia, ścisłej współpracy i umiejętnego rozwiązania rozmaitych problemów budowlano-konstrukcyjnych, techniczno-energetycznych, estetycznych, ekonomicznych, itd.

Powiązana z powłoką budynku fotowoltaika wpływa na sposób jej ukształtowania i odbiór wizualny. W przypadku BIPV związki technologii z architekturą są szczególne, jako że zintegrowane systemy solarne dla efektywnego funkcjonowania wymagają spełnienia konkretnych warunków. Wpływają tym samym na wiele aspektów zewnętrznej przegrody – jej orientację, masę, strukturę, funkcję, modularność, wygląd, dobór komponentów. Efektem są np. wydłużone, wyeksponowane w kierunku południowym ściany, nachylone struktury, ruchome elementy osłon przeciwsłonecznych, itp.

Dla architektów estetyka nowej technologii jest szczególnie ważna, często nawet bardziej niż kwestie funkcjonalne i techniczne. Tak jak w przypadku każdej innowacji, znalezienie dla niej odpowiedniej ekspresji, wyrazu, stylistyki z pewnością nie nastąpi od razu. Zmiana jest procesem stopniowym, ewoluującym, dlatego w większości dotychczasowych realizacji powtarzają się znane formy i rozwiązania. Coraz większa różnorodność produktów BIPV oraz malejące ograniczenia techniczne stymulują projektantów do dalszej kreatywności, niektórzy z nich próbują więc wyróżnić się czymś szczególnym. Z pewnością widoczne jest, iż moduły PV przestają być czysto technicznym elementem, „niezgrabnym" dodatkiem do budynku. Poprawnym środowiskowo, efektywnym energetycznie, ale nieestetycznym i nieinteresującym architektonicznie. Zamiast ukrywać fotowoltaikę na dachach, znani projektanci coraz częściej integrują ją z fasadami budynków, podkreślając jako ważny element swoich projektów. Ekonomiczne, funkcjonalne i wizualnie monotonne przemysłowe „pudełka" rozwijają się dzięki temu w kierunku nowoczesnych, wielofunkcyjnych i coraz bardziej efektownych struktur.

Integracja z elewacjami jest atrakcyjna dla architektów, użytkowników budynków i przypadkowych obserwatorów. Dobrze widoczne instalacje wzbudzają zainteresowanie, a pozytywne przykłady wzmacniają akceptację i inspirują innych. Estetyka jest więc z pewnością bardzo ważna dla dalszego rozwoju i upowszechnienia technologii BIPV[683]. Według niektórych specjalistów powinna być jej najlepszym adwokatem[684].

Obserwowany w ostatnich latach wzrost liczby i powierzchni instalacji fasadowych nadaje impuls dla rozwoju architektury przemysłowej. Świadczy również o tym, iż inwestorzy podążający za aktualną modą na szeroko pojmowaną ekologię zauważyli pozytywny efekt związany z zastosowaniem no-

[683] Analityk Akhil Sivanadan z Buliding Technologies Group za największe wyzwania dla rynku BIPV uznał estetykę oraz finansowanie i prawo własności systemów. http://www.frost.com/.
[684] Patrz rozdz. IV/4.4.

watorskiej technologii na swoich budynkach. W epoce silnej konkurencji, gdy opinia publiczna jest kluczowa dla utrzymania pozycji marki, architektura wykorzystywana jest coraz częściej jako narzędzie marketingowe. Elewacje BIPV stanowią informację dla publiczności – tworzą obraz przedsiębiorstwa postępowego, zaangażowanego w ochronę środowiska. Choć więc tego typu instalacje fotowoltaiczne są droższe od zwykłych systemów nakładanych na płaskie dachy hal przemysłowych, praktyka pokazuje, że wielu inwestorów jest już gotowych dodatkowo zapłacić, aby zapewnić sobie intrygujący „image" i symbol środowiskowej odpowiedzialności.

Jednocześnie z roku na rok na świecie powstaje coraz więcej fabryk materiałów fotowoltaicznych, w licznych laboratoriach i centrach technologicznych opracowuje się nieustannie nowe rozwiązania. Ściany budynków stanowią doskonałe miejsce dla praktycznych testów i ekspozycji najnowszych osiągnięć technicznych czy materiałowych. Wykorzystywane w celach eksperymentalnych i reklamowych fasady BIPV pełnią także rolę edukacyjną. Dobrze widoczne i dostępne pozwalają rozszerzać wiedzę na temat nowoczesnej technologii, zwiększają zainteresowanie i społeczną akceptację. Jak pokazują przykłady, dla niektórych inwestorów demonstracyjno-edukacyjny charakter fasad BIPV jest bardziej istotny niż ich efektywność energetyczna.

Stosunkowo nowa i wciąż mało znana technologia BIPV przy wzroście ponad 40 % w skali roku[685] jest obecnie najbardziej i najszybciej rozwijającym się segmentem rynku fotowoltaiki. Według wszelkich przewidywań w następnych latach tendencja ta będzie postępować. Specjaliści podkreślają duży potencjał BIPV, co znajduje odzwierciedlenie w rozmaitych raportach. W wielu krajach Europy odnotowano w ostatnich latach znaczący wzrost zainteresowania i realizacji, co wynika m.in. z wprowadzania legislacji faworyzujących integrację z budynkiem[686]. Aktualnym liderem na rynku BIPV są Niemcy, wyróżniający się największą liczbą ekspertów (instalatorów, projektantów, producentów) oraz najwyższym poziomem wiedzy na temat technologii wśród społeczeństwa. W najbliższych latach szczególnego rozwoju należy się spodziewać m.in. w Hiszpanii i Francji.

Biorąc pod uwagę fakt, iż fotowoltaika jest wśród technologii OZE najbardziej optymalną opcją dla środowiska zabudowanego, a potencjał niewykorzystanych powierzchni ścian budynków przemysłowych znaczący, elewacje/powłoki BIPV mają dużą szansę stać się zdecydowanie bardziej powszechnym elementem architektonicznym sektora industrialnego. Zakładając, iż spadek cen materiałów solarnych będzie nadal postępował *„to, co dziś wydaje się luksusowe, stanie się normą w bliskiej przyszłości*[687]".

---

[685] Wg badań przeprowadzonych przez Frost & Sullivan w 2007 europejski rynek BIPV wzrósł o 43,8 %. http://www.pv-tech.org/news/_a/bipv_in_europe_growing_at_438_percent_says_frost_sullivan/.

[686] We Francji korzystne dla BIPV taryfy przyczyniły się do tak gwałtownego wzrostu w ostatnim roku, iż rynek nie jest w stanie nadążyć za zapotrzebowaniem, m.in. ze względu na brak ekspertów.

[687] Walter Gropius.

2.
WNIOSKI

„Przekształcić coś użytecznego, praktycznego, funkcjonalnego w coś pięknego – oto powinność architektury" (Karl Friedrich Schinkel)

- W architekturze industrialnej przełomu XX/XXI wieku widoczny jest wzrost ilości instalacji fotowoltaicznych zintegrowanych z fasadami.
- Rozwój technologii BIPV zmienia cel zastosowania fotowoltaiki w budynkach, rozszerzając główne zadanie jakim jest generowanie zielonej elektryczności o dodatkowe funkcje: ekologiczne, estetyczne, budowlano-konstrukcyjne, ekonomiczne, marketingowe, społeczne.
- Charakterystyczne cechy architektury przemysłowej, tj. lokalizacja budynków, ich skala, modularność, elastyczność funkcjonalna i techniczna zewnętrznych przegród, predysponują ją do efektywnej integracji z systemami fotowoltaicznymi.
- Postęp technologii, konkurencyjność rynku i rozwój tendencji proekologicznych wpływają na zmianę wizerunku obiektów industrialnych, przyczyniając się do transformacji ich elewacji w bardziej kompleksowe, wielofunkcyjne, wysokiej jakości struktury.
- Metody wykorzystania fotowoltaiki w architekturze ewoluują w kierunku coraz większej integracji modułów PV z powłoką budynku, co powoduje wzajemne oddziaływania pomiędzy solarną technologią a formą, funkcją i konstrukcją zewnętrznych przegród.
- Moduły fotowoltaiczne mogą efektywnie zastąpić rozmaite materiały elewacyjne. Nowej generacji produkty BIPV będące kombinacją tradycyjnego komponentu i laminatu PV to nowatorskie, wielofunkcyjne materiały gotowe do praktycznych zastosowań budowlanych.
- Rozwój przemysłu BIPV powinien podążać w kierunku dalszej standaryzacji i prefabrykacji materiałów, optymalizacji ich parametrów technicznych, jakości oraz trwałości.
- Produkty BIPV mają duże szanse zająć jedną z kluczowych pozycji na rynku eko-materiałów.
- Dla większej akceptacji fotowoltaiki przez inwestorów i przemysł budowlany niezbędna jest dalsza optymalizacja wizualnego aspektu produktów BIPV, zwiększenie ich różnorodności oraz obniżenie ceny.
- Aktualną tendencją jest eksponowanie instalacji fotowoltaicznych przy jednoczesnych próbach dostosowania nowoczesnych materiałów do konwencjonalnych rozwiązań architektoniczno-budowlanych. Dalszy rozwój technologii PV/BIPV doprowadzi być może do wytworzenia nowych form i specyficznej estetyki.

- W przypadku obiektu przemysłowego demonstracyjny charakter elewacji fotowoltaicznej (symbolika, wizerunek, reklama) może mieć większe znaczenie niż efektywność energetyczna instalacji.
- Rosnąca liczba realizacji na świecie, działania zmierzające do wprowadzenia ujednoliconej legislacji oraz programy wsparcia dla technologii BIPV świadczą o jej skuteczności, potrzebie zastosowania i znaczącym potencjale rozwojowym.
- Instalacje fotowoltaiczne, w szczególności w postaci BIPV, są już na tyle skuteczne, sprawdzone i technologicznie rozwinięte, aby ich zastosowanie w elewacjach budynków przemysłowych istotnie przyczyniało się do spełnienia postulatów architektury proekologicznej.

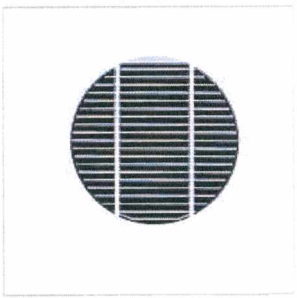
TABLICE INFORMACYJNE

A.
OGNIWA FOTOWOLTAICZNE

A/1. KSZTAŁTY I WYMIARY

1. STANDARDOWE OGNIWA MONOKRYSTALICZNE (m-Si)

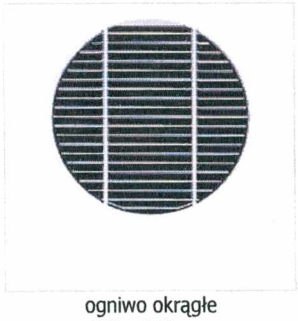
SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):



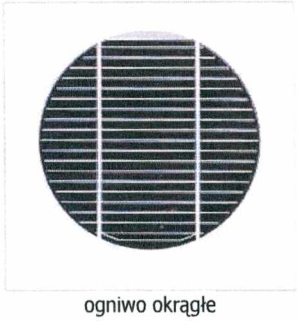
ogniwo okrągłe
100 x 100 mm



ogniwo okrągłe
125 x 125 mm



ogniwo okrągłe
135 x 135 mm



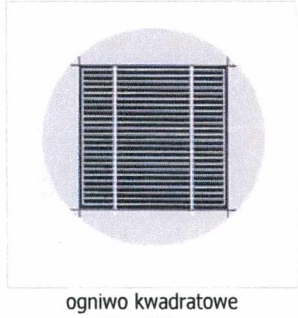
ogniwo okrągłe
150 x 150 mm



ogniwo pseudokwadratowe
100 x 100 mm



ogniwo pseudokwadratowe
125 x 125 mm



ogniwo kwadratowe
100 x 100 mm



½ okrągłego ogniwa
50 x 100 mm – 75 x 150 mm



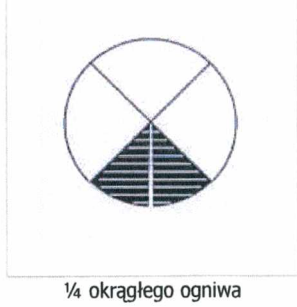
½ pseudokwadratowego ogniwa
50 x 100 mm



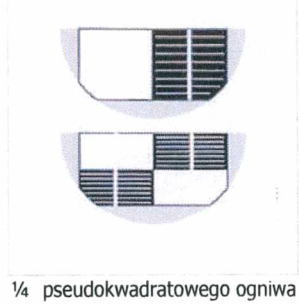
½ pseudokwadratowego ogniwa
62,5 x 126 mm



½ kwadratowego ogniwa
50 x 100 mm

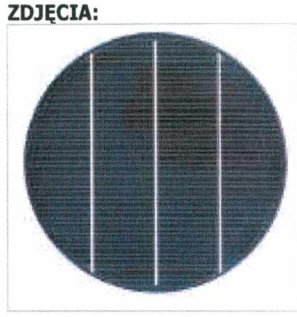


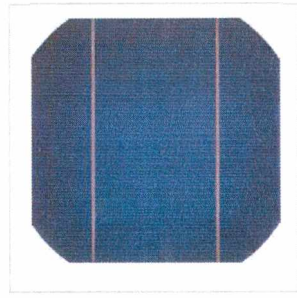
¼ okrągłego ogniwa

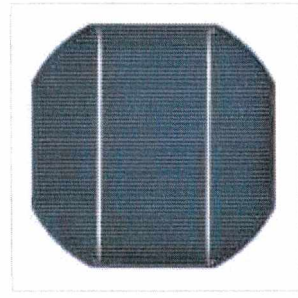


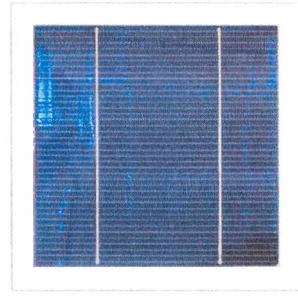
¼ pseudokwadratowego ogniwa
1/8 pseudokwadratowego ogniwa

ZDJĘCIA:



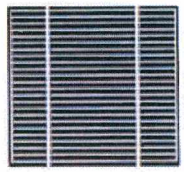




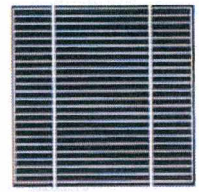


A/1. KSZTAŁTY I WYMIARY
2. STANDARDOWE OGNIWA POLIKRYSTALICZNE (p-Si)

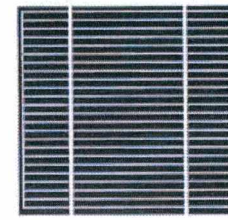
SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):



ogniwo kwadratowe
100 x 100 mm



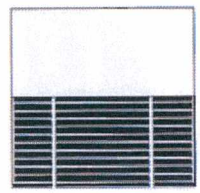
ogniwo kwadratowe
125 x 125 mm



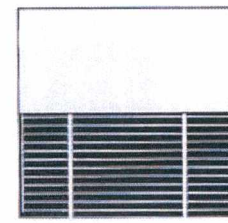
ogniwo kwadratowe
150 x 150 mm



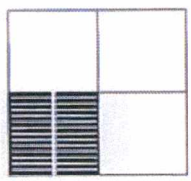
½ ogniwa
50 x 100 mm



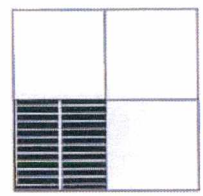
½ ogniwa
62,5 x 125 mm



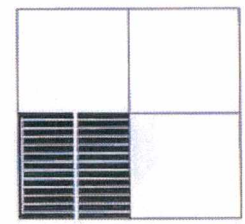
½ ogniwa
75 x 150 mm



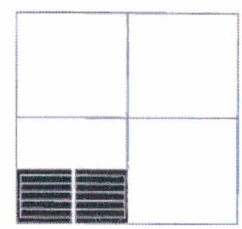
¼ ogniwa
50 x 50 mm



¼ ogniwa
62,5 x 62,5 mm

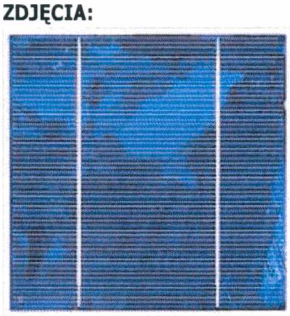


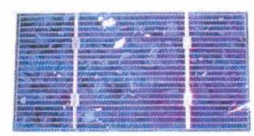
¼ ogniwa
75 x 75 mm

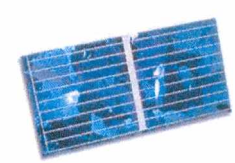


1/8 ogniwa
37,5 x 75 mm

ZDJĘCIA:

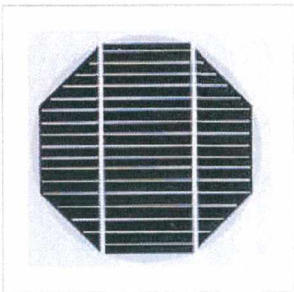


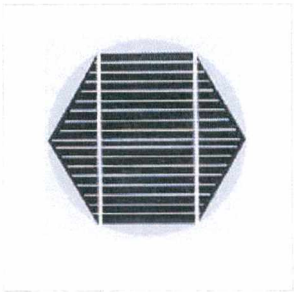


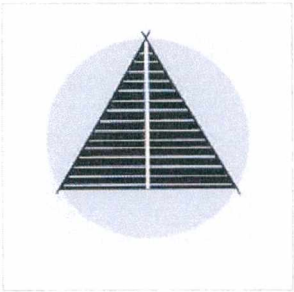


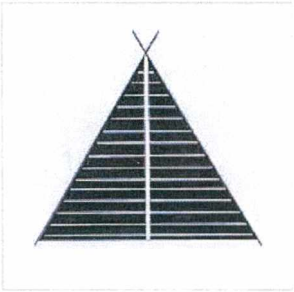
A/1. KSZTAŁTY I WYMIARY
3. NIESTANDARDOWE OGNIWA KRYSTALICZNE (m-Si, p-Si)

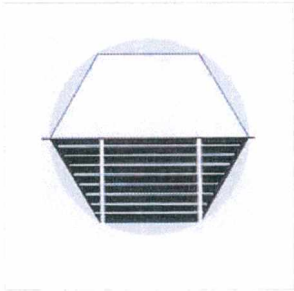
SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):

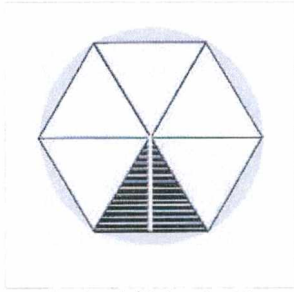

Ogniwo ośmiokątne (m-Si)


Ogniwo sześciokątne (m-Si)

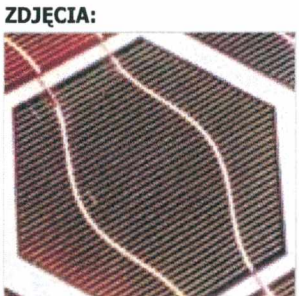

Ogniwo trójkątne (m-Si)

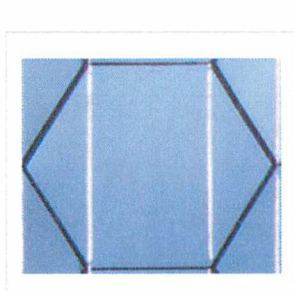

Ogniwo trójkątne (p-Si)


Ogniwo trapezowe (m-Si)


Ogniwo trójkątne (m-Si)

ZDJĘCIA:


Projekt BIMODE

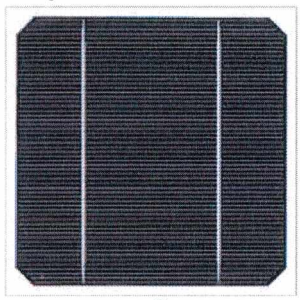

Projekt BIMODE / BP Solar


Projekt BIMODE

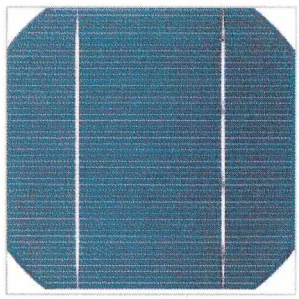
A/2. KOLORY

1. MATERIAŁY KRYSTALICZNE (m-Si, p-Si)

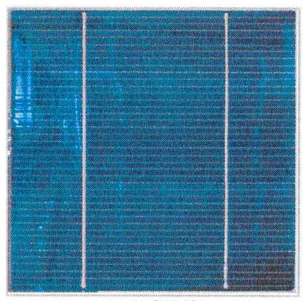
ZDJĘCIA:



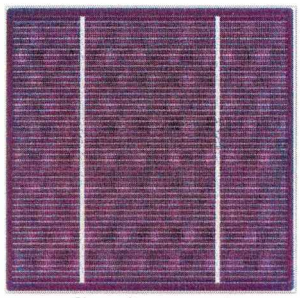
m-Si
prod. Sunways



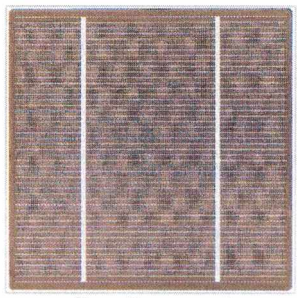
m-Si
prod. Solarnova



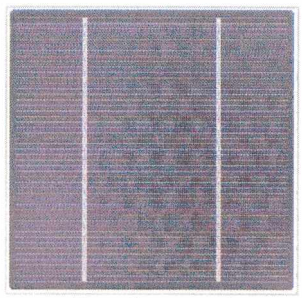
m-Si (EFG)
prod. RWE Schott Solar



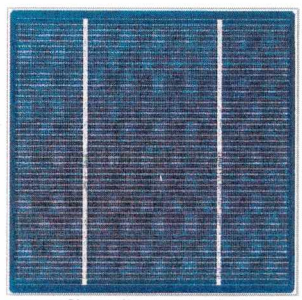
m-Si semitransparentne
prod. Sunways



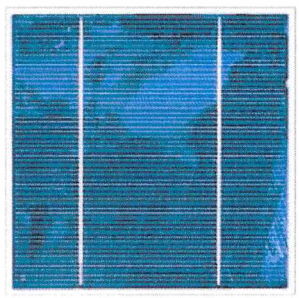
m-Si semitransparentne
prod. Sunways



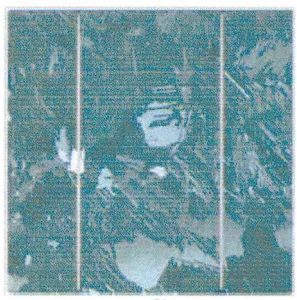
m-Si semitransparentne
prod. Sunways



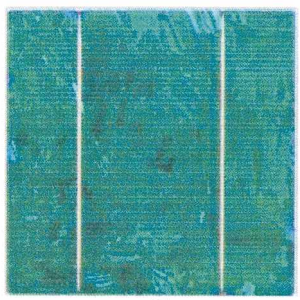
m-Si semitransparentne
prod. Sunways



p-Si
prod. Sunways



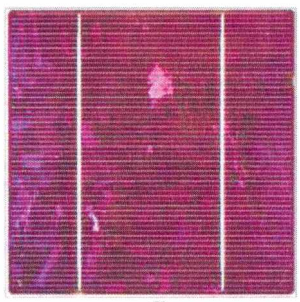
p-Si
prod. Sunways



p-Si
prod. Sunways



p-Si
prod. Sunways



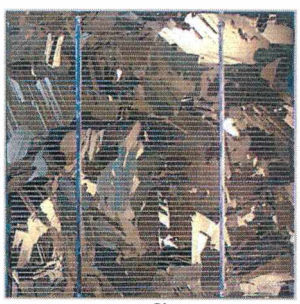
p-Si
prod. Sunways



p-Si
prod. Sunways



p-Si
prod. Sunways



p-Si
prod. ColorPower ErSol



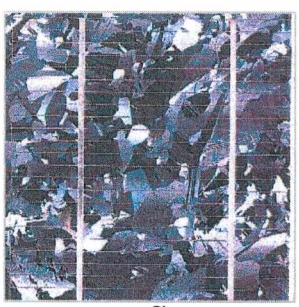
p-Si
prod. Solarnova



p-Si
prod. Solarnova



p-Si
prod. Solarnova

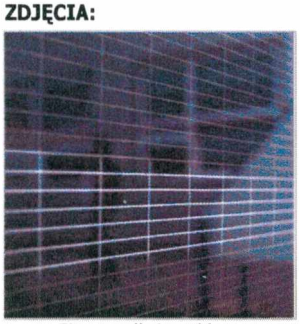


p-Si
prod. Solarnova

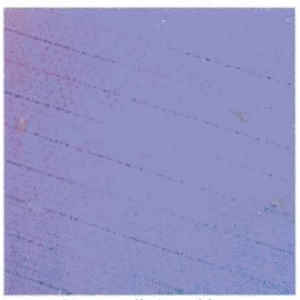
A/2. KOLORY

2. MATERIAŁY CIENKOWARSTWOWE (a-Si, CIS, CdTe)

ZDJĘCIA:



a-Si na podłożu szklanym



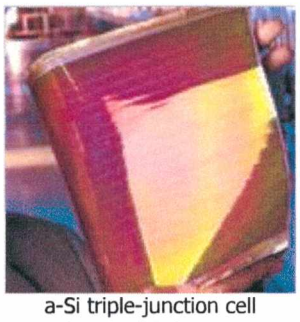
a-Si na podłożu szklanym



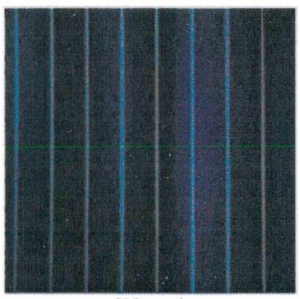
a-Si na podłożu metalowym
prod. ThyssenKrupp



a-Si na podłożu plastikowym
prod. Flexcell



a-Si triple-junction cell
prod. United Solar Ovonic



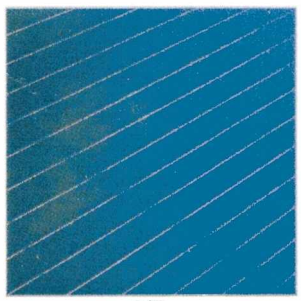
CIS opak
prod. Würth Solar



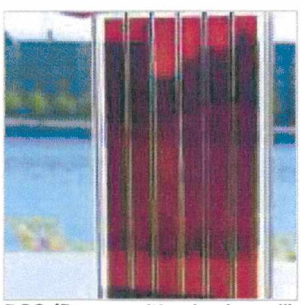
CIS semitransparentne
prod. Würth Solar



CdTe
prod. First Solar



CdTe
prod. Antec Solar

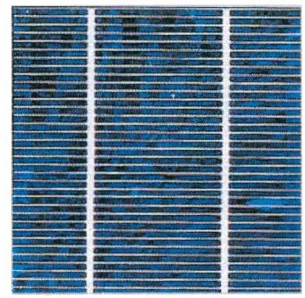


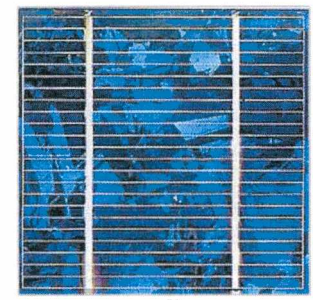
DSC (Dye-sensitized solar cell)
prod. Greatcell Solar

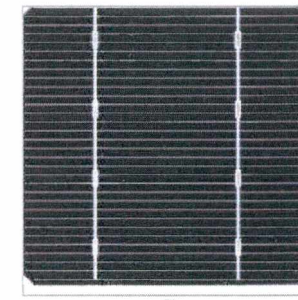
A/3. KONTAKTY ELEKTRYCZNE
1. OGNIWA KOMERCYJNE (c-Si, a-Si, CIS, CdTe)

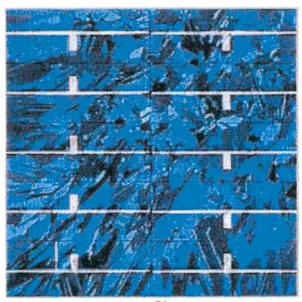
ZDJĘCIA:

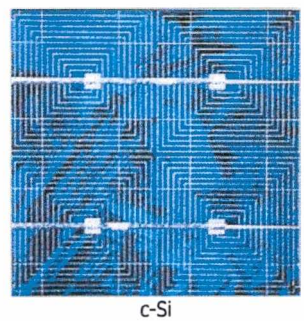

Bez przedniego złącza

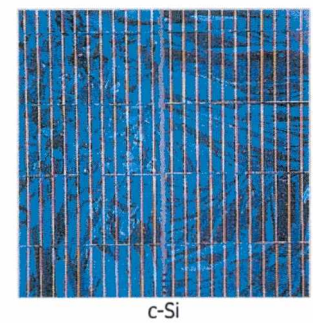

c-Si

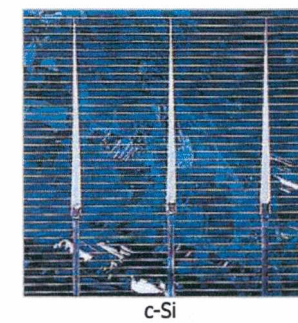

c-Si

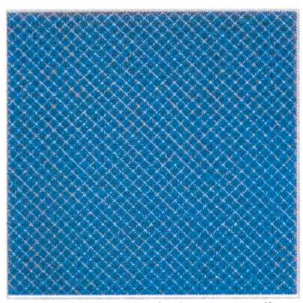

c-Si

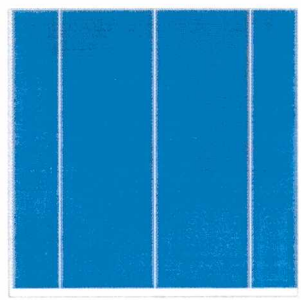

c-Si

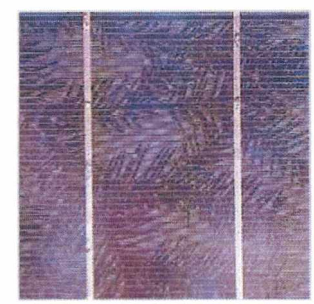

c-Si
prod. Photowatt

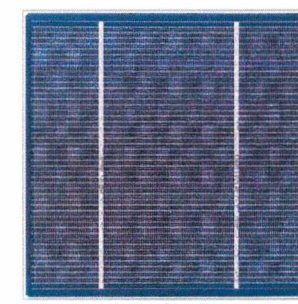

c-Si

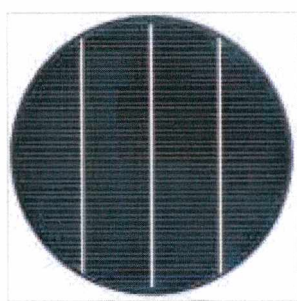

c-Si


MAXI BC+ Back Contact cell
prod. Photovoltech

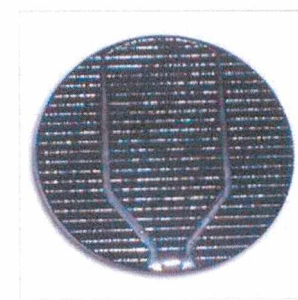

c-Si
Q6LTT3 prod. Q-Cells

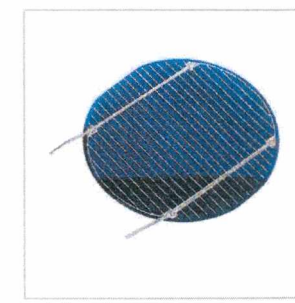

c-Si
semitransparentne

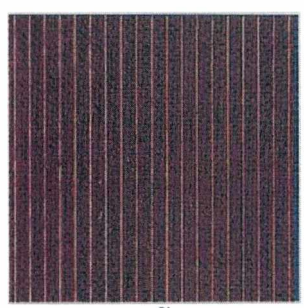

c-Si
semitransparentne

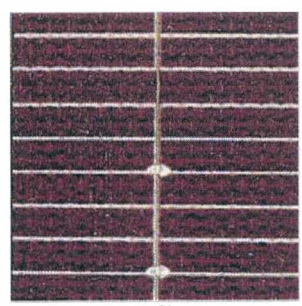

c-Si
prod. Siemens

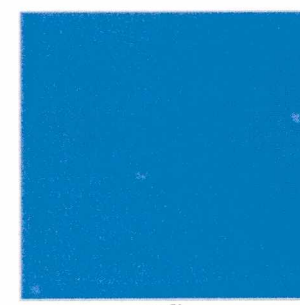






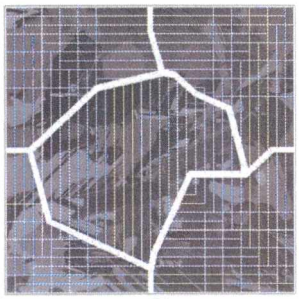

a-Si

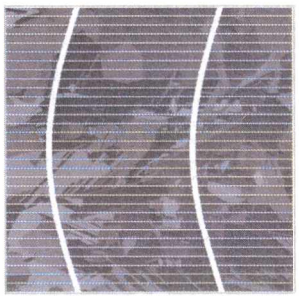

a-Si

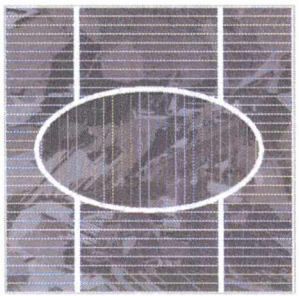

a-Si

A/3 KONTAKTY ELEKTRYCZNE
2. PROTOTYPY

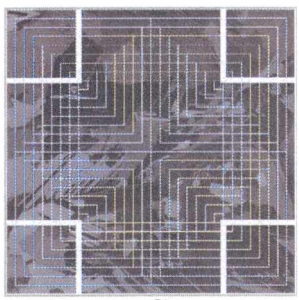
SCHEMATY:

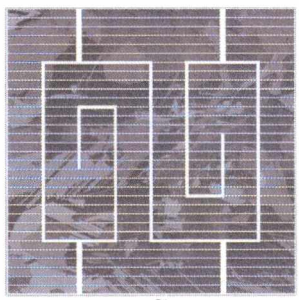

p-Si
Crack (Atominstitut)

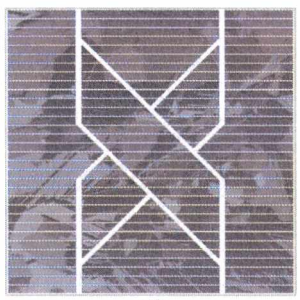

p-Si
Sinus (Atominstitut)

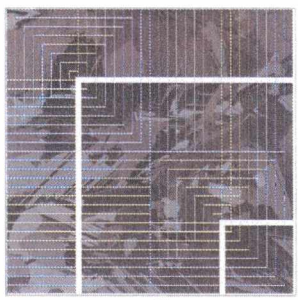

p-Si
Ellipse (Atominstitut)

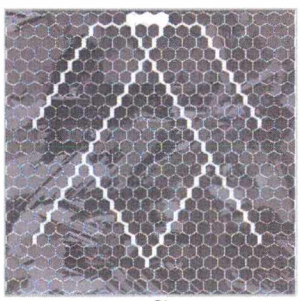

p-Si
(Atominstitut)

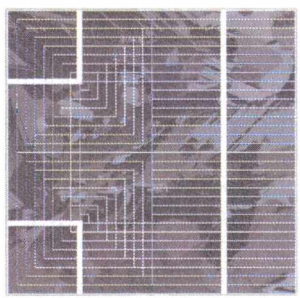

p-Si
Cross (Atominstitut)


p-Si
Delhi (Atominstitut)


p-Si
Braid (Atominstitut)

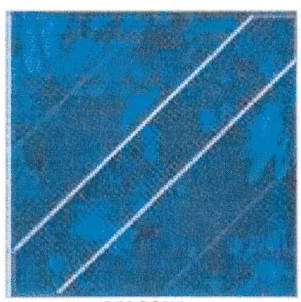

p-Si
L (Atominstitut)

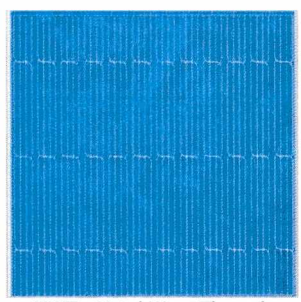

p-Si
Hexagon (Atominstitut)

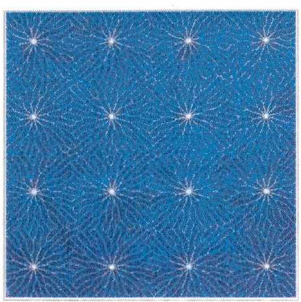

p-Si
T (Atominstitut)

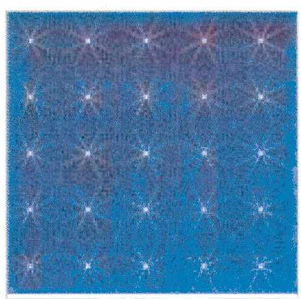
ZDJĘCIA:


p-Si
prod. Atominstitut


DIAGONAL,
prod. PowerQuant


MWT - Metal Wrap Through
prod. PV-TEC


Back Contact PUM solar cell
prod. ECN

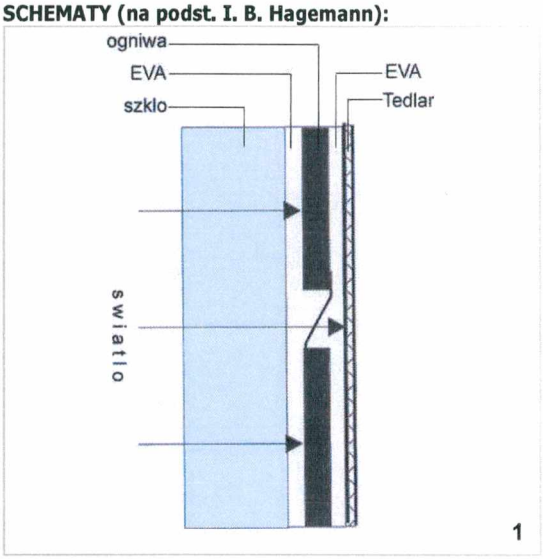

Back Contact
prod. Q-Cells

B.
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

B/1. BUDOWA

1. OGNIWA Z KRZEMU KRYSTALICZNEGO (m-Si, p-Si)

SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):

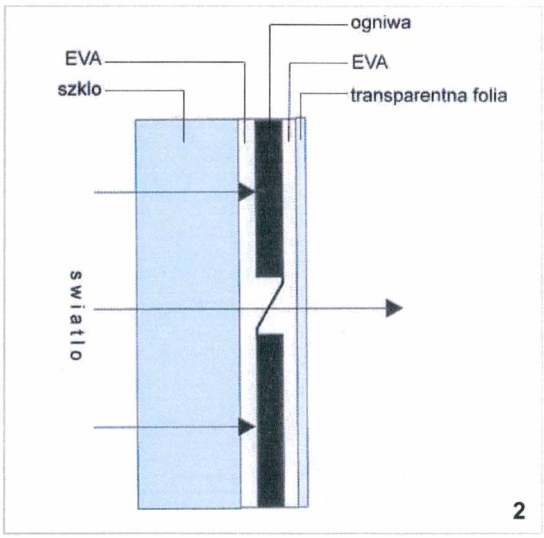


Typ: laminat szkło-folia

Warstwy (od strony zewnętrznej):
- szkło białe ESG (TVG),
- transparentna folia laminująca EVA,
- ogniwa z krzemu krystalicznego m-Si lub p-Si,
- transparentna folia laminująca EVA,
- nieprzeźroczysta folia z tworzywa sztucznego (Tedlar).

Wymiary:
- grubość 3-5 mm,
- ciężar ~10-12 kg/m^2.

Właściwości:
- moduł nieprzepuszczający światła na wskroś,
- niewielki ciężar,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG,
- możliwość zastosowania kolorowej warstwy folii z tyłu ogniw,
- moduły produkowane najczęściej jako elementy standardowe.

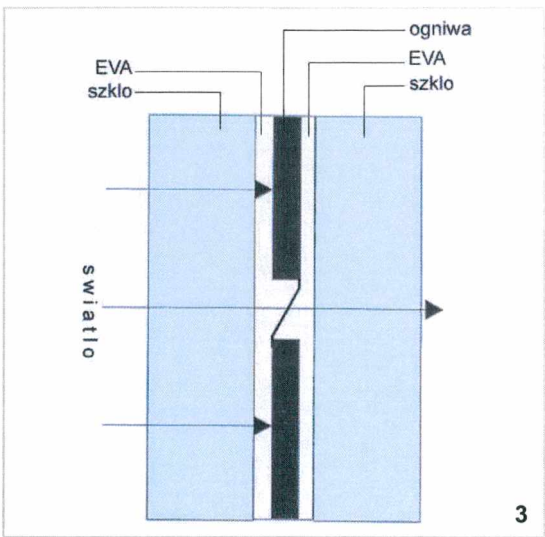


Typ: laminat szkło-folia

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło białe ESG (TVG),
- transparentna folia laminująca EVA,
- ogniwa z krzemu krystalicznego m-Si lub p-Si,
- transparentna folia laminująca EVA,
- transparentna folia z tworzywa sztucznego (Tedlar).

Wymiary:
- grubość 3-5 mm,
- ciężar ~10-12 kg/m^2.

Właściwości:
- moduł częściowo transparentny,
- niewielki ciężar,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG,
- możliwość zastosowania kolorowej warstwy folii z tyłu ogniw,
- moduły produkowane najczęściej jako elementy standardowe.



Typ: laminat szkło-szkło

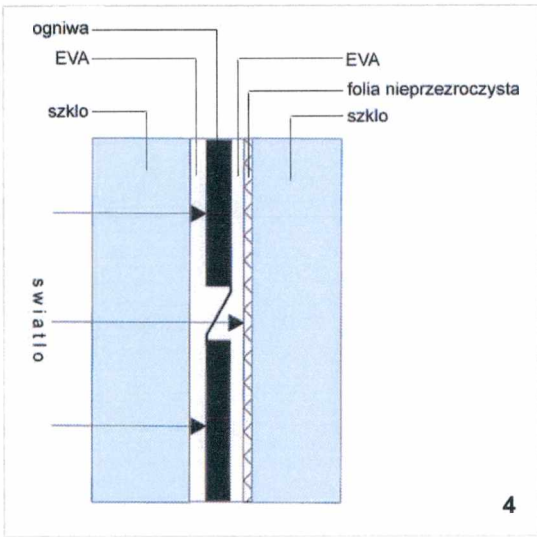
Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło białe ESG
- transparentna folia laminująca EVA,
- ogniwa z krzemu krystalicznego m-Si lub p-Si,
- transparentna folia laminująca EVA,
- szkło białe ESG.

Wymiary:
- grubość ~10,5 mm,
- ciężar ~21 kg/m^2.

Właściwości:
- moduł częściowo transparentny,
- cięższy od laminatu szkło-folia,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG,
- brak giętkości.

B/1. BUDOWA

1. OGNIWA Z KRZEMU KRYSTALICZNEGO (m-Si, p-Si)



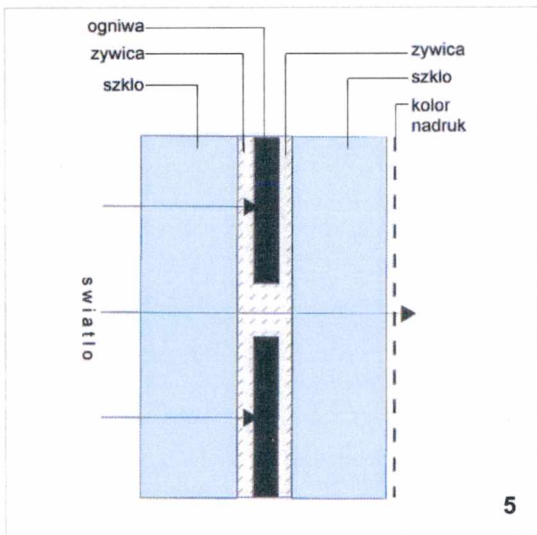
4

Typ: laminat szkło-szkło

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło białe (ESG),
- transparentna folia laminująca EVA,
- ogniwa z krzemu krystalicznego m-Si, p-Si,
- transparentna folia laminująca EVA,
- nieprzeźroczysta folia z tworzywa sztucznego,
- szkło (ESG).

Wymiary:
- grubość ~10,5 mm,
- ciężar ~21 kg/m^2.

Właściwości:
- moduł nieprzepuszczający światła na wskroś,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG,
- możliwość zastosowania kolorowej warstwy folii z tyłu ogniw,
- cięższy od laminatu szkło-folia,
- brak giętkości.



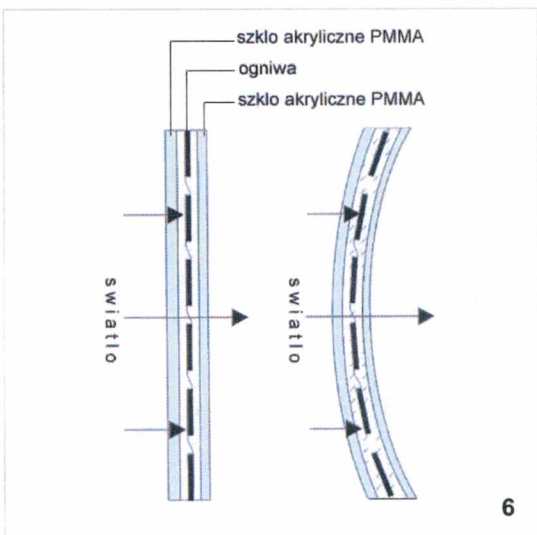
5

Typ: moduł szkło-szkło

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło białe (ESG),
- ogniwa z krzemu krystalicznego m-Si lub p-Si osadzone w transparentnej żywicy,
- szkło (ESG),

Wymiary:
- grubość 8,5-30 mm,
- ciężar 18-23 kg/m^2.

Właściwości:
- moduł częściowo transparentny,
- cięższy od laminatu szkło-folia,
- możliwość zastosowania koloru lub nadruku na wewnętrznej warstwie szklenia,
- brak giętkości.



6

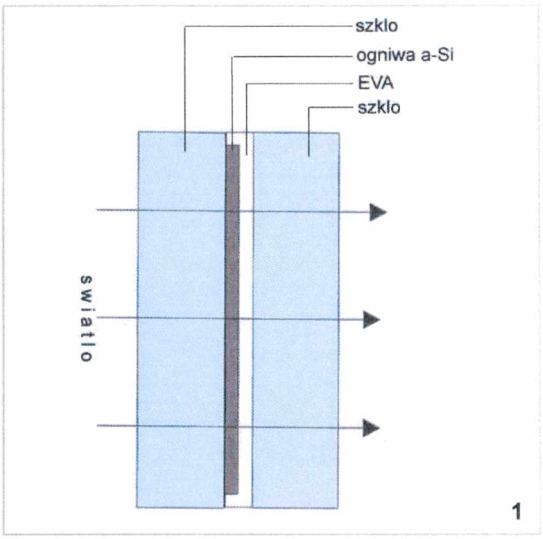
Typ: moduł szkło-szkło (PMMA)

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bezbarwne szkło akryliczne (PMMA),
- ogniwa m-Si lub p-Si osadzone w trwałym i giętkim silikonie,
- szkło akryliczne bezbarwne lub kolorowe.

Wymiary:
- grubość 8-10 mm,
- ciężar 9-11 kg/m^2.

Właściwości:
- moduł częściowo transparentny,
- giętkość.

B/1. BUDOWA
2. OGNIWA CIENKOWARSTWOWE Z KRZEMU AMORFICZNEGO (a-Si)

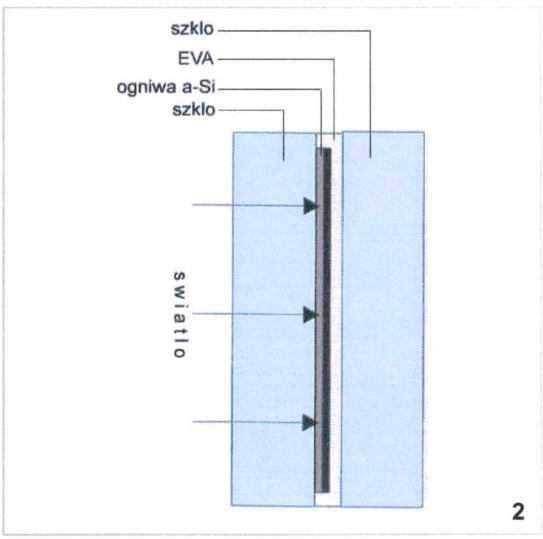


Typ: ogniwa a-Si na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- białe szkło ESG (podłoże dla ogniw),
- ogniwa a-Si z transparentnymi elektrodami,
- transparentna folia laminująca EVA,
- szkło (ESG)

Wymiary:

Właściwości:
- moduł transparentny,
- brak giętkości,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG.

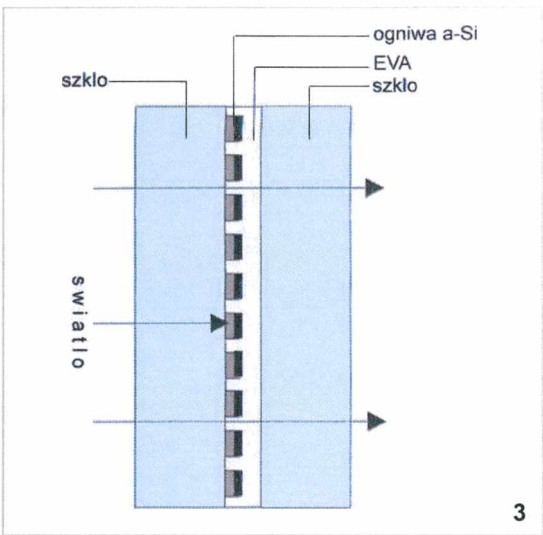


Typ: ogniwa a-Si na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- białe szkło ESG (podłoże dla ogniw),
- ogniwa a-Si z transparentnymi elektrodami przednimi i nieprzeźroczystymi, metalowymi elektrodami tylnymi,
- transparentna folia laminująca EVA,
- szkło (ESG)

Wymiary:

Właściwości:
- moduł nieprzeźroczysty,
- brak giętkości,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG.



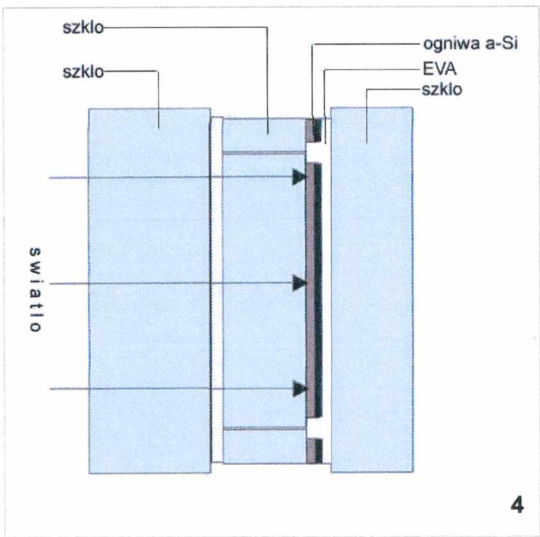
Typ: ogniwa a-Si na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- białe szkło ESG (podłoże dla ogniw),
- ogniwa a-Si z transparentnymi elektrodami przednimi i perforowanymi, metalowymi elektrodami tylnymi,
- transparentna folia laminująca EVA,
- szkło (ESG)

Wymiary:

Właściwości:
- moduł częściowo transparentny (poziom transmisji ~10%),
- brak giętkości,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG.

B/1. BUDOWA
2. OGNIWA CIENKOWARSTWOWE Z KRZEMU AMORFICZNEGO (a-Si)

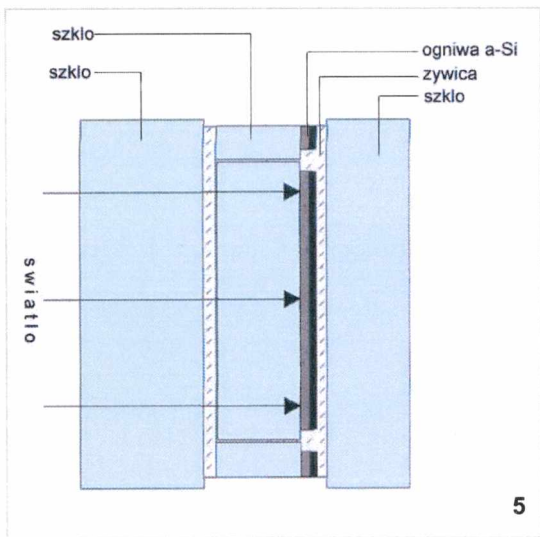


Typ: ogniwa a-Si na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło,
- folia laminująca EVA,
- ogniwa a-Si na podłożu szklanym,
- folia laminująca EVA,
- szkło.

Wymiary:

Właściwości:
- moduł nieprzeźroczysty,
- brak giętkości,
- odporność na rozbicie podobna do szkła klejonego VSG.

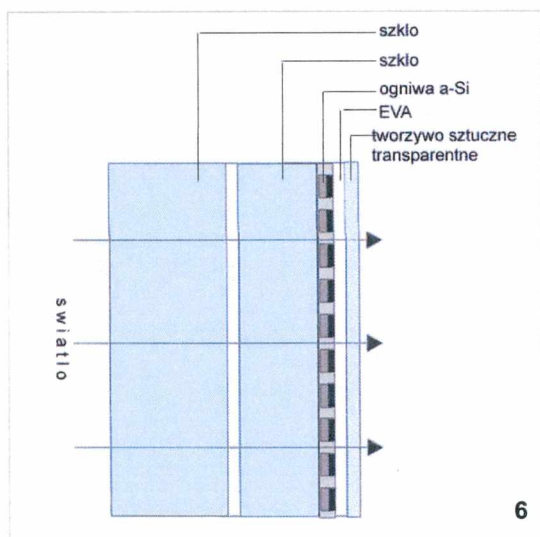


Typ: ogniwa a-Si na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło,
- ogniwa a-Si na podłożu szklanym, osadzone w transparentnej żywicy,
- szkło.

Wymiary:

Właściwości:
- moduł nieprzeźroczysty,
- brak giętkości.



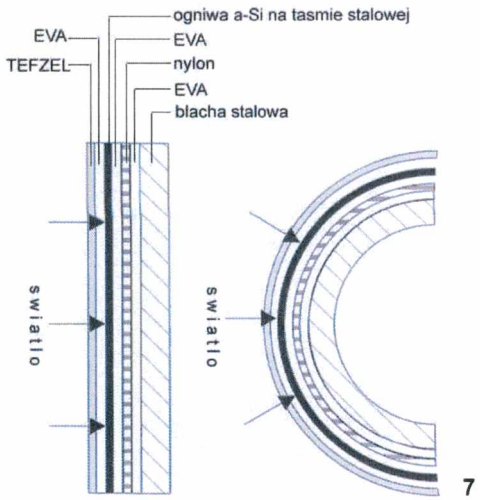
Typ: ogniwa a-Si na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło,
- transparentna folia laminująca EVA,
- perforowane ogniwa a-Si na podłożu szklanym,
- transparentna folia laminująca EVA,
- transparentne tworzywo sztuczne.

Wymiary:

Właściwości:
- moduł półtransparentny,
- brak giętkości.

B/1. BUDOWA
2. OGNIWA CIENKOWARSTWOWE Z KRZEMU AMORFICZNEGO (a-Si)



7

Typ: ogniwa a-Si na giętkim podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- transparentna, teksturyzowana folia TEFZEL,
- folia laminująca EVA,
- ogniwa a-Si na podłożu ze stali nierdzewnej,
- folia laminująca EVA,
- nylon (izolacja elektryczna),
- folia laminująca EVA,
- stal ocynkowana.

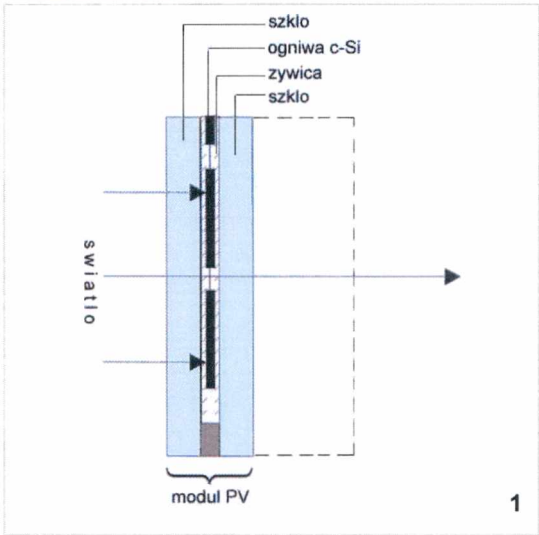
Wymiary:
- grubość ~1,8 mm,
- ciężar ~8-12 kg/m^2

Właściwości:
- element nieprzeźroczysty,
- duża giętkość, możliwość dostosowania do różnych kształtów,
- trwałość,
- lekkość.

B/1. BUDOWA

3. KONSTRUKCJA ZE SZKŁEM IZOLACYJNYM, OGNIWA c-Si, a-Si

MODUŁ BAZOWY – A



1

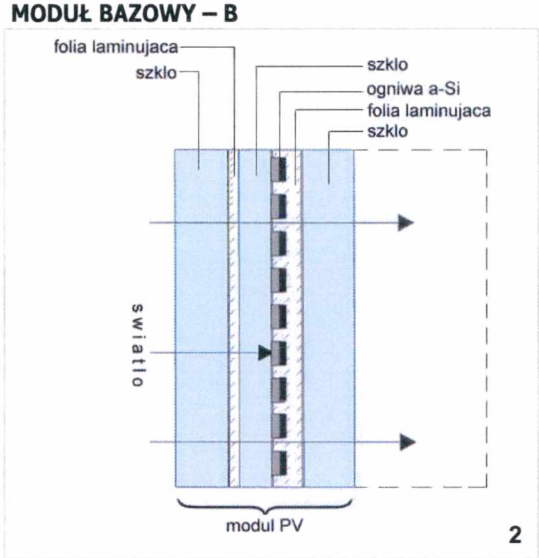
Typ: szkło-szkło z ogniwami krystalicznymi c-Si

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło białe (ESG, TVG, float),
- ogniwa c-Si osadzone w transparentnej żywicy,
- szkło (ESG, TVG, float),
+ rozszerzenie

Wymiary:
- grubość ~10-18 mm + rozszerzenie
- ciężar ~20-40 kg/m^2 + rozszerzenie

Właściwości:
- element częściowo transparentny,
- duży ciężar,
- kombinacje z różnymi rodzajami szkła,
- brak giętkości,
- bezpieczeństwo (możliwość zawieszania nad głową).

MODUŁ BAZOWY – B



2

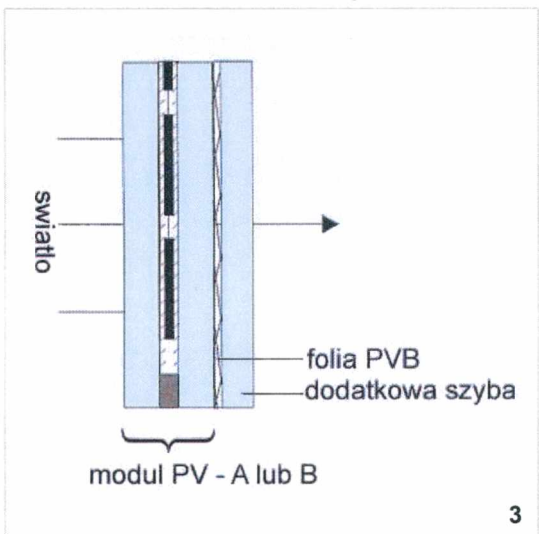
Typ: ogniwa cienkowarstwowe osadzone na szklanym podłożu

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- szkło białe ESG,
- transparentna folia laminująca,
- ogniwa cienkowarstwowe z transparentną elektrodą przednią i nieprzeźroczystą, metalową elektroda tylną,
- transparentna folia laminująca,
- szkło ESG,
+ rozszerzenie

Wymiary:
- grubość ~15 mm + rozszerzenie
- ciężar ~30 kg/m^2 + rozszerzenie

Właściwości:
- element półtransparentny,
- duży ciężar,
- kombinacje z różnymi rodzajami szkła,
- brak giętkości,
- bezpieczeństwo (możliwość zawieszania nad głową).

ROZSZERZENIE MODUŁÓW A1 / B2



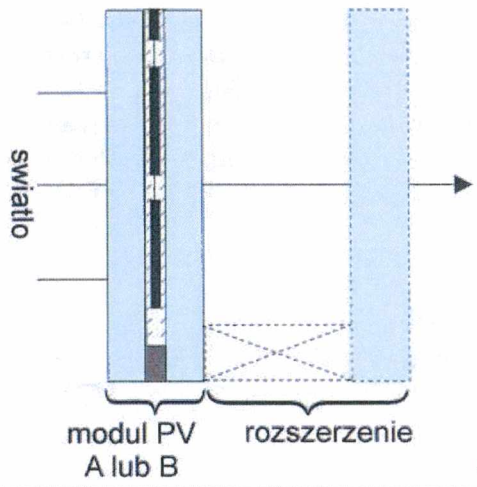
3

Typ: moduł zintegrowany ze szkłem bezpiecznym VSG

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- moduł PV typu A lub B,
- folia PVB,
- szkło Float lub TVG.

B/1. BUDOWA
3. KONSTRUKCJA ZE SZKŁEM IZOLACYJNYM, OGNIWA c-Si, a-Si

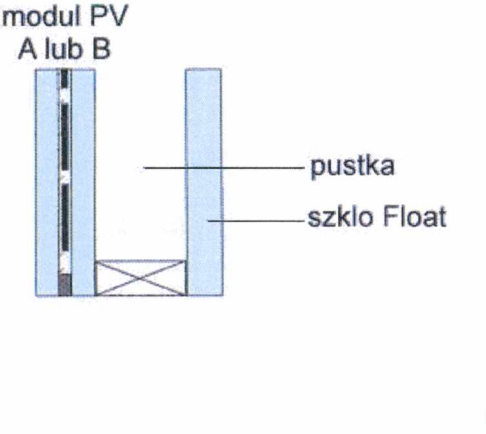
ROZSZERZENIE MODUŁÓW A2 / B2



4

Typ: **moduł zintegrowany ze szkłem izolacyjnym różnego typu (szyby zespolone)**

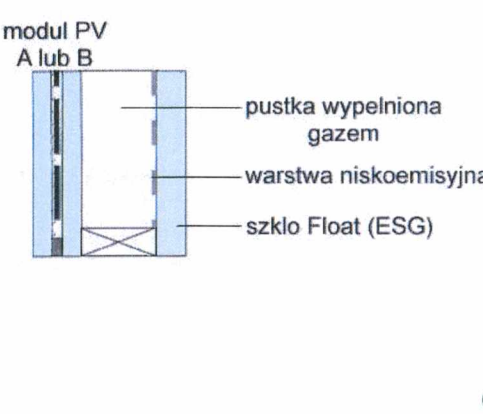
Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bazowy moduł PV typu A lub B,
- przestrzeń międzyszybowa,
- szkło izolacyjne (różnego typu).



5

Typ: **moduł zintegrowany ze szkłem izolacyjnym różnego typu (szyby zespolone)**

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bazowy moduł PV typu A lub B,
- przestrzeń międzyszybowa,
- szkło Float.



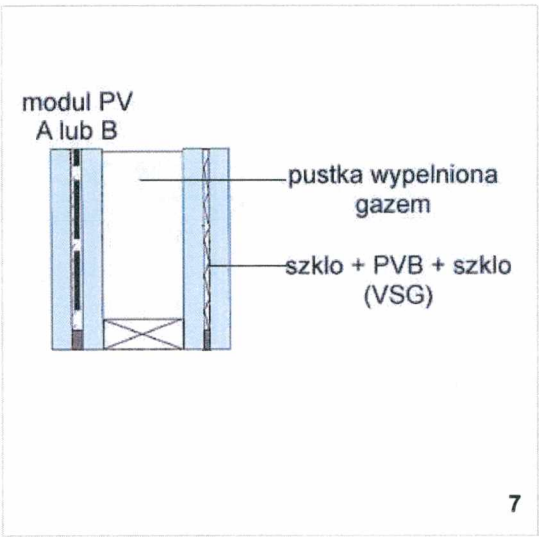
6

Typ: **moduł zintegrowany ze szkłem izolacyjnym różnego typu (szyby zespolone)**

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bazowy moduł PV typu A lub B,
- przestrzeń międzyszybowa wypełniona gazem,
- warstwa niskoemisyjna,
- szkło Float (ESG).

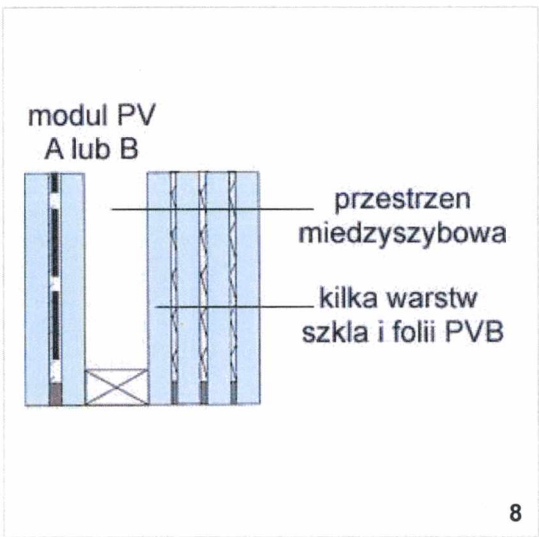
B/1. BUDOWA

3. KONSTRUKCJA ZE SZKŁEM IZOLACYJNYM, OGNIWA c-Si, a-Si



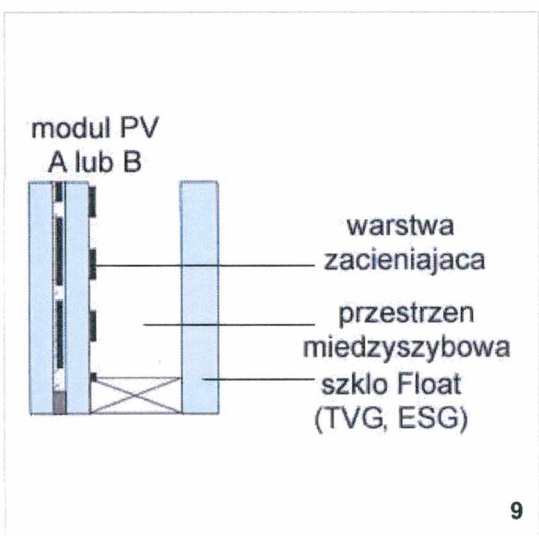
Typ: **moduł zintegrowany ze szkłem izolacyjnym różnego typu (szyby zespolone)**

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bazowy moduł PV typu A lub B,
- przestrzeń międzyszybowa wypełniona gazem,
- szkło bezpieczne, klejone (VSG).



Typ: **moduł zintegrowany ze szkłem izolacyjnym różnego typu (szyby zespolone)**

Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bazowy moduł PV typu A lub B,
- przestrzeń międzyszybowa,
- kilka warstw szkła klejonego folią PVB.



Typ: **moduł zintegrowany ze szłem izolacyjnym różnego typu (szyby zespolone)**

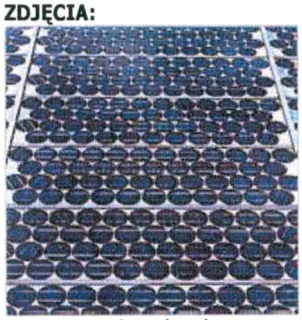
Warstwy (od str. zewnętrznej):
- bazowy moduł PV typu A lub B,
- warstwa chroniąca od Słońca,
- przestrzeń międzyszybowa,
- szkło Float.

B/2. UKŁAD OGNIW

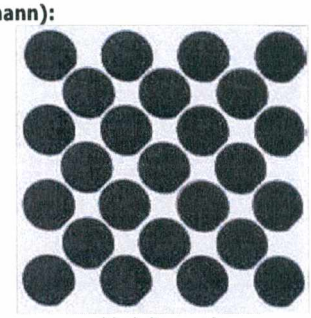
1. OGNIWA Z KRZEMU KRYSTALICZNEGO (m-Si, p-Si)

ZDJĘCIA:

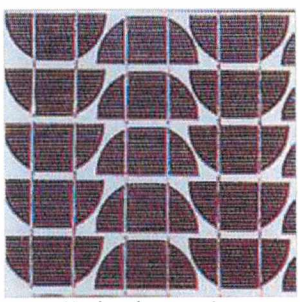
SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):


ogniwa okrągłe


układ standardowy

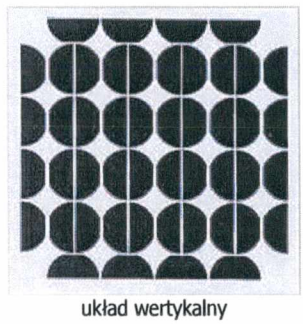

układ diagonalny

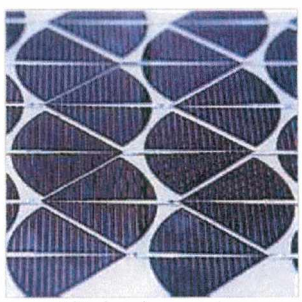

układ wertykalny

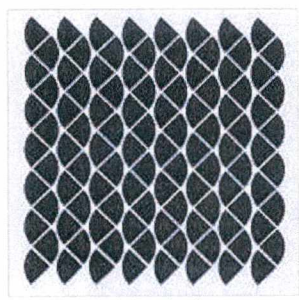

½ okrągłego ogniwa

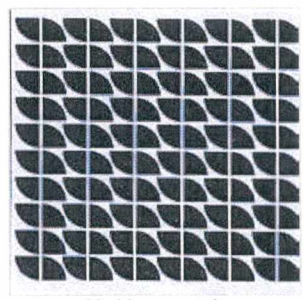

układ standardowy

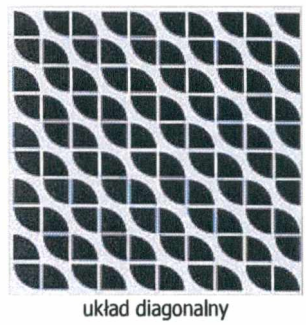

układ horyzontalny

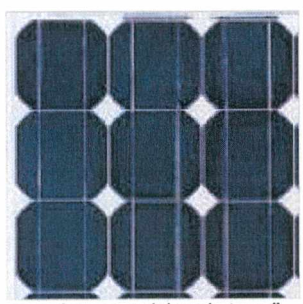

układ wertykalny

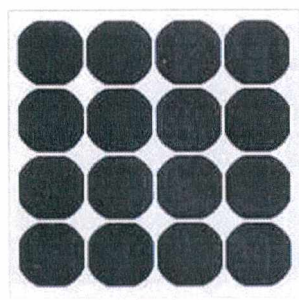

1/4 okrągłego ogniwa

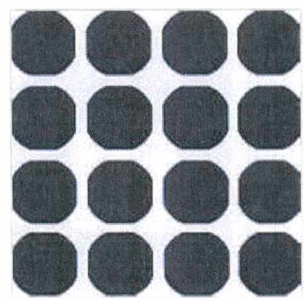

układ standardowy

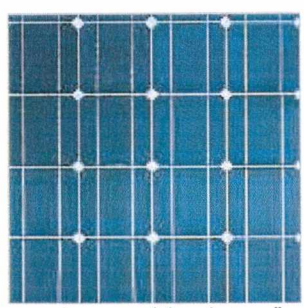

układ horyzontalny

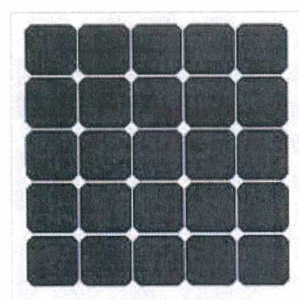

układ diagonalny

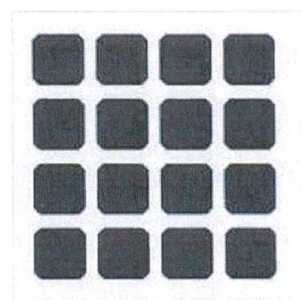

ogniwo „pseudokwadratowe"


układ standardowy


zwiększony odstęp
między ogniwami


ogniwo „pseudokwadratowe"

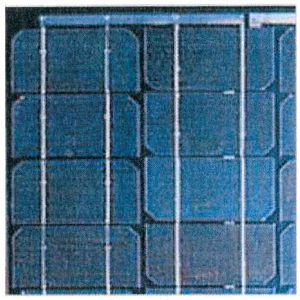

układ standardowy


zwiększony odstęp
między ogniwami

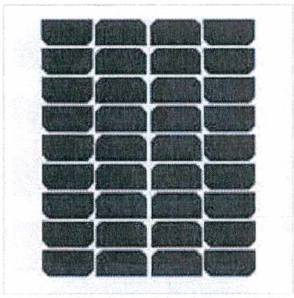
B/2. UKŁAD OGNIW

1. OGNIWA Z KRZEMU KRYSTALICZNEGO (m-Si, p-Si)

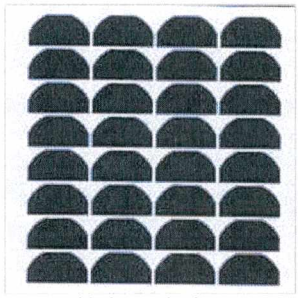
ZDJĘCIA: **SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):**



½ ogniwa „pseudokwadratowego"



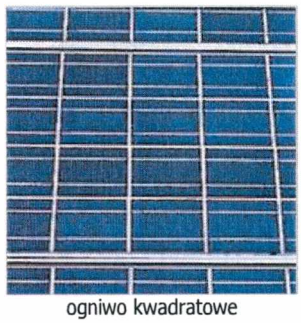
układ standardowy



układ standardowy



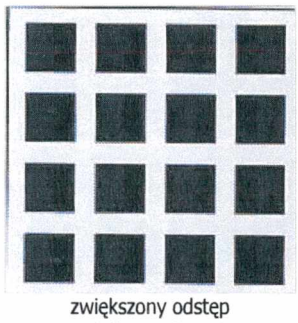
układ wertykalny



ogniwo kwadratowe



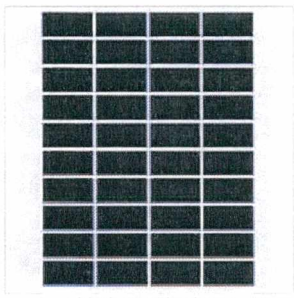
układ standardowy



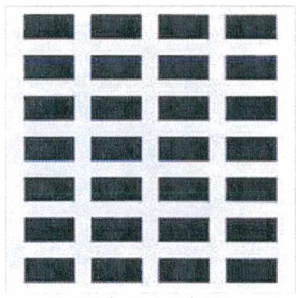
zwiększony odstęp między ogniwami



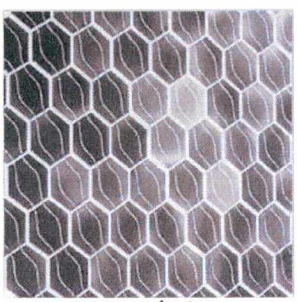
½ ogniwa kwadratowego



układ standardowy

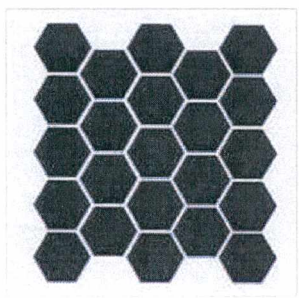


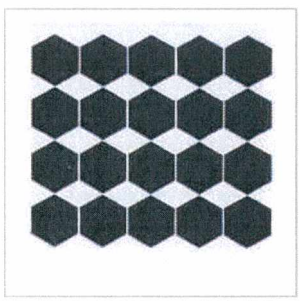
zwiększony odstęp między ogniwami

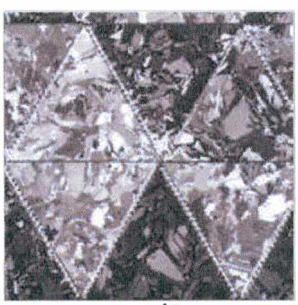


ogniwa sześciokątne

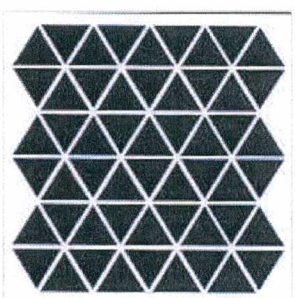


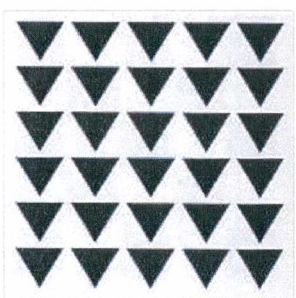






ogniwa trójkatne



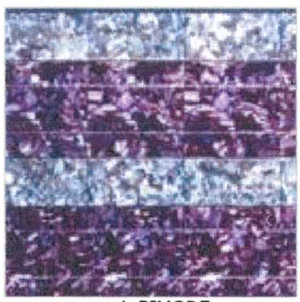


B/2. UKŁAD OGNIW
2. ZESTAWIENIE OGNIW W RÓŻNYCH KOLORACH

ZDJĘCIA:

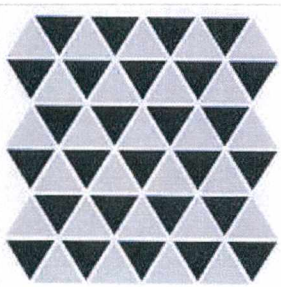


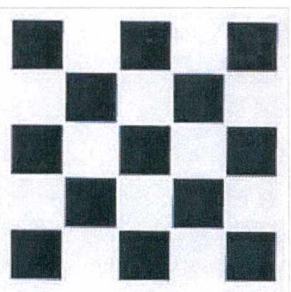
proj. BIMODE

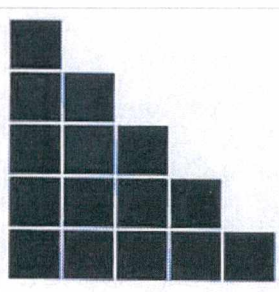


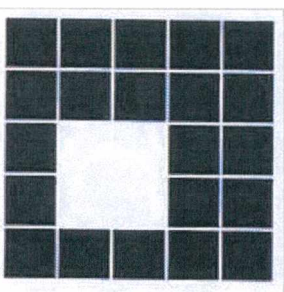
proj. BIMODE

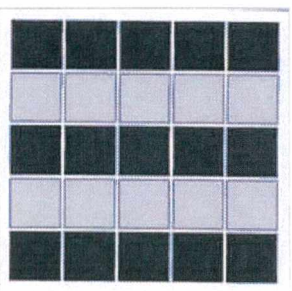
SCHEMATY (na podst. I. B. Hagemann):

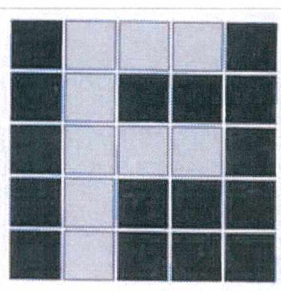


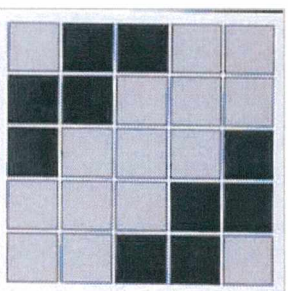












B/2. UKŁAD OGNIW
3. ZESTAWIENIE OGNIW Z RÓŻNYMI KONTAKTAMI ELEKTRYCZNYMI

ZDJĘCIA:



PQ-120D-1
prod. PowerQuant



PQ-120D-2
prod. PowerQuant

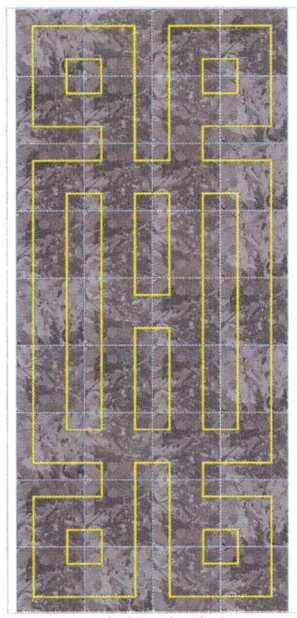


PQ-120D-3
prod. PowerQuant

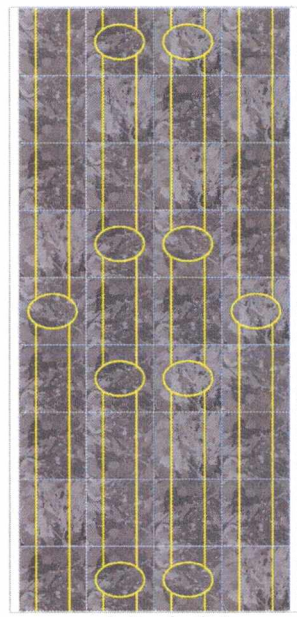


PQ-120D-4
prod. PowerQuant

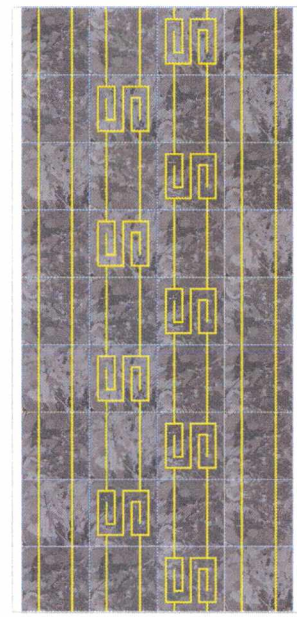
SCHEMATY:



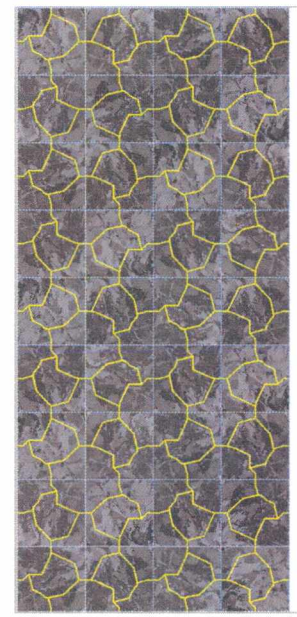
proj. Atominstitut



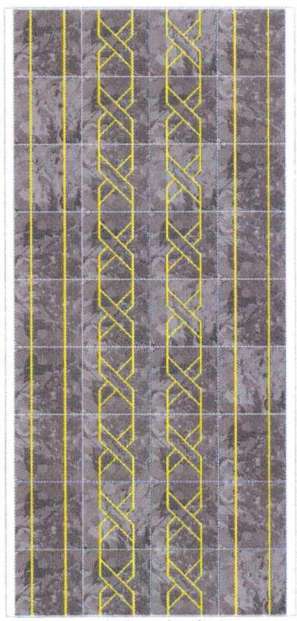
proj. Atominstitut



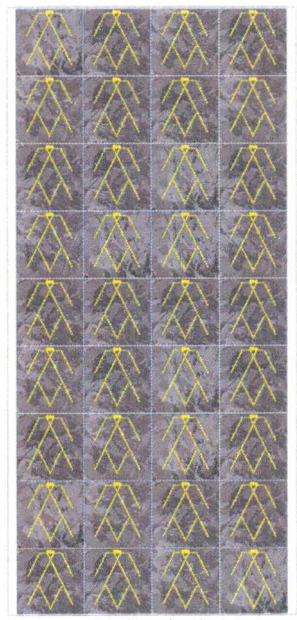
proj. Atominstitut



proj. Atominstitut



proj. Atominstitut

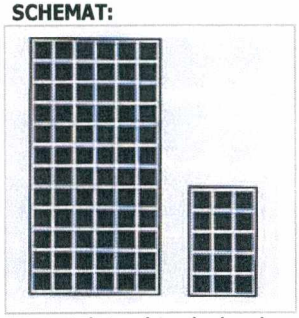


proj. Atominstitut

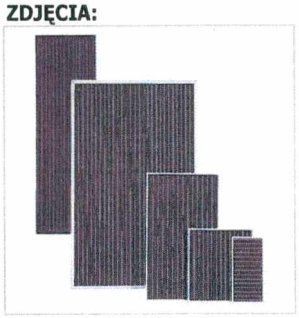
B/3. KSZTAŁTY MODUŁÓW PV

1. OGNIWA KRYSTALICZNE I CIENKOWARSTWOWE (c-Si, a-Si, CIS, CdTe)

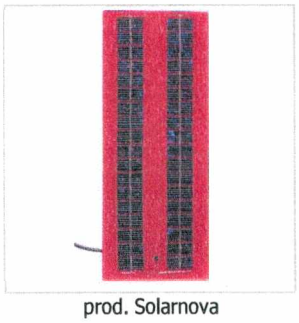
SCHEMAT: **ZDJĘCIA:**



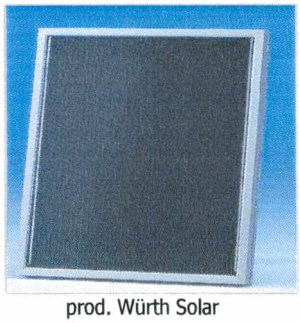
prostokątne (standardowe)



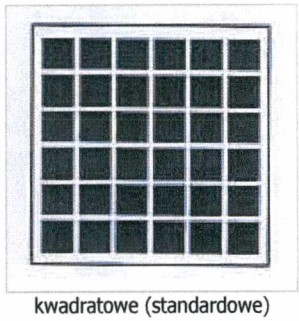
prod. RWE Schott Solar



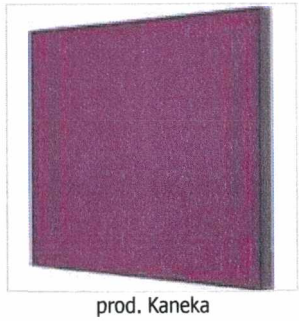
prod. Solarnova



prod. Würth Solar

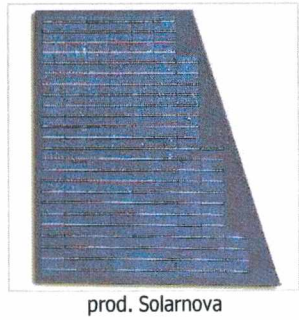


kwadratowe (standardowe)

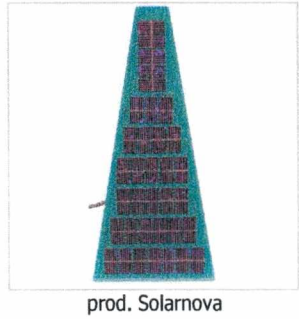


prod. Kaneka

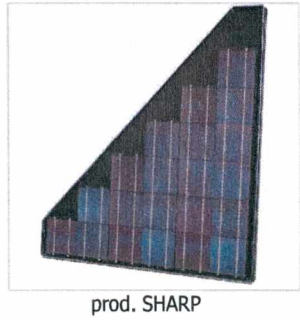
trapezowe



prod. Solarnova

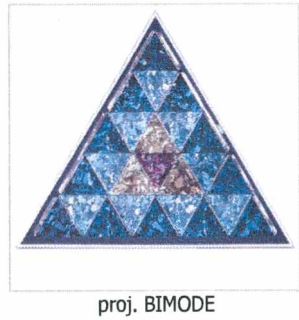


prod. Solarnova

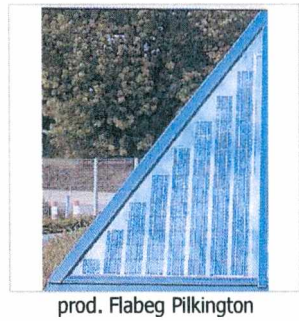


prod. SHARP

trójkątne

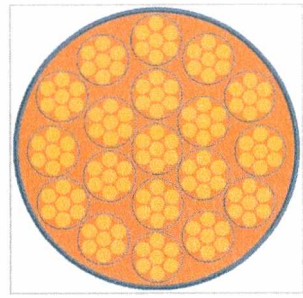


proj. BIMODE

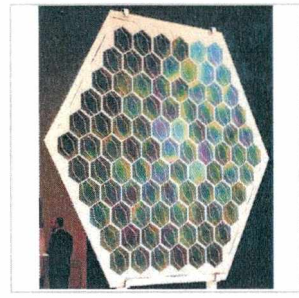


prod. Flabeg Pilkington

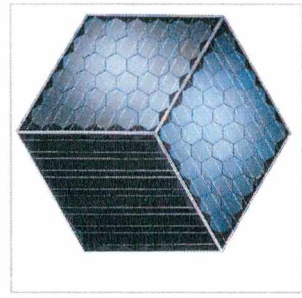
inne
(prototypy, na zamówienie)



proj. J.Claus



proj. BIMODE



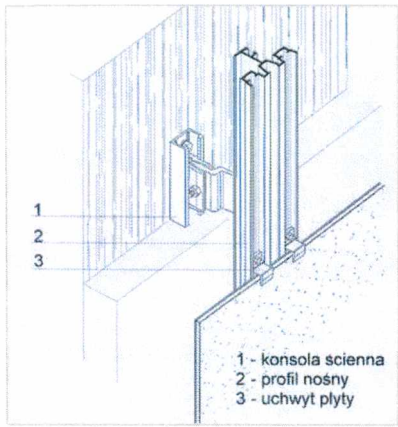
proj. BIMODE

C.
MATERIAŁY I SYSTEMY BIPV

C/1. SYSTEMY FASAD WENTYLOWANYCH

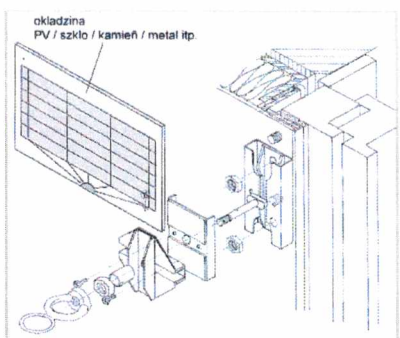
C/1.1 ALUHIT® Fassaden

Producent	WYSS AG
Typ produktu	System fasadowy / Produkt standardowy, opatentowany
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Konstrukcje wentylowane
Opis	System fasadowy dla konstrukcji wentylowanych, odpowiedni dla różnego typu okładzin: konwencjonalnych tj. panele szklane, kamienne, ceramiczne oraz modułów PV. Łatwy i szybki demontaż lub wymiana pojedynczych paneli. Elementy konstrukcji przyjazne środowisku. Ukryte okablowanie i konstrukcja nośna.
Elementy	Podkonstrukcja: profile nośne, konsole ścienne ALUHIT w otulinie z tworzywa piankowego / Panele PV / Uchwyty mocujące ALUHIT
Wymiary	Wg projektu
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Profile nośne mocowane do ściany konstrukcyjnej poprzez konsole ścienne ALUHIT (rozstaw konsoli max 1800 mm). Panele PV mocowane uchwytami ALUHIT do profili nośnych.
Technologia PV	Moduły PV różnego typu, bezramowe / Ogniwa krystaliczne c-Si
Moc znamionowa	Wg projektu



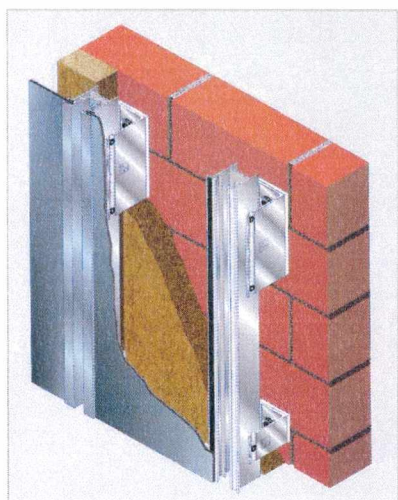
C/1.2 Sj Systemfassade (Weyermann)

Producent	Schuler & Jatzlau Planung
Typ produktu	System fasadowy / Produkt standardowy, opatentowany
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Konstrukcje wentylowane
Opis	System fasadowy dla konstrukcji wentylowanych, odpowiedni dla różnego typu okładzin: konwencjonalnych tj. panele szklane, kamienne, metalowe itp. oraz modułów PV. System podkonstrukcji z otwartymi fugami zapewnia tylną wentylację paneli i ich chłodzenie. Duża dowolność kompozycyjna dla projektantów.
Elementy	Podkonstrukcja: profile L ze stali galwanizowanej 60x100x7 mm, profile L ze stali nierdzewnej 50x50x5 mm, podkładki gumowe 10 mm, izolacja wodochronna / Panele PV / Konstrukcja wsporcza: elementy stalowe, uszczelki EPDM
Wymiary	Wg projektu
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Punktowy system mocowania płyty okładzinowej do stalowej podkonstrukcji. Minimum 4 punkty mocujące (ilość zależna od wielkości panela). Montaż w odległości 20 mm od warstwy wodo- i wiatrochronnej (izolacja cieplna w konstrukcjach nowych, zewnętrzna skrajna warstwa skóry budynku w obiektach istniejących).
Technologia PV	Moduły PV różnego typu, bezramowe / Ogniwa krystaliczne c-Si
Moc znamionowa	Wg projektu



C/1.3 Voltarlux® PV-F-Typ

Producent	Glaswerke Arnold GmbH & Co.KG
Typ produktu	System fasadowy PV / Produkt standardowy
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Konstrukcje wentylowane
Opis	System fasadowy dla konstrukcji wentylowanych o wysokości 0-100 m. Kombinacja lekko zmodyfikowanej podkonstrukcji BWM i cienkowarstwowych modułów PV. Podkonstrukcja odpowiednia dla okładzin z konwencjonalnych paneli szklanych oraz paneli Alucobond. Pustka pomiędzy ścianą i okładziną zapewnia wentylację. Możliwość umieszczenia izolacji z wełny mineralnej grubości do 150 mm. 20 lat gwarancji.
Elementy	Podkonstrukcja: kątowniki dystansujące, profile uszczelniające, pionowe słupki fasadowe / Laminat PV / Listwy maskujące / Elementy mocujące U 50,150,250 mm / Nity Alu-Niro, śruby, uchwyty (kołki)
Wymiary	Wg projektu
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Pionowe słupki nośne mocowane do profili U przykręconych do ściany masywnej lub konstrukcji nośnej. Mocowanie modułów PV do profili nośnych ukryte pod listwami maskującymi.
Technologia PV	Moduły PV typu VOLTARLUX® ASI Standard opak 30-SG, laminowane (PVB 600 x 1000 mm), cienkowarstwowe, nieprzeźroczyste / Ogniwa a-Si na szklanym podłożu
Moc znamionowa	50 Wp/m^2



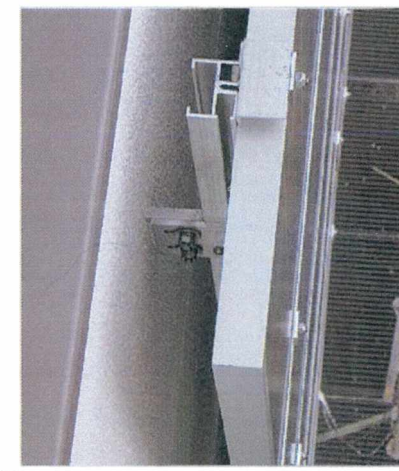
C/1.4 A-75 ATM

Producent	Atersa
Typ produktu	System fasadowy / Produkt komercyjny
Zastosowanie	Okładziny fasadowe ceramiczne / Konstrukcje wentylowane / 3-4 kondygnacje
Opis	System A-75 ATM wykorzystuje moduły z tych samych materiałów, co standardowy element Atersa A-75. Specjalne obramowanie i wymiary dostosowane do integracji z ceramiczną fasadą wentylowaną. Tylna warstwa modułu - folia Tedlar w kolorze niebieskim dla lepszej integracji wizualnej. Frontowa warstwa modułu – szkło z teksturyzacją piramidalną zwiększającą zyski z energii słonecznej o 10 %. Struktura wspierająca opracowana przez Mecanofas (model Karrat S7). Metalowe profile uniemożliwiają bezpośredni kontakt modułów i ceramicznych paneli z wewnętrzną ścianą. Ukryte okablowanie, efektywność montażu, łatwy dostęp i możliwość demontażu poszczególnych paneli.
Elementy	Metalowa podkonstrukcja / Elementy mocujące / Moduły PV
Wymiary	b.d.
Waga	b.d.
Mocowanie	Mocowanie do metalowej podkonstrukcji (profile pionowe i poziome) przytwierdzonej do konstrukcji nośnej.
Technologia PV	Moduł Atersa A-75, typ szkło-folia, obramowany / Ogniwa m-Si
Moc znamionowa	b.d.



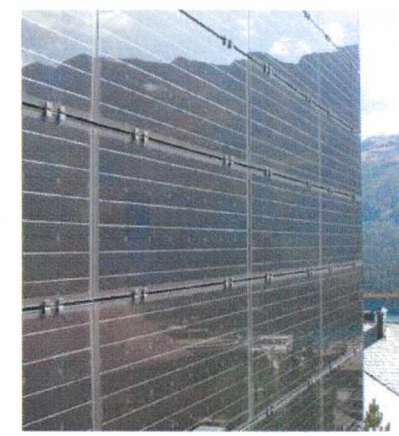
C/1.5 PV-TEC 2000

Producent	SOLTECH, Niemcy
Typ produktu	System fasadowy
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Pionowe, pochylone / Konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Zapewniający szereg możliwości architektonicznych system fasadowy odpowiedni dla obramowanych i bezramowych modułów PV. Dla konstrukcji izolowanych termicznie grubość izolacji max. 140 mm. Dla struktur wodoszczelnych moduły bezramowe, podkład EPDM, uszczelki silikonowe.
Elementy	Aluminiowa podkonstrukcja (profile, szyny) / Elementy mocujące (wg projektu) / Elementy uszczelniające (wg projektu) / Moduły PV
Wymiary	Wg projektu
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Mocowanie do głównych szyn podkonstrukcji przykręconych do konstrukcji nośnej. Punktowe, liniowe (listwy), zawieszane, na klamry, widoczne lub ukryte. Fugi otwarte lub zamknięte. Dla struktur wodoszczelnych raster podkonstrukcji max. 1,75 m.
Technologia PV	Moduły PV różnego typu, bezramowe lub obramowane
Moc znamionowa	Wg projektu



C/1.6 3S Photovoltaic Facade

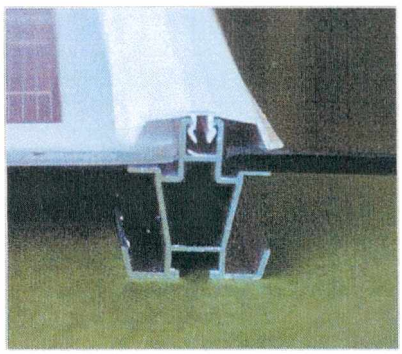
Producent	3S Swiss Solar Systems
Typ produktu	System fasadowy
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Konstrukcje wentylowane / Szklane fasady / Systemy zacieniające / Konstrukcje specjalne / Pionowe, pochylone
Opis	Moduły standardowe lub na zamówienie. Ukryte okablowanie i elementy instalacji, np. chowane w profilach konstrukcyjnych. Wsparcie projektantów i planistów dla zapewnienia wysokiej jakości i optymalnych zysków energii. Różne systemy podkonstrukcji i mocowania do wyboru. Laminaty szkło-folia lub szkło-szkło. Brak obramowania modłów PV zapewnia jednolity wygląd fasady, nie osadza się na nich brud. Ogniwa krystaliczne, do wyboru m-Si, p-Si, semitransparentne, kolorowe. Kształt, kolorystyka, wymiar laminatów na zamówienie.
Elementy	Laminaty PV + system mocowania wg projektu
Wymiary	Grubość szklanego elementu 6-8 mm / max. 3,5 x 2,0 m
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Punktowe (szklane fasady) / Zaciski, klamry - zawieszane sekcje elementów dodatkowo klejone od tyłu (dla budynków wysokich, moduły typu szkło-szkło)
Technologia PV	Laminaty bezramowe; typ szkło-folia lub szkło-szkło / Ogniwa m-Si, p-Si, semitransparentne
Moc znamionowa	Max. 420 Wp (element)



C/2. SYSTEMY PROFILOWE

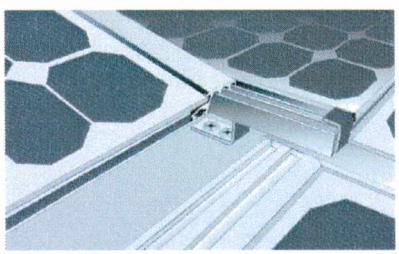
C/2.1 BOAL

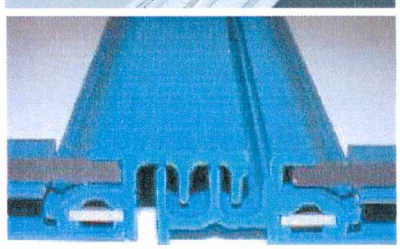
Producent	BOAL Systemen B.V., Holandia
Typ produktu	System profilowy
Zastosowanie	Okładziny elewacyjne, pokrycia dachowe / Struktury pochylone
Opis	System opracowany przez BOAL i Shell Solar w kooperacji z Ecofys, GIW, TNO. Specjalna adaptacja szklarniowego systemu szkieletowego dla integracji z PV. Dystans między laminatami PV i podkonstrukcją 25,3 mm zapewnia wentylację okładziny. Profil wertykalny niewykończony, pokryty od góry listwą maskującą szerokości 15 mm w kolorze białym (możliwe inne kolory). Profile poziome anodyzowane (możliwość koloru).
Elementy	Aluminiowe profile wertykalne i horyzontalne / Moduły PV / Listwy maskujące.
Wymiary	Wg projektu / Grubość laminatu max 5 mm.
Waga	Konstrukcja wraz z 1 m^2 modułu PV: ~13 kg/m^2
Mocowanie	Pionowe profile mocowane do łat za pomocą regularnie rozmieszczonych śrub w ilości uzależnionej od obciążenia wiatrem. Laminat wsuwany w profile wertykalne i klejony na miejscu.
Technologia PV	Bezramowe laminaty PV
Moc znamionowa	Moduły 50 Wp, 75 Wp, 100 Wp



C/2.2 Solrif® PV In-roof System

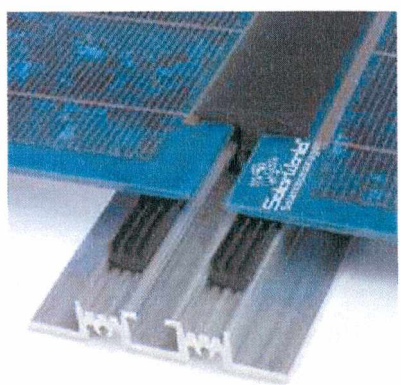
Producent	Enecolo AG, Szwajcaria
Typ produktu	System profilowy / Produkt standardowy, opatentowany
Zastosowanie	Okładziny elewacyjne, pokrycia dachowe / Nachylenie 10-90° / Struktury wentylowane
Opis	System profilowy z ekstrudowanego aluminium do obramowania modułów użytych w miejscu konwencjonalnego pokrycia dachowego lub okładziny fasadowej. Specjalny system bez ram zatrzymujących śnieg. Możliwość wymiany poszczególnych modułów PV, dobre połączenie z tradycyjnym pokryciem. Tylna wentylacja modułów. Wady: trudna konserwacja dachu, dodatkowe obciążenie elementami konstrukcji.
Elementy	4 rodzaje profili aluminiowych (wolny wybór kolorów) / Elementy mocujące
Wymiary	Powierzchnia modułu max. 1,5 m^2, grubość max 5 mm (wersja XL 5,5 mm)
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Montaż od dolnego rzędu modułów PV, od strony prawej do lewej. Moduły wstępnie obramowane aluminiowymi profilami, klejone obwodowo w celu uzyskania wodoszczelności. Następnie przytwierdzane do profili poziomych konstrukcji poprzez specjalne metalowe zaciski.
Technologia PV	Większość standardowych laminatów PV
Moc znamionowa	Wg projektu





C/2.3 SolarWorld Mounting System

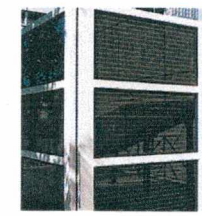
Producent	SolarWorld AG, Niemcy
Typ produktu	System profilowy
Zastosowanie	Okładziny elewacyjne, pokrycia dachowe / Struktury pochylone
Opis	Produkt opracowany przez wytwórcę modułów PV. Gumowe profile zapewniają wodoszczelność pokrycia, pionowe profile umożliwiające drenaż. Wszystkie płyty PV w jednej płaszczyźnie. System dostarczany w całości wraz z modułami, okablowaniem, inwertorem i profilami.
Elementy	Profile aluminiowe / Moduły PV / Gumowe uszczelki / Elementy instalacji elektrycznej
Wymiary	B.d.
Waga	B.d.
Mocowanie	W kierunku pionowym profile aluminiowe z 2 uszczelkami gumowymi i drenażem w środku mocowane do łat dachowych. Z obu stron profili na specjalnych kołnierzach umieszczane profile poziome o 3 mm cieńsze. Moduły mocowane na szkielecie poziomymi i pionowymi profilami gumowymi wciskanymi w aluminiowy profil.
Technologia PV	Standardowe laminaty PV: MSX-120 i SM 150
Moc znamionowa	MSX120: 120 Wp, SM150: 150 Wp

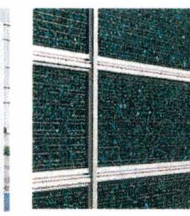


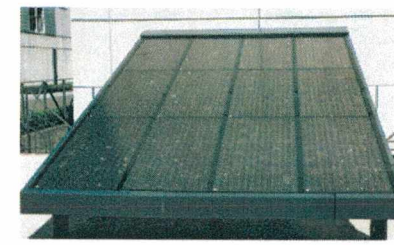
C/3. INSTALACJE EKSPERYMENTALNE

C/3.1 Daido Hoxan/Kajima/Showa Shell

Producent	Shogo Nishikawa Technology Development Laboratory Kandenko Co., Japonia
Typ produktu	Systemy fasadowe / Testowane instalacje eksperymentalne
Zastosowanie	Okładziny fasadowe dla konstrukcji różnego typu
Opis	Systemy integracji modułów PV z fasadami o konstrukcji żelbetowej, metalicznej, z uszczelkami, oknami. W badaniach brane są pod uwagę różne czynniki tj.: właściwe wykorzystanie generowanej energii, ochrona od ognia, trwałość i sztywność, standaryzacja elementów. Możliwość różnych kombinacji szkła, ogniw solarnych, tylnej warstwy, wypełnienia. Różne efekty wizualne uzyskiwane za pomocą koloru ogniw tj. niebieski, jasno niebieski, szary, zielony, złoty, brązowy.
Elementy	W zależności od systemu: szkielet metaliczny, żelbetowy / uszczelki / moduły PV / elementy mocujące
Wymiary	Moduły max. 2,8 x 1,4 m
Waga	~21 kg/m^2
Mocowanie	W zależności od systemu
Technologia PV	Moduły bezramowe różnego typu / Ogniwa c-Si w różnych kolorach
Moc znamionowa	83,3 W/m^2 dla ogniw c-Si w kolorze niebieskim

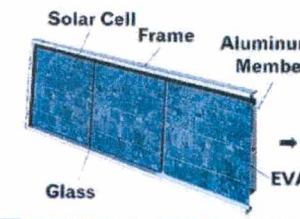


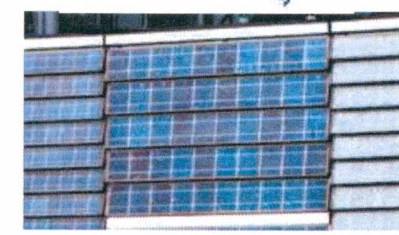




C/3.2 PV & Metal Curtain Wall

Producent	YKK Corp., Kyocera Corp., Japonia
Typ produktu	Systemy fasadowe / Testowane instalacje eksperymentalne
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Metalowe ściany kurtynowe
Opis	Rozpoczęty w roku 1993 projekt (NEDO Research Project) integracji modułów PV z metalowymi materiałami konstrukcyjnymi. Moduły w kombinacji z aluminiową ścianą kurtynową, konstrukcja zapewniająca tylną wentylację. Ogniwa umieszczone pomiędzy szkłem i tylną warstwą z płyty aluminiowej. Testowane systemy różnego typu. System I: długie, wąskie moduły PV, pochylone. System II: prostsza konstrukcja, mniejsze moduły PV, niższe koszty.
Elementy	Aluminiowe profile / Moduły PV
Wymiary	B.d.
Waga	B.d.
Mocowanie	Do szkieletu z profili aluminiowych
Technologia PV	Ogniwa p-Si
Moc znamionowa	6,7 kWp

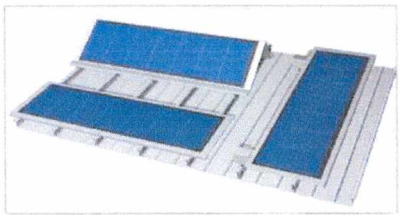




C/4. SYSTEMY FASAD (POKRYĆ) METALOWYCH

C/4.1 Kalzip® SolarClad

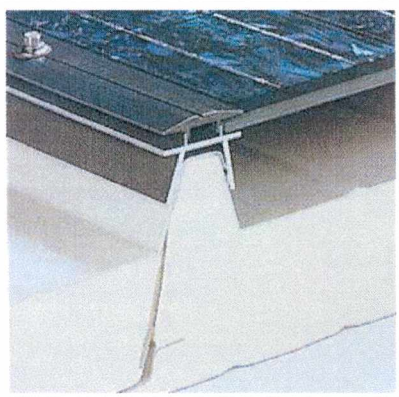
Producent	Corus Bausysteme GmbH, Niemcy
Typ produktu	Okładzina solarna / Produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / Proste, zakrzywione / Konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Integracja okładziny solarnej z metalowym pokryciem na rąbek stojący tj. blachy aluminiowe, cynkowe, miedziane, blachy trapezowe. Lekki system odpowiedni dla nowo wznoszonych konstrukcji i struktur istniejących. Różne możliwości układu paneli. Minimalny promień zakrzywienia 10-13 m.
Elementy	Laminat cienkowarstwowy PVL-68, PVL-136 / Klamry mocujące / Metalowe profile podkonstrukcji (w układzie prostopadłym do rąbków stojących i dla elementów nachylonych)
Wymiary	Długość modułów: 2,85 m, 5,50 m
Waga	4-8 kg/m^2 (z elementami mocującymi)
Mocowanie	Panele PV mocowane klamrami do rąbków stojących bez penetracji przegrody. Układ równoległy do profilowania blachy, prostopadły lub jako nachylony względem płaszczyzny metalowego pokrycia.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy – ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu metalowym.
Moc znamionowa	68 Wp, 136 Wp





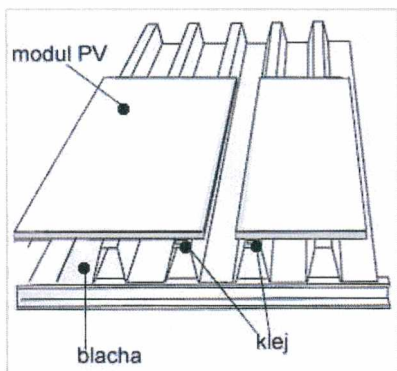
C/4.2 Delitherm-solar

Producent	
Typ produktu	Produkt dostępny na rynku, w fazie testowania
Zastosowanie	Okładziny elewacyjne / Lekka obudowa z płyt typu sandwich
Opis	Integracja modułów PV z izolowaną termicznie płytą Delitherm G4. Laminaty PV dopasowane na wymiar, przytwierdzone na grzbiecie fali. Tylna wentylacja modułów.
Budowa elementu	Płyta warstwowa typu sandwich (od strony zewnętrznej blacha trapezowa, izolacja termiczna z pianki poliuretanowej) / Profile metalowe / Moduł PV / Listwy
Wymiary	Moduł PV: 1300 x 978 mm
Waga	B.d.
Mocowanie	Mocowanie wzdłuż grzbietu fali profilowanej płyty warstwowej za pomocą specjalnych profili i zacisków.
Technologia PV	Laminaty bezramowe
Moc znamionowa	134-163 Wp



C/4.3 Montana (Shaped Steel Metal)

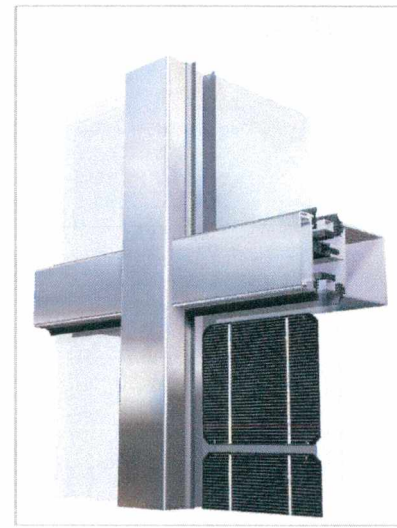
Producent	Enecolo AG, Szwajcaria
Typ produktu	System elewacyjny, dachowy / Produkt w fazie badawczo-rozwojowej
Zastosowanie	Okładziny elewacyjne, pokrycia dachowe
Opis	Moduły fabrycznie przytwierdzone do arkuszy profilowanej blachy za pomocą specjalnych taśm klejących. Odstępy pomiędzy poszczególnymi modułami w zależności od rozwiązania. Zalety: brak penetracji konstrukcji pokrycia przez otwory montażowe (nie ma problemu korozji). Wady: demontaż powoduje zniszczenie kleju.
Budowa elementu	Blacha profilowana / Moduł PV / Taśmy klejące
Wymiary	Max. 1,0–10,0 x 0,3–2,0 m. Grubość modułu 4-10 mm.
Waga	7 kg/m^2
Mocowanie	Szybki i prosty system montażu blach, jak w przypadku materiałów konwencjonalnych.
Technologia PV	Standardowe moduły obramowane lub bezramowe laminaty.
Moc znamionowa	Wg projektu



C/5. SYSTEMY SŁUPOWO-RYGLOWE

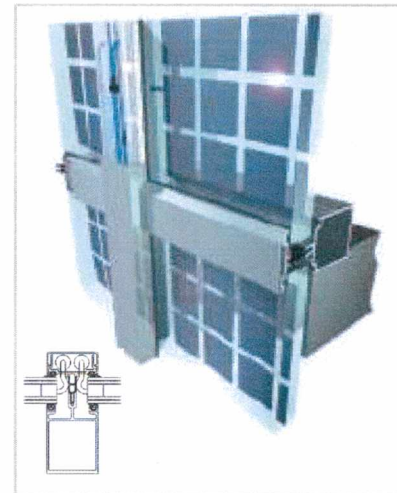
C/5.1 Oskomera SF60

Producent	Oskomera Group, Holandia
Typ produktu	System fasadowy słupowo-ryglowy / Produkt standardowy
Zastosowanie	Aluminiowe ściany osłonowe, atria / Konstrukcje pionowe, pochylone
Opis	System osłonowy słupowo-ryglowy z wypełnieniem szkieletu aluminiowego modułami PV. Standardowe rozwiązanie zmodyfikowane na potrzeby integracji z elementami solarnymi. Specjalne profile poprzeczne z kanałami dla niewidocznego przeprowadzenia okablowania. Prefabrykowane przepusty zapewniają wodoszczelność. Płaskie profile i uszczelki nie zacieniają ogniw. Pustka zapewniająca wentylację tylnej strony modułów. Możliwość kombinacji z konwencjonalnymi materiałami. Aluminiowe profile anodyzowane lub w kolorystyce wg palety RAL, uszczelki dostępne w 29 kolorach. Jeden dostawca wszystkich elementów (profile, falowniki, szkło itd.). Firma zapewnia cały serwis, łącznie z instalacją i odbiorem.
Elementy	Aluminiowe profile pionowe i poziome / Moduły PV / Uszczelki /
Wymiary	Profile szerokości 60 mm, grubości wg projektu / Moduły PV wg projektu
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Obwodowe, jak dla wypełnienia konwencjonalnego
Technologia PV	Moduły PV różnego typu: semitransparentne, izolowane termicznie, standardowe lub na zamówienie / Ogniwa krystaliczne c-Si lub cienkowarstwowe
Moc znamionowa	Wg projektu



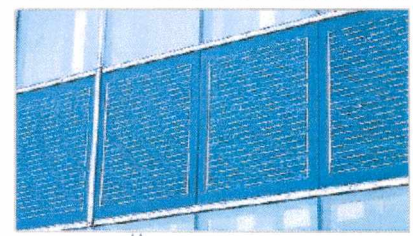
C/5.2 AA 110

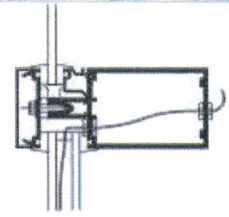
Producent	Kawneer
Typ produktu	System fasadowy
Zastosowanie	Okładziny fasadowe / Konstrukcje wentylowane / Szklane fasady / Pionowe, pochylone
Opis	Produkt opracowany we współpracy z BP Solar. System dla fasad szklanych. Do wysokości 6,4 m konstrukcja bez podpór pośrednich. Struktura aluminiowa Kawneer AGS 6060. Widoczny element profila szerokości 65 mm. Dobra integracja okablowania. Szklenie pojedyncze lub podwójne zintegrowane z ogniwami. Do wyboru dwa rodzaje standardowych modułów nieprzeźroczystych z ogniwami polikrystalicznymi. Ogniwa w kolorze niebieskim. Na zamówienie możliwość różnego rozstawu ogniw (pokrycie 50-80% powierzchni modułu), efekt transparentności 30-40%. Cena szklenia PV z falownikiem i mocowaniem 1200-1500 €/m.
Elementy	Szklane moduły / Struktura słupowo-ryglowa
Wymiary	Grubość wg projektu / Nieprzeźroczyste moduły 537 x 1209 mm; 790 x 1593 mm / Szklane panele max. 2,0 x 3,0 m
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Konstrukcja słupowo-ryglowa, profile aluminiowe AGS 6060
Technologia PV	Moduł typu szkło-szkło / Ogniwa p-Si; sprawność 14%
Moc znamionowa	1kW/10m^2



C/5.3 1600 PowerWall®

Producent	Kawneer Co., Inc., USA
Typ produktu	System fasadowy słupowo-ryglowy / Produkt standardowy
Zastosowanie	Ściany osłonowe, atria / Konstrukcje pionowe, pochylone
Opis	Kombinacja różnego rodzaju systemów Kawneer 1600 Wall System® z ogniwami solarnymi. Produkt zaprojektowany specjalnie dla integracji fotowoltaiki ze ścianą osłonową. W przypadku struktur pochylonych (1600 Power Slope®) ogniwa zintegrowane ze szkłem 1600 Sloped Glazing. Różne możliwości kolorystyczne. Ukryte okablowania - profile konstrukcji umożliwiają przeprowadzenie instalacji elektrycznej.
Budowa elementu	Profile pionowe i poziome / Moduły PV / Uszczelki, elementy mocujące (wg projektu)
Wymiary	Wg projektu
Waga	Wg projektu
Mocowanie	Na docisk / szklenie strukturalne
Technologia PV	Szklane moduły PV, bezramowe / Ogniwa krystaliczne p-Si, cienkowarstwowe z krzemu amorficznego a-Si
Moc znamionowa	Wg projektu

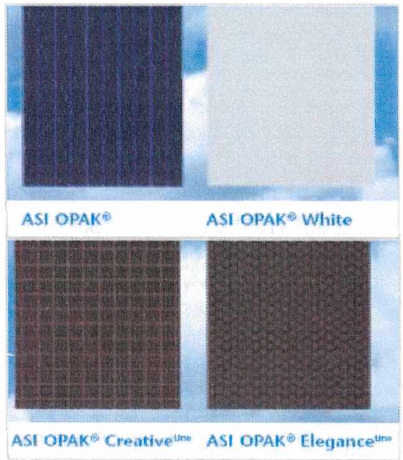




C/6. SZKŁO FOTOWOLTAICZNE

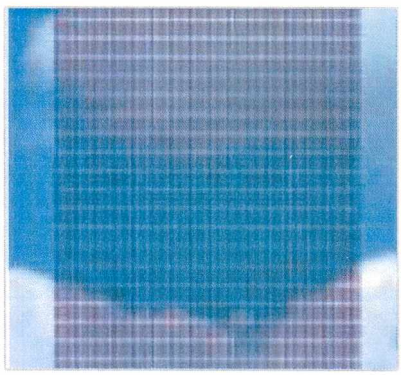
C/6.1 ASI OPAK®

Producent	RWE SCHOTT Solar
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne / produkt standardowy
Zastosowanie	Okładziny dachowe, elewacyjne / systemy przeszkleń / konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Szkło fotowoltaiczne nieprzeźroczyste o różnorodnym zastosowaniu, odpowiednie dla konstrukcji zawieszanych nad głową. Różne rodzaje szklenia: podwójne, laminaty. Do wyboru 4 wzory o innym aspekcie estetycznym: ASI OPAK®, ASI OPAK® White, ASI OPAK®Creative^{Line}, ASI OPAK® Elegance^{Line}. Dookoła margines nieaktywnej powierzchni 16 mm dla mocowania za pomocą klamr (zacisków).
Budowa elementu	Ogniwa cienkowarstwowe ASI® na szklanym podłożu, folia PVB, szkło hartowane
Wymiary	Standardowe 1000 x 600 mm / inne wymiary na zamówienie / max. 1200 x 2400 mm
Waga	14 kg
Mocowanie	Jak zwykłe szkło
Technologia PV	Moduł typu szkło-szkło ASIOPAK-30-SG, bezramowy / cienkowarstwowe ogniwa tandemowe a-Si na szklanym podłożu
Moc znamionowa	~53 Wp/m^2



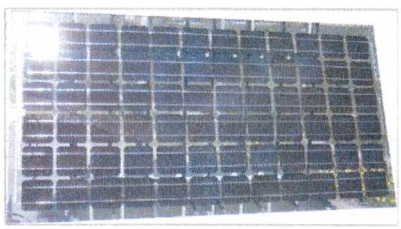
C/6.2 ASI THRU®

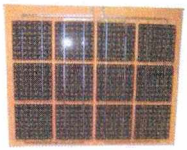
Producent	RWE SCHOTT Solar
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne / produkt standardowy
Zastosowanie	Systemy przeszkleń różnego typu
Opis	Szkło fotowoltaiczne częściowo transparentne. Poziom transmisji 10%. Różne rodzaje szklenia: podwójne, laminaty. Dookoła margines nieaktywnej powierzchni 16 mm dla mocowania za pomocą klamr (zacisków).
Budowa elementu	Ogniwa cienkowarstwowe ASI® na szklanym podłożu, folia PVB, szkło hartowane
Wymiary	Standardowo 1000 x 600 mm / inne wymiary na zamówienie / max. 1200 x 2400 mm
Waga	14 kg
Mocowanie	Jak zwykłe szkło.
Technologia PV	Moduł typu szkło-szkło ASITHRU-30-SG, bezramowy / cienkowarstwowe ogniwa tandemowe a-Si na szklanym podłożu
Moc znamionowa	~42 Wp/m^2

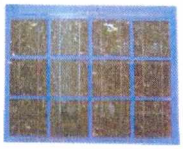


C/6.3 VIDURSOLAR

Producent	VIDURSOLAR S.L.
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne
Zastosowanie	Systemy fasad szklanych / Szklane konstrukcje innego typu
Opis	Szklany moduł dla zastosowań architektonicznych. Elementy wykonywane na zamówienie. Laminowane, bezpieczne szkło fotowoltaiczne, częściowo transparentne. Rozstaw ogniw wg potrzeb. Poziom transmisji światła w zależności od rozstawu ogniw. Wymiary i kształty elementów na zamówienie (np. trójkątne, okrągłe). Puszka łączeniowa wspólna na tylnej stronie modułu lub dwie boczne, 3 diody bocznikujące. Tylne szkło z możliwością nadruku, koloru. Ogniwa do wyboru – konwencjonalne, kolorowe, częściowo transparentne.
Budowa elementu	Szkło białe 5mm, PVB 0,76 mm, ogniwa, PVB 0,76 mm, szkło białe lub kolorowe 5 mm
Wymiary	Moduł max. 1,6 x 2,6 m / grubość szkła 5-10 mm
Waga	W zależności od budowy elementu
Mocowanie	Konwencjonalne systemy fasad szklanych (np. punktowe, „spider")
Technologia PV	Moduł typu szkło-szkło / Ogniwa m-Si 156 x 156 mm / Ogniwa p-Si
Moc znamionowa	Wg projektu

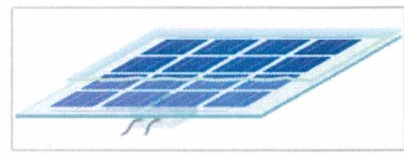


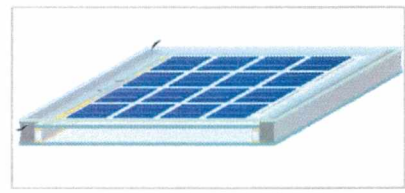




C/6.4 SGG PROSOL

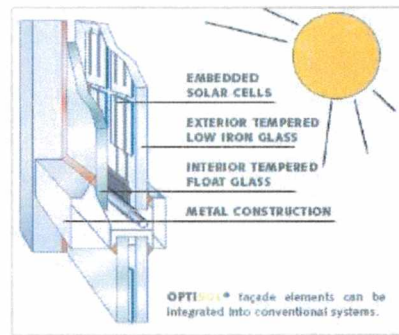
Producent	Saint-Gobain Glass
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne / Produkt na zamówienie
Zastosowanie	Szklenie fasadowe różnego typu / Okładziny wentylowane
Opis	Innowacyjny szklany materiał solarny wysokiej jakości. Zewnętrzna tafla szkła (SGG DIAMANT) zapewnia wysoki poziom transmisji światła słonecznego. Możliwość wyboru rodzaju szkła od strony wewnętrznej: tj. SGG EMALIT, SGG SERALIT (dla uzyskania koloru lub wzoru), szkło laminowane, podwójne szklenie, ochronne itd. Dostępne różne kolory ogniw krystalicznych: m-Si czarne, niebieskie, srebrne; p-Si jasnoniebieskie, szare, brązowe, srebrne. Układ ogniw w zależności od projektu pionowy lub poziomy, w rozstawie min. 2 mm. Zróżnicowane kształty modułów: prostokątne, trapezoidalne, trójkątne. Okablowanie: puszka łączeniowa z tyłu modułu lub wychodzące z brzegu.
Budowa elementu	Szkło SGG PLANIDUR 4 mm, ogniwa osadzone w żywicy 2 mm, szkło SGG PLANIDUR 4mm
Wymiary	Max. 2000 x 3210 mm (element). Grubość ~ 10 mm.
Waga	Zależnie od budowy elementu
Mocowanie	Jak zwykłe szkło, z uwzględnieniem konieczności ochrony ogniw solarnych. Możliwość wiercenia otworów montażowych.
Technologia PV	Szklany moduł PV typu szkło-szkło / Ogniwa c-Si: Siemens, ASE, Kyocera, Photowatt.
Moc znamionowa	Zależnie od budowy elementu





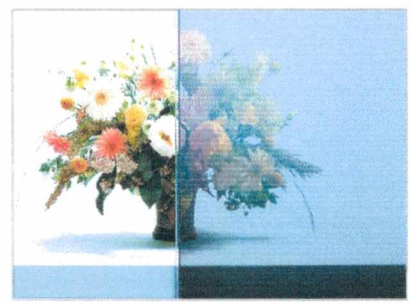
C/6.5 OPTISOL®

Producent	Scheuten Solar
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne / Produkt na zamówienie
Zastosowanie	Szklenie fasadowe różnego typu / Okładziny wentylowane
Opis	Możliwość wyboru rodzaju szkła i typu ogniw solarnych pozwala na uzyskanie bardzo różnorodnych efektów końcowych.
Budowa elementu	Ogniwa solarne (wg projektu) osadzone między taflami szkła (wg projektu) w specjalnej transparentnej żywicy.
Wymiary	Max. 2000 x 3000 mm
Waga	Zależnie od budowy elementu
Mocowanie	Jak zwykłe szkło, z uwzględnieniem konieczności ochrony ogniw solarnych.
Technologia PV	Szklany moduł PV typu szkło-szkło / Ogniwa solarne różnych producentów.
Moc znamionowa	Zależnie od budowy elementu



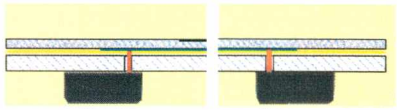
C/6.6 SeeThru (Photovol™ Glass)

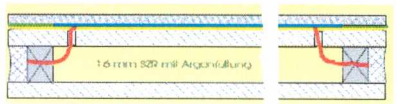
Producent	MSK Corporation
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne semi-transparentne / Produkt standardowy, lub na zamówienie wg projektu
Zastosowanie	Systemy przeszkleń różnego typu
Opis	Produkt opracowany we współpracy z architektami dla wysokiej jakości estetycznej produktu i różnorodności zastosowań w budownictwie. Transmisja światła widzialnego: 10,62 %. Odbicie światła widzialnego 9,74 %. Całkowita transmisja energii solarnej: 10,16 %, odbicie: 20 %, absorpcja 70,15 %. Unikalny system połączeń elektrycznych na krawędziach – okablowane ukryte. 20 lat gwarancji. Możliwość integracji ze szkłem izolacyjnym.
Budowa elementu	Ogniwa cienkowarstwowe na szklanym podłożu (seria cienkich linii wzornikowana laserem) / Folia / Szkło hartowane
Wymiary	980 (l) x 950 (s) mm / Grubość: 10,5 mm szkło float, 13,5 mm szkło hartowane
Waga	23 kg (szkło float grub.10,5 mm), 30 kg (szkło hartowane grub.13,5 mm)
Mocowanie	Jak zwykłe szkło
Technologia PV	Szklany moduł cienkowarstwowy / Ogniwa a-Si na szklanym podłożu
Moc znamionowa	Standardowo: 44 Wp/m^2 (transparentność 10 %), 50 Wp (transparentność 5 %), 55 Wp (transparentność 1%).



C/6.7 Voltarlux® ASI-Standard

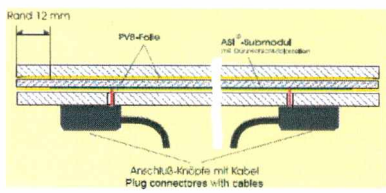
Producent	Glaswerke Arnold GmbH & Co.KG
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne / Nieprzeźroczyste (N), semi-transparentne (T)
Zastosowanie	Systemy szklane różnego typu / Konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Szklany moduł PV do zastosowań budowlanych. Dostępny w postaci N-MONO (wersja nieprzeźroczysta), T-MONO (wersja półtransparentna), T-ISO (wersja półtransparentna). W zależności od wersji współczynnik U wynosi: 1,2 W/m^{2}K (ISO) i 5 W/m^{2}K (MONO). Całkowita transmisja energii g: 23% (N-MONO), 27% (T-MONO), 10% (T-ISO). Transparentność (T) 10 %. Kolor ciemnobrązowy, powierzchnia jednolita (N) lub teksturyzowana (T). Dookoła ogniw margines nieaktywnej powierzchni 2 mm.
Budowa elementu	Ogniwa cienkowarstwowe na szklanym podłożu / folia PVB / szkło w zależności od typu: N-MONO, T-MONO - szkło pojedyncze, T-ISO - tylna obudowa ze szkła izolacyjnego (16 mm przestrzeń międzyszybowa wypełniona argonem).
Wymiary	600 x 1000 mm / grubość 10 mm (MONO), 35 mm (ISO)
Waga	14 kg/element (MONO), 28 kg/element (ISO)
Mocowanie	Jak zwykłe szkło. Unikać zacienienia elementami konstrukcji.
Technologia PV	Szklany moduł cienkowarstwowy / Ogniwa tandemowe a-Si (RWE SCHOTT Solar) na szklanym podłożu
Moc znamionowa	27 Wp (T, ISO), 32 Wp (N)

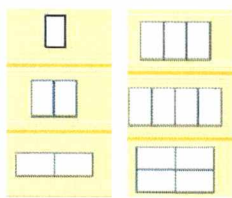




C/6.8 Voltarlux® ASI-Mono

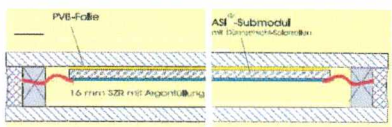
Producent	Glaswerke Arnold GmbH & Co.KG
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne, laminowane
Zastosowanie	Systemy szklane różnego typu / Pionowe i pochyłe, zawieszone nad głową
Opis	Szklany laminat w postaci N-MONO (wersja nieprzeźroczysta) lub T-MONO (wersja półtransparentna). Całkowita transmisja energii g=27 %. Transparentność (T) 10 %. Kolor ciemnobrązowy, powierzchnia jednolita (N) lub teksturyzowana (T). Dookoła ogniw margines 12-25 mm. Możliwość łączenia w większe elementy.
Budowa elementu	Szkło TVG 6 mm / folia PVB / bazowy moduł cienkowarstwowy (ogniwa a-Si osadzone na szkle) 3 mm / folia PVB/ szkło TVG 6 mm
Wymiary	W zależności od ilości elementów: 1 elem. 627x1027 mm; 2 elem. 1204x1027 mm, 2004x627 mm; 3 elem. 1781x1027 mm; 4 elem. 2358x1027 mm, 2004x1204 mm. Inne na zamówienie. Wymiary maksymalne 2450 x 1150 mm lub 2400 x 1230 mm.
Waga	1 elem. 25 kg, 4 elem. 95 kg
Mocowanie	Jak zwykłe szkło. Unikać zacienienia elementami konstrukcji.
Technologia PV	Szklany moduł cienkowarstwowy / Ogniwa a-Si tandemowe firmy RWE SCHOTT Solar osadzone na szkle (wstępny moduł)
Moc znamionowa	N-Mono: 28-116 Wp, T-Mono 24-100 Wp

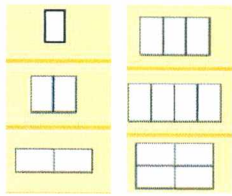




C/6.9 Voltarlux® ASI-T-ISO-E

Producent	Glaswerke Arnold GmbH & Co.KG
Typ produktu	Szkło fotowoltaiczne, izolacyjne
Zastosowanie	Systemy szklane różnego typu / Pionowe i pochyłe, zawieszone nad głową
Opis	Szkło izolacyjne z ogniwami cienkowarstwowymi o charakterze półtransparentnym. Całkowita transmisja energii g=23 %. Transparentność 10 % (na zamówienie 15 %). Kolor ciemnobrązowy, powierzchnia teksturyzowana. Może być w wersji standardowej lub laminowanej. W razie potrzeby marginesy od powierzchni aktywnej >3mm. Możliwość łączenia w większe elementy.
Budowa elementu	Szkło TVG 6mm / folia PVB / bazowy moduł cienkowarstwowy (ogniwa a-Si osadzone na szkle) 3 mm / przestrzeń międzyszybowa 16 mm / szkło Float
Wymiary	W zależności od ilości elementów: 1 elem. 1024x624 mm; 2 elem. 1201x1024 mm, 2001x624 mm; 3 elem. 1777x1024 mm; 4 elem. 2358x1027 mm, 2001x1201 mm. Inne na zamówienie. Wymiary maksymalne 2450 x 1150 mm lub 2400 x 1230 mm. Grubość 32 mm.
Waga	1 elem. 25 kg, 4 elem. 92 kg.
Mocowanie	Jak zwykłe szkło. Unikać zacienienia elementami konstrukcji.
Technologia PV	Szklany moduł cienkowarstwowy / Ogniwa a-Si tandemowe firmy RWE SCHOTT Solar osadzone na szkle (wstępny moduł)
Moc znamionowa	25 Wp (1 elem.) – 100 Wp (4 elem.)

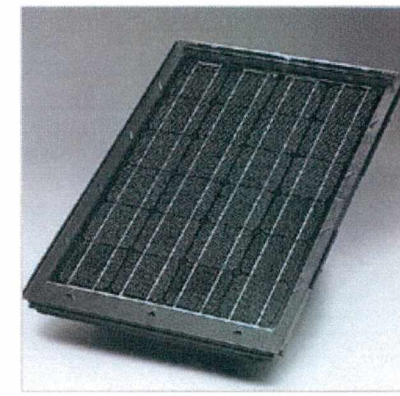




C/7. PŁYTKI, DACHÓWKI, GONTY

C/7.1 Solardachziegel SDZ 36-10

Producent	Newtec Platon AG, Szwajcaria
Typ produktu	Plastikowa płytka solarna
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / Nachylenie >15° / Konstrukcje wentylowane
Opis	Element składa się ze szkła akrylicznego PMMA z recyklingu ze zintegrowanym laminatem PV różnych producentów. Jeden element zastępuje 4 zwykłe dachówki. System dostarczany w pakiecie 1 kWp (30 elementów dachówek, okablowanie, puszka łączeniowa, inwertor). 10 lat gwarancji. Pokrycie wodoszczelne. Tylna wentylacja modułów.
Budowa elementu	Plastikowa ramka ze szkła akrylicznego PMMA / Laminat PV / Szkło hartowane minimalizujące odbicie (frontowa warstwa)
Wymiary	761 x 505 x 51 mm
Waga	5,0 kg/moduł
Mocowanie	Na zakładkę 56 mm, bezpośrednio na łatach drewnianych w rozstawie 353 mm.
Technologia PV	Laminat PV / Ogniwa krystaliczne m-Si, p-Si, a-Si różnych producentów
Moc znamionowa	36 Wp/moduł



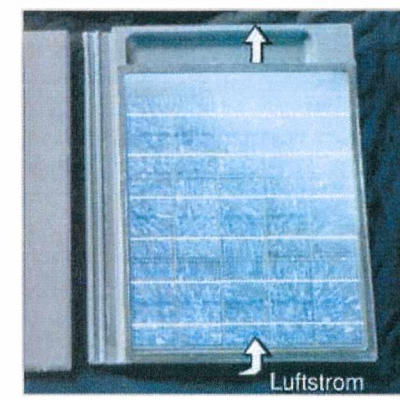
C/7.2 Sunny Tile

Producent	Star Unity AG, Szwajcaria
Typ produktu	Dachówka solarna / Produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe / Nachylenie 20°-50°
Opis	Laminat PV z ogniw krystalicznych lub cienkowarstwowy trwale zintegrowany ze zmodyfikowaną dachówką doświetlającą firmy Klöber. Wyprofilowana forma. Szkło akrylicznе kolorowane na brązowo, w miejscu modułu transparentne. Profilowanie zapewnia szybki spływ wody opadowej.
Budowa elementu	Dachówka ze szkła akrylicznego PMMA / laminat PV
Wymiary	440 x 260 x 35 mm
Waga	a-Si: 1,1 kg; m-Si: 0,9 kg
Mocowanie	Na zakładkę, tak samo jak konwencjonalne dachówki. Rozstaw łat: 355 mm.
Technologia PV	Laminat PV / Ogniwa cienkowarstwowe a-Si, monokrystaliczne m-Si zalaminowane żywicą (27 ogniw/moduł)
Moc znamionowa	a-Si: 2 W, m-Si: 6 W



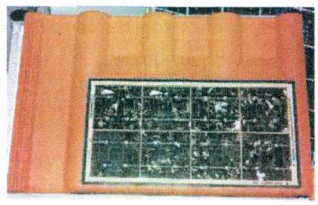
C/7.3 Sunconcrete

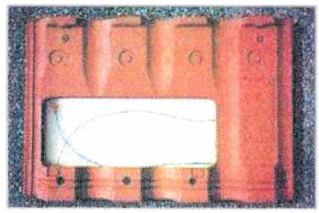
Producent	bmc Solar Industries GmbH, Niemcy
Typ produktu	Solarna dachówka cementowa / Produkt w fazie badawczej
Zastosowanie	Pokrycia dachowe / Nachylone
Opis	Prototyp. Koloryzowana płaska dachówka betonowa dostosowana do łatwej integracji z płaskim modułem PV. W górnej części elementu nad modułem niecka dla wentylacji modułu (wlot i wylot powietrza od dołu i góry modułu). Okablowanie ukryte, chronione od promieni UV.
Budowa elementu	Dachówka betonowa / Moduł PV
Wymiary	B.d.
Waga	B.d.
Mocowanie	Jak zwykłe dachówki cementowe
Technologia PV	Ogniwa krystaliczne c-Si
Moc znamionowa	B.d.



C/7.4 SED Dachziegel

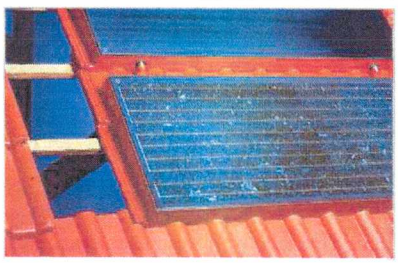
Producent	SED
Typ produktu	Dachówka solarna
Zastosowanie	Pokrycia dachów spadzistych
Opis	System plastikowych (plastik odzyskany po recyklingu) dachówek solarnych opracowany dla różnych zastosowań np. typu Heidelberger. Z plastikową bazą trwale zintegrowany mniejszy moduł PV z 8 ogniwami krystalicznymi. Jedna dachówka SED zastępuje dwie konwencjonalne. Charakterystyczny otwór w tylnej części zapewnia wentylację modułu, ułatwia poprowadzenie okablowania.
Budowa elementu	Plastikowa płytka bazowa (z tylnym otworem) / Szklany moduł PV
Wymiary	B.d.
Waga	2/3 wagi konwencjonalnej dachówki
Mocowanie	Jak zwykle dachówki
Technologia PV	Moduł PV typu szkło-szkło / Ogniwa krystaliczne p-Si (8 ogniw/moduł)
Moc znamionowa	10,5 Wp

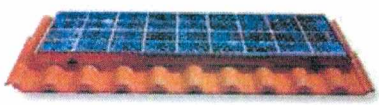




C/7.5 Cuadro Solardachsystem

Producent	Aligator Sunshine Technologies, Shell Solar
Typ produktu	Dachowy system solarny
Zastosowanie	Pokrycia dachowe / Nachylenie min. 20°
Opis	System solarny dla kolektorów i modułów PV, może być łączony z różnymi typami konwencjonalnych dachówek. Jeden element zastępuje 10 dachówek (dwa rzędy). 30 lat gwarancji. Moduł osadzony w ramie z lekkiego tworzywa sztucznego Cigelit, którą można poddać recyklingowi. W ofercie moduł wraz z inwertorem Sunnyboy (1-5 kWp).
Budowa elementu	Rama z materiału syntetycznego / Szklany moduł PV
Wymiary	1530 x 760 mm
Waga	16 kg
Mocowanie	Jak konwencjonalne dachówki, na zakładkę
Technologia PV	Moduł PV: laminat szkło-szkło firmy Shell / Ogniwa krystaliczne p-Si
Moc znamionowa	83 Wp (element)





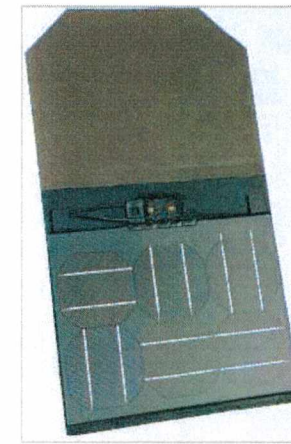
C/7.6 Braas Solarstrom-System PV700

Producent	Lafarge Braas GmbH, Niemcy
Typ produktu	Płytka solarna / Produkt wycofany z rynku
Zastosowanie	Pokrycia dachowe / Nachylenie 10°-30° / Konstrukcje wentylowane
Opis	System płytek solarnych do kombinacji z konwencjonalnym pokryciem dachówkami Bras. Specjalne wyprofilowanie plastikowe kasety dla osadzenia modułu zapewniają wodoszczelność i tylną wentylację. Jedna płytka zastępuje 4 konwencjonalne dachówki Braas. Różne rozmiary elementów.
Budowa elementu	Plastikowa kaseta modułu / Moduł PV
Wymiary	Moduł PV: 1194 x 380 x 5 mm
Waga	Moduł PV: 5,0 kg
Mocowanie	Do konstrukcji dachu, rozstaw łat 310-345 mm. 2 stalowe profile nośne do umieszczenia kasety modułu na łatach drewnianych. System specjalnie zaprojektowany dla redukcji czasu montażu i redukcji kosztów. Każdy moduł mocowany dwoma klamrami ze stali nierdzewnej przykręconymi do profili.
Technologia PV	Laminat PV typu szkło-szkło, SRT 35 / Ogniwa krystaliczne m-Si (18 ogniw w module) Moduł PV typu szkło-folia / Ogniwa krystaliczne p-Si
Moc znamionowa	35 Wp/moduł



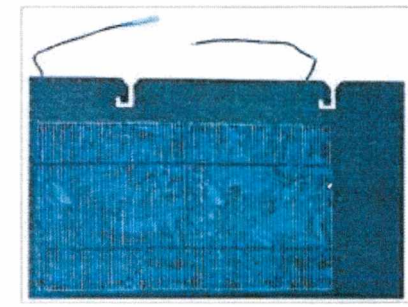


C/7.7 Sunslates™



Producent	Atlantis Solar Systeme AG
Typ produktu	Solarna płytka włóknocementowa / Produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, okładziny elewacyjne / Pionowe, nachylone 18°-90°
Opis	Płaskie elementy w postaci małych modułów fotowoltaicznych zintegrowanych z płytkami z włóknocementu zaprojektowane do układania na zakładkę. Mogą być łatwo komponowane z elementami standardowymi. Zintegrowany system wtyczek (plug-in) pozwala na łatwe połączenie elektryczne elementów. Recykling w 100 %.
Budowa elementu	Płytka włóknistocementowa / Naklejony moduł PV (szkło/EVA/Tedlar)
Wymiary	Płytka: 400 x 720 x 6 mm (~0,3 m^2), aktywna powierzchnia modułu: 400 x 280 x 6 mm (~0,11 m^2)
Waga	4,3 kg (element)
Mocowanie	Każda płytka indywidualnie mocowana do dachu prostym zaciskiem podobnie jak standardowe płytki. Zaciski mocowane bezpośrednio do łat.
Technologia PV	Laminat PV typu szkło-folia / Ogniwa krystaliczne c- Si lub cienkowarstwowe a-Si.
Moc znamionowa	a-Si: 37-123 W/m^2, c-Si: 90-123 W/m^2

C/7.8 bmc sunslates



Producent	bmc Solar Industries GmbH, Niemcy
Typ produktu	Solarna płytka włóknocementowa / Produkt testowany
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, okładziny elewacyjne
Opis	Płaska płytka zintegrowana z modułem PV dobrze integrująca się z konwencjonalnym pokryciem z płytek włóknocementowych. Elementy dostępne w 3 rozmiarach. Wada: małe elementy wymagające dużej ilości połączeń. Kolory ogniw: ciemnoniebieski, czarny.
Budowa elementu	Płytka włóknocementowa / Szklany moduł PV
Wymiary	600 x 300 mm; 400 x 200 mm; 300 x 200 mm
Waga	B.d.
Mocowanie	Na zakładkę, przykręcane bezpośrednio do konstrukcji.
Technologia PV	Szklany moduł PV / Ogniwa krystaliczne c-Si
Moc znamionowa	B.d.

C/7.9 UNI-SOLAR® Single SHR-17

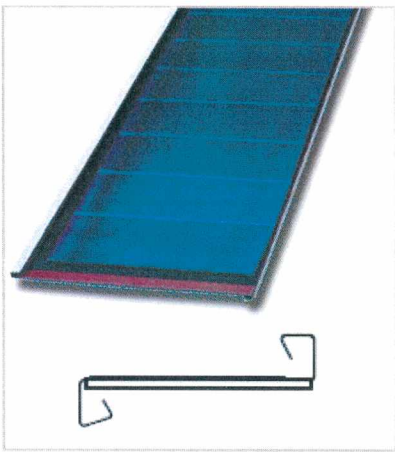


Producent	Uni-Solar, USA
Typ produktu	Gont solarny
Zastosowanie	Pokrycia dachowe / Nachylenie 15°-60°
Opis	Cienki, giętki laminat wykorzystujący technologię ogniw trójzłączowych United Solar Ovonic zastępujący tradycyjny gont. 20 lat gwarancji na produkcję energii. Diody bypassowe dla tolerancji zacieniania. Estetyczna i strukturalna integracja z płaszczyzną dachu. Pokrycie wodoszczelne. Charakterystyczny kolorystyczny efekt tęczowy.
Budowa elementu	Ogniwa solarne osadzone na taśmie stalowej, całość zakapsułowana polimerami
Wymiary	2195 x 305 x 4 mm
Waga	2,20 kg
Mocowanie	Bezpośrednio gwoździowane do struktury dachu. Pomiędzy drewnianymi elementami a gontem izolacja ogniowa (np. Elk® Versa Shield).
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy na podłożu metalowym / Ogniwa trójzłączowe a-Si (United Solar Ovonic)
Moc znamionowa	17 Wp / moduł

C/8. BLACHY SOLARNE

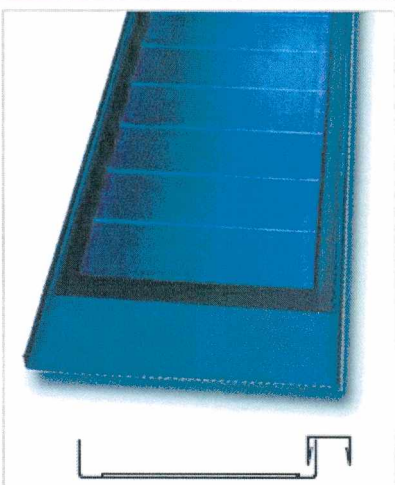
C/8.1 ThyssenKrupp-Solartec® style (H)

Producent	ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme, Niemcy
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / różne nachylenie
Opis	Kombinacja arkuszy blachy stalowej i giętkiej prefabrykowanej folii solarnej. Produkt dostępny jako kompletny system (moduły, okablowanie, falownik, listwy ochronne). Standardowy kolor elementów stalowych RAL 7016 lub 3009, inne kolory na zamówienie. Materiał odporny na zniszczenie i promienie UV, solidny, lekki. Gwarancja 20 lat. Wysokie zyski z energii słonecznej niezależnie od nachylenia względem słońca.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na arkusz blachy stalowej
Wymiary	2950 x 415 mm
Waga	8,75 kg/m^2
Mocowanie	Układ elementów horyzontalny. Mocowanie bezpośrednio do tradycyjnej podkonstrukcji, puszka łączeniowa z tyłu (w przestrzeni pomiędzy łatami podkonstrukcji).
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	64 Wp



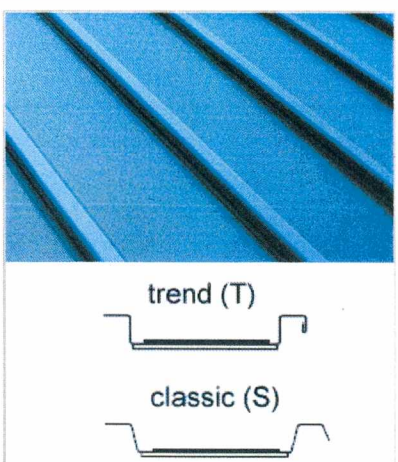
C/8.2 ThyssenKrupp-Solartec® design (L)

Producent	ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme, Niemcy
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / różne nachylenie
Opis	Kombinacja arkuszy blachy stalowej i giętkiej prefabrykowanej folii solarnej. Produkt dostępny jako kompletny system (moduły, okablowanie, falownik, listwy ochronne). Standardowy kolor elementów stalowych RAL 7016 lub 3009, inne kolory na zamówienie. Materiał odporny na zniszczenie i promienie UV, solidny, lekki. Gwarancja 20 lat. Wysokie zyski z energii słonecznej niezależnie od nachylenia względem słońca.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na arkusz blachy stalowej
Wymiary	3170 (5800) x 450 mm
Waga	8,57 kg/m^2
Mocowanie	Układ elementów wertykalny, na łączeniach listwy maskujące. Mocowanie bezpośrednio do podkonstrukcji, rozstaw łat max. 40 cm. Puszka łączeniowa z tyłu (w przestrzeni pomiędzy łatami podkonstrukcji).
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	64 Wp, 128 Wp



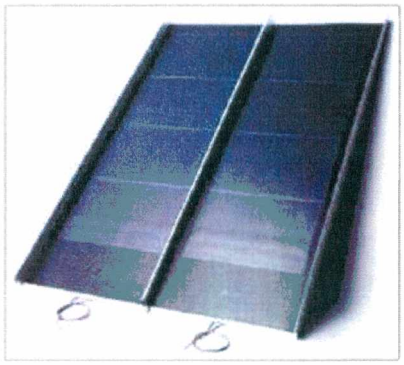
C/8.3 ThyssenKrupp-Solartec® trend (T), classic (S)

Producent	ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme, Niemcy
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / różne nachylenie
Opis	Kombinacja arkuszy blachy stalowej i giętkiej prefabrykowanej folii solarnej. Produkt dostępny jako kompletny system (moduły, okablowanie, falownik, listwy ochronne). Standardowy kolor elementów stalowych RAL 7016 lub 3009, inne kolory na zamówienie. Materiał odporny na zniszczenie i promienie UV, solidny, lekki. Gwarancja 20 lat. Wysokie zyski z energii słonecznej niezależnie od nachylenia względem słońca.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na arkusz blachy stalowej
Wymiary	3170 (5800) x 455 mm (T); 3170 (5800) x 474 mm (S)
Waga	8,57 kg/m^2 (T), 8,46 kg/m^2 (S)
Mocowanie	Układ elementów wertykalny, na zakładkę. Mocowanie tak samo jak blacha trapezowa, bezpośrednio do podkonstrukcji, rozstaw łat max. 40 cm. Puszka łączeniowa z tyłu (w przestrzeni pomiędzy łatami podkonstrukcji).
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	64 Wp, 128 Wp



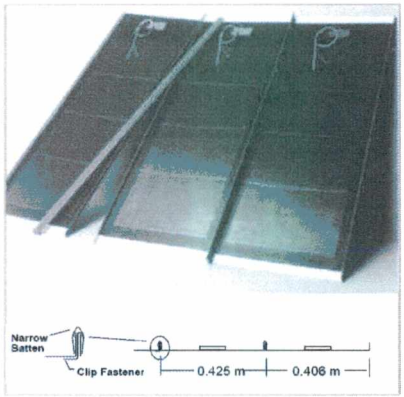
C/8.4 Structural Standing Seam SSR-64, SSR-128

Producent	Uni-Solar® (United Solar Ovonic LLC), USA
Typ produktu	Blacha solarna
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie 3-90^0
Opis	Kombinacja arkuszy blachy stalowej i giętkiej prefabrykowanej folii solarnej. Materiał odporny na zniszczenie, lekki. Gwarancja 20 lat. Wysokie zyski z energii słonecznej niezależnie od nachylenia względem słońca.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na arkusz blachy stalowej
Wymiary	Na zamówienie, długość do 25 m
Waga	B.d.
Mocowanie	Bezpośrednio do podkonstrukcji, arkusze blachy układane na rąbek stojący. Puszka łączeniowa mocowana od tyłu.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	64 Wp, 128 Wp



C/8.5 Architectural Standing Seam ASR-64, ASR-128

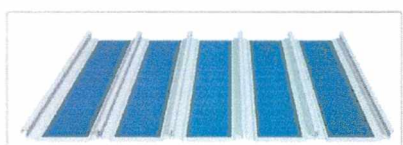
Producent	Uni-Solar® (United Solar Ovonic LLC), USA
Typ produktu	Blacha solarna
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie 14^0-90^0
Opis	Kombinacja arkuszy blachy stalowej i giętkiej prefabrykowanej folii solarnej. Materiał odporny na zniszczenie, lekki. Gwarancja 20 lat. Wysokie zyski z energii słonecznej niezależnie od nachylenia względem słońca.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na arkusz blachy stalowej
Wymiary	Na zamówienie, długość do 25 m
Waga	B.d.
Mocowanie	Bezpośrednio do podkonstrukcji, arkusze blachy układane na rąbek stojący. Puszka łączeniowa mocowana od tyłu.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	64 Wp, 128 Wp



C/8.6 Kalzip® AluPlusSolar

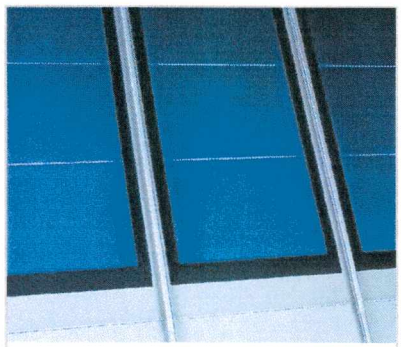
Producent	Corus Bausysteme GmbH
Typ produktu	Blacha solarna
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie 3^0-60^0 / proste, zakrzywione / konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Kompletny system BIPV w postaci laminatu fotowoltaicznego z krzemu amorficznego osadzonego trwale na aluminiowym panelu dachowym na rąbek stojący Kalzip® (AF 65/537/1,0 mm). Wielofunkcyjny materiał oferowany wraz z akcesoriami (falowniki, elementy elektryczne). Laminaty osadzane na profilowanych blachach aluminiowych prostych lub zakrzywionych (wklęsłe, wypukłe, minimalny promień zakrzywienia 15 m). Standardowy kolor RAL 9006, inne kolory blachy na zamówienie. 20 lat gwarancji. Optymalne wykorzystanie energii solarnej nawet w złych warunkach pogodowych i częściowym zacienieniu (obwód bocznikujący). Samoczyszcząca powierzchnia.
Budowa elementu	Laminat UNI-SOLAR (a-Si triple junction solar cells) naklejony na aluminiową blachę profilowaną Kalzip® (AF 65/537)
Wymiary	Szerokość 537 mm / długość 2850 mm (PVL-68), 5500 mm (PVL-136)
Waga	~7 kg/m^2
Mocowanie	Tak jak standardowa blacha aluminiowa Kalzip. Łączenia plastikowymi klipsami mocowanymi do rąbków.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	68 Wp, 136 Wp

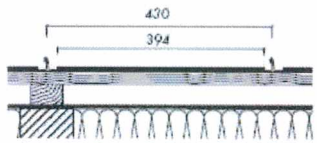




C/8.7 Rheinzink® - Solar PV z rąbkiem stojącym

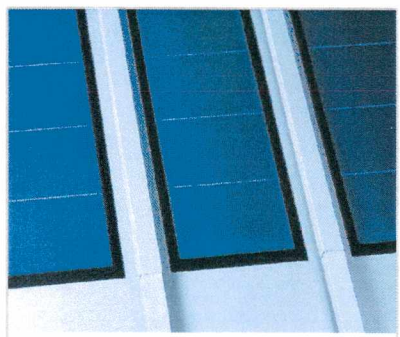
Producent	Rheinzink®
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie 10^0-75^0 / konstrukcje wentylowane, niewentylowane / proste, zakrzywione
Opis	Kombinacja pokrycia w klasycznej technice rąbkowej z cienkowarstwowym modułem PV. Materiał przyjazny środowisku, lekki, trwały, o wysokiej wytrzymałości, odporny na wilgoć i inne czynniki. Możliwość krycia powierzchni zakrzywionych - promień zakrzywienia minimum 12 m. Kolory materiału RHEINZINK® -„patyna pro szaroniebieska" / „patyna pro grafit".
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy klejony na całej powierzchni do prefabrykowanego pasa blachy cynkowo-tytanowej Rheinzink® (dodatkowo fabrycznie mocowany nitami).
Wymiary	430 x 4000 m / moduł PV: 394 x 2848 mm / grubość blachy 0,7 mm
Waga	9,65 kg/m^2
Mocowanie	Pasy układane wyłącznie pionowo (mechaniczne mocowanie nitowe z uwagi na rozszerzalność termiczną w górnym końcu pasa). Technika rąbka podwójnego (nachylenie od 3°, wysokość rąbka ok. 25 mm) lub kątowego rąbka stojącego (nachylenie od 25°). Mocowanie pośrednie łapkami (haftami) do podkonstrukcji drewnianej lub metalowej. Powierzchnie o spadku od 3° tylko przy kompletnym pok ryciu pasami długości 4000 mm.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu metalowym
Moc znamionowa	68 Wp

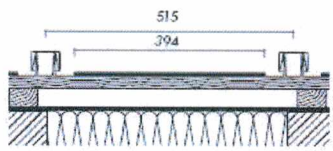




C/8.8 Rheinzink® - Solar PV z listwą Klick

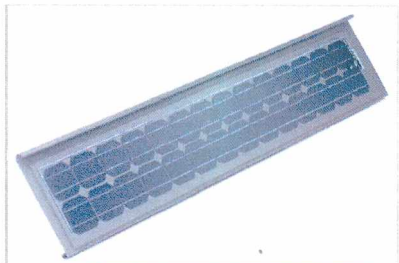
Producent	Rheinzink®
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie min. 3^0 / proste, zakrzywione / konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Kombinacja pokrycia w systemie listwowym Klick z cienkowarstwowym modułem PV. Materiał przyjazny środowisku, lekki, trwały, o wysokiej wytrzymałości, odporny na wilgoć i inne czynniki. Możliwość krycia powierzchni zakrzywionych - promień zakrzywienia minimum 12 m. Nakrywka listwy zatrzaskowej RHEINZINK® w standardowej długości 3 m. Kolory materiału RHEINZINK® -„patyna pro szaroniebieska" / „patyna pro grafit".
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy klejony na całej powierzchni do prefabrykowanego pasa blachy cynkowo-tytanowej Rheinzink® (dodatkowo fabrycznie mocowany nitami).
Wymiary	475 x 4000 mm / moduł PV: 394 x 2848 mm / grubość blachy 0,7 mm
Waga	10,23 kg/m^2
Mocowanie	Pasy układane analogicznie jak przy kryciu standardowym. Mocowanie za pomocą listew RHEINZINK® - Klick przykręcanych śrubami do podkonstrukcji drewnianej lub metalowej. Pokrywy listwowe dociskane obustronnie na listwie mocującej.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu metalowym
Moc znamionowa	68 Wp

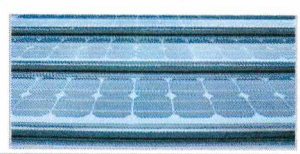




C/8.9 Quick Step - Rheinzink® Solar PV

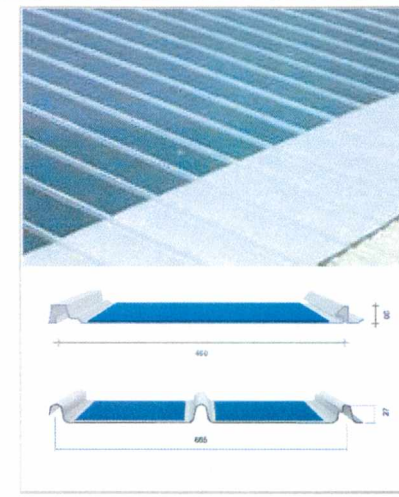
Producent	Rheinzink®
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie 10^0-75^0 / konstrukcje wentylowane
Opis	Element pokrycia z blachy cynkowo-tytanowej w systemie Quick Step trwale zintegrowany ze szklanym modułem PV za pomocą transparentnego, sprężystego materiału high-tech. Produkt spełnia specjalne wymagania przepuszczalności światła, odporności na czynniki pogodowe i starzenie się.
Budowa elementu	Szklany moduł PV klejony do metalowego profila bazowego QUICK STEP
Wymiary	Panel QUICK STEP Solar PV: 2000 x 365 mm
Waga	19,10 kg
Mocowanie	Systemowe. Kierunek układania elementów horyzontalny, od kalenicy ku okapowi.
Technologia PV	Moduł szklany / ogniwa - krzem monokrystaliczny m-Si, wym. 125 x 125 mm, łączenie szeregowe z diodami „bypass"
Moc znamionowa	63 Wp





C/8.10 Unimetal/Uni-Solar

Producent	Unimetal, Włochy
Typ produktu	Blacha solarna
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / nachylenie 5^0-60^0 / proste, zakrzywione / konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Profilowana blacha stalowa grubości 1 mm trwale zintegrowana z laminatem Uni-Solar. W ofercie dostępne 3 rodzaje modułów: FV150, FV300, FV600. Elementy produkowane jako całkowicie lub częściowo pokryte laminatem PV. Profilowanie z mocowaniem ukrytym pozwala na eliminację nieszczelności, zapewnia wysoką jakość estetyczną. Materiał trwały, odporny, można po nim chodzić. Dostępny kolor blachy RAL 7016. Możliwość krycia powierzchni zakrzywionych o promieniu min. 12 m.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na podłoże z profilowanej blachy stalowej
Wymiary	FV150: 1500/460 mm / FV300: 3000/460 mm / FV600: 6000/460 mm
Waga	13,12 kg/m^2
Mocowanie	Ukryte, analogicznie do krycia standardowymi blachami profilowanymi
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej
Moc znamionowa	FV150: 31 Wp / FV300: 68 Wp / FV600: 136 Wp



C/8.11 SOLAR FLEX

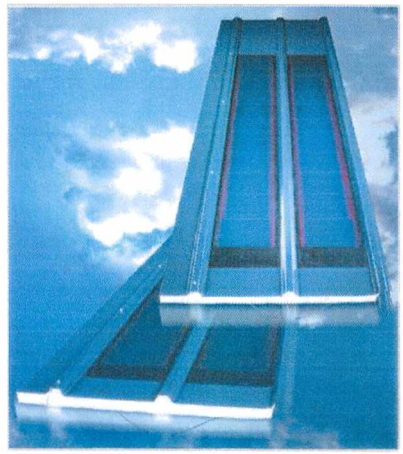
Producent	Euro Progetti Professionali (E. P. P.) s.r l., Włochy
Typ produktu	Blacha solarna / produkt standardowy
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / proste, zakrzywione / konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Giętki panel z blachy AluZink zintegrowany trwale z cienkowarstwowym laminatem Uni-Solar. Bez szkła, możliwość krycia powierzchni o różnych kształtach. Dostępne 4 wersje paneli: PVL-136 (1 x 136 Wp), PVL-272 (2 x 136 Wp), PVL-136 (2 x 68 Wp), PVL-204 Wp (3 x 68 Wp). Gwarancja 20 lat.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na podłoże z blachy AluZink
Wymiary	PVL-136: 5720 x 620 x 3 mm / PVL-272: 5720 x 950 x 3 mm PVL-136: 3200 x 950 x 3mm / PVL-204: 3200 x 950 x 3 mm
Waga	B.d.
Mocowanie	Analogicznie do krycia blachą AluZink bez modułów PV.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy - ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu metalowym
Moc znamionowa	136 Wp / 204 Wp / 272 Wp



C/9. PŁYTY WARSTWOWE

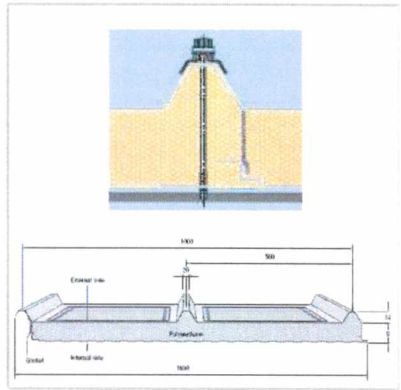
C/9.1 ThyssenKrupp-Solartec® mono

Producent	ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme, Niemcy
Typ produktu	Solarna płyta warstwowa typu sandwich
Zastosowanie	Ściany osłonowe, pokrycia dachowe / Pionowe, nachylone
Opis	Wielofunkcyjny system dachowy i fasadowy dla lekkiej obudowy aktywnie wytwarzający energię. Elementy stalowe z ociepleniem, ze zintegrowanym modułem fotowoltaicznym. Pełna oferta: od doradztwa dotyczącego zastosowań i projektowania, do elementów instalacji elektrycznej i pomocniczych. Materiał ekonomiczny, bardzo łatwy w instalacji i pewny w działaniu. Certyfikat IEC 61646. 20 lat gwarancji na sprawność. Możliwość łączenia z materiałem isodach mono®. Niskie koszty, specjalne zastosowanie w budownictwie przemysłowym. Standardowo kolor blachy stalowej RAL 7016 , RAL 3009, inne kolory na zamówienie.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy trwale zintegrowany z blachą stalową / rdzeń izolacyjny / blacha stalowa
Wymiary	Długość 3,17-24,0 m / Szerokość 1,0 m
Waga	12 – 16,30 kg/m^2
Mocowanie	Typowe, jak zwykłe płyty warstwowe, bez potrzeby konstrukcji wsporczych i dodatkowych kosztów.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy / Ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	128 – 896 Wp



C/9.2 Metenergy®

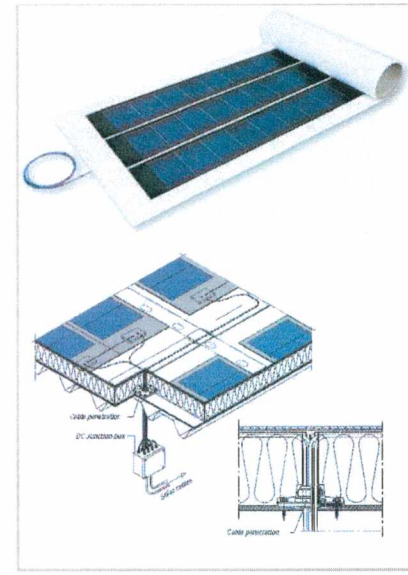
Producent	METECNO INDUSTRIE S.P.A, Włochy
Typ produktu	Solarna płyta warstwowa typu sandwich
Zastosowanie	Ściany osłonowe, pokrycia dachowe / nachylenie min. 7%
Opis	Profilowana płyta warstwowa z rdzeniem poliuretanowym trwale zintegrowana z cienkowarstwowymi modułami PV (pasy modułów klejone w płaskiej części pomiędzy profilami). Produkt dostępny w dwóch wersjach: PLV-64B i PVL-128B, w różnych kolorach. Materiał odporny na zniszczenie, trwały, można po nim chodzić, odporny na warunki atmosferyczne. 20 lat gwarancji.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy trwale zintegrowany z blachą stalową (0,8 mm) / rdzeń izolacyjny / blacha stalowa (0,4 mm)
Wymiary	Długość minim. 3150 mm.
Waga	B.d.
Mocowanie	Typowe, jak zwykłe płyty warstwowe, bez potrzeby konstrukcji wsporczych i dodatkowych kosztów.
Technologia PV	Laminat cienkowarstwowy / Ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego.
Moc znamionowa	128 Wp, 256 Wp, 384 Wp, 512 Wp



C/10. TWORZYWA SZTUCZNE

C/10.1 EVALON® V-Solar

Producent	Alwitra Flachdachsysteme GmbH, Niemcy
Typ produktu	Membrana dachowa
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / Płaskie, nachylone / Konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Wielofunkcyjny materiał uszczelniający z tworzywa sztucznego zintegrowanego z cienkowarstwowymi modułami PV. Termoplastyczny, lekki, giętki materiał dostosowuje się do kształtu konstrukcji, transportowany w rolkach. Odpowiedni szczególnie dla lekkich konstrukcji w budownictwie przemysłowym. Kolor tworzywa sztucznego biały lub szary, inne na zamówienie. 20 lat gwarancji. Certyfikaty ESTI-Ispra IEC 61646/CEC 701.
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na materiał z tworzywa sztucznego (EVA-terpolimer)
Wymiary	Szerokość 1,05 m, 1,55 m / Długość 3,36 m, 6,0 m / Grubość 2,8 mm
Waga	4,03 – 4,30 kg/m^2
Mocowanie	Mechaniczne, na zakładkę 110 mm, tak samo jak konwencjonalne jednowarstwowe folie dachowe, układane na pośrednich warstwach ognioodpornych i niepalnym podkładzie. Specjalnie izolowane okablowanie poprowadzone od tyłu modułów. Narożniki i obrzeża kryte membraną bez modułów PV.
Technologia PV	Cienkowarstwowy laminat PV / Ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego, obwód bocznikujący
Moc znamionowa	136 Wp, 204 Wp, 272 Wp, 408 Wp



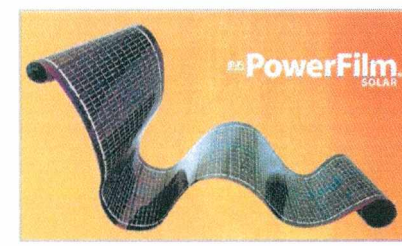
C/10.2 Solar Integrated Technologies Sarnafil

Producent	Sarnafil, Niemcy; Solar Integrated, USA
Typ produktu	Membrana dachowa
Zastosowanie	Pokrycia dachowe, elewacyjne / Płaskie, nachylone / Konstrukcje wentylowane, niewentylowane
Opis	Wielofunkcyjny, wodoszczelny materiał dachowy z tworzywa sztucznego zintegrowanego z cienkowarstwowymi modułami PV. Termoplastyczny, lekki, giętki materiał dostosowuje się do kształtu konstrukcji, transportowany w rolkach. Odpowiedni szczególnie dla lekkich konstrukcji w budownictwie przemysłowym. 20 lat gwarancji. Kolor membrany Sarnafil: beż. Dostępne produkty o rożnych parametrach SI816G1 (SR2001A), SI744G1 (SR2004A).
Budowa elementu	Laminat cienkowarstwowy naklejony na taśmę z tworzywa sztucznego
Wymiary	Długość 6096 mm (5563 mm) / Szerokość 3050 mm / Grubość 3,05 mm
Waga	67 kg (61 kg)
Mocowanie	Tak samo jak konwencjonalne, płaskie systemy membran dachowych.
Technologia PV	Cienkowarstwowy laminat PV / Ogniwa a-Si (triple-junction solar cells, Uni-Solar) na podłożu z taśmy stalowej pokrytej warstwą ochronną z materiału syntetycznego, obwód bocznikujący
Moc znamionowa	816 Wp (744 Wp) / w podwójnych panelach: 1632 Wp (1488 Wp)



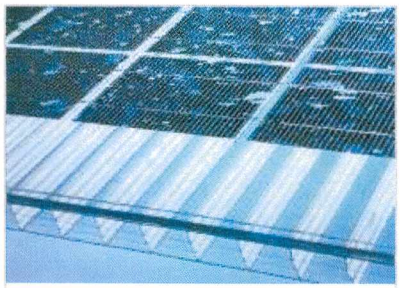
C/10.3 PowerFilm® Solar

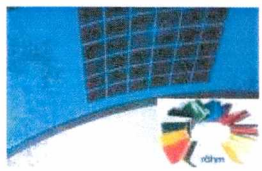
Producent	PowerFilm Solar, USA
Typ produktu	Plastik
Zastosowanie	Pokrycia każdego typu (membrany dachowe, materiały tekstylne, materiały metalowe)
Opis	Komercyjnie dostępny, wielofunkcyjny produkt BIPV. Nowa generacja giętkich, lekkich paneli solarnych monolitycznie zintegrowanych z plastikiem grubości 0,025 mm. Wyjątkowa giętkość pozwala na zastosowanie na każdej powierzchni już o promieniu zakrzywienia r=5 cm. Materiał trwały, odporny, można po nim chodzić.
Budowa elementu	Ogniwa a-Si na podłożu plastikowym
Wymiary	Szerokość 0,33 m / Długość rolki do ~700 m
Waga	Najlżejszy materiał BIPV
Mocowanie	Wg projektu, w zależności od typu integracji
Technologia PV	Cienkowarstwowy laminat PV / Ogniwa a-Si pojedyncze lub tandemowe osadzone na podłożu plastikowym
Moc znamionowa	1000 W/kg



C/10.4 Sunovation module

Producent	Sunovation GmbH, Niemcy
Typ produktu	Giętki moduł PV z tworzywa sztucznego
Zastosowanie	Powierzchnie każdego rodzaju
Opis	Idealne połączenie kształtu i funkcji. Transparentny plastik wysokiej jakości. Możliwości kolorystyczne i geometryczne w zasadzie nieograniczone. Promień zakrzywienia do r=1600 mm. Współczynnik izolacyjności cieplnej U=1,2 W/m^{2}K. Odporność na warunki atmosferyczne, UV, wodę morską. Materiał lekki, ekstremalnie trwały. Może być klejony, dziurawiony, pokryty powłokami i sitodrukiem. Totalna transmisja energii ~85 %. Moduły bezramowe. Plastik można poddać recyklingowi.
Elementy	Czysty plexiglas (front) / Ogniwa solarne w transparentnym żelu laminującym / Czysty lub kolorowy Makrolon (tył).
Wymiary	Max. 3,0 x 1,0 m / Grubość modułu 8-10 mm.
Waga	9-11 kg/m^2
Mocowanie	W zależności od potrzeb
Technologia PV	Ogniwa różnego typu. Transparentne POWER CELLS firmy Sunways.
Moc znamionowa	Wg projektu

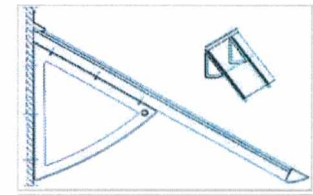




C/11. ZADASZENIA

C/11.1 TOP SKY I

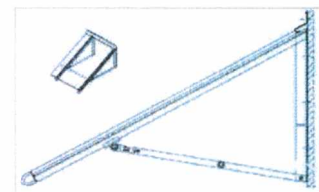
Producent	Schüco International
Typ produktu	System zadaszeń o stałym nachyleniu / Produkt standardowy
Zastosowanie	Integracja fasadowa
Opis	Ochrona przed wpływem działania warunków atmosferycznych oraz generowanie energii elektrycznej. Rozwiązanie wykorzystywane w konstrukcjach zadaszeń nad oknami i wejściami do budynków. Przeszklone zadaszenie ze szkłem bezpiecznym i ogniwami fotowoltaicznymi. Wysoki stopień efektu samoczyszczenia przy stałym kącie nachylenia 30°. Profile systemowe z aluminium odporne na korozję, łatwe w utrzymaniu czystości. Różne możliwości kreowania wyglądu fasady, szeroka paleta kolorów (RAL) i typów szkła. System odpowiedni dla fasad różnej konstrukcji (aluminiowej, stalowej, drewnianej, betonowej), kompatybilny z fasadą Schüco FW50 i SK 60V.
Wymiary	Zewnętrzna szerokość profilu od 50 mm, długość max. 1400 mm. Przeszklenie grubości 8-16 mm. Głębokość profili nośnych 45 mm.
Mocowanie	Możliwość indywidualnego montażu do elewacji budynku lub konstrukcji fasady. Rozstaw profili max. 1000 mm.
Technologia PV	Wg projektu / Moduły PV szklane





C/11.2 TOP SKY II

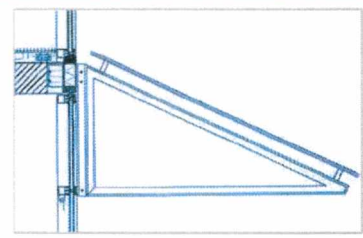
Producent	Schüco International
Typ produktu	System zadaszeń solarnych o zmiennym nachyleniu / Produkt standardowy
Zastosowanie	Integracja fasadowa
Opis	Ochrona przed wpływem działania warunków atmosferycznych oraz generowanie energii elektrycznej. Rozwiązanie wykorzystywane w konstrukcjach zadaszeń nad wejściami do budynków. Przeszklone zadaszenie ze szkłem bezpiecznym i ogniwami fotowoltaicznymi. Wysoki stopień efektu samoczyszczenia przy zmiennym kącie nachylenia od 30°-45° bez rynny dachowej lub od 5°-45° z rynną dachową. Profile systemowe z aluminium odporne na korozję, łatwe w utrzymaniu czystości. Różne możliwości kreowania wyglądu fasady, szeroka paleta kolorów (RAL) i typów szkła. System odpowiedni dla fasad różnej konstrukcji (aluminiowej, stalowej, drewnianej, betonowej), kompatybilny z fasadą Schüco FW50 i SK 60V.
Wymiary	Zewnętrzna szerokość profilu od 50 mm, długość max. 1500 mm. Przeszklenie grubości 8-16 mm. Głębokość profili nośnych 28 mm.
Mocowanie	Możliwość indywidualnego montażu do elewacji budynku lub konstrukcji fasady.
Technologia PV	Wg projektu / Moduły PV szklane





C/11.3 ADO SOLAR

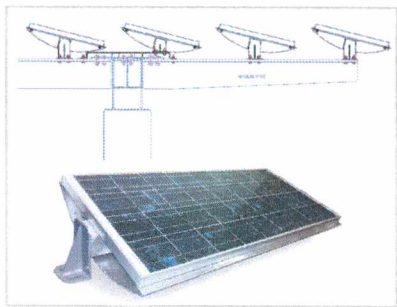
Producent	ADO Solar
Typ produktu	System zadaszeń solarnych o stałym nachyleniu
Zastosowanie	Integracja fasadowa
Opis	System zacieniający. Lekka struktura z profili aluminiowych typu "T". Odpowiednia dla róznego typu systemów fasadowych, kompatybilna z wieloma produktami ADO.
Wymiary	Długość modułów max 2200 mm, szerokość 2400 mm. Profile „T" 60 x 60 mm.
Mocowanie	Profile podkonstrukcji montowane do fasady. Moduły mocowane max co 2400 mm.
Technologia PV	B.d.



C/12. SYSTEMY PRZECIWSŁONECZNE

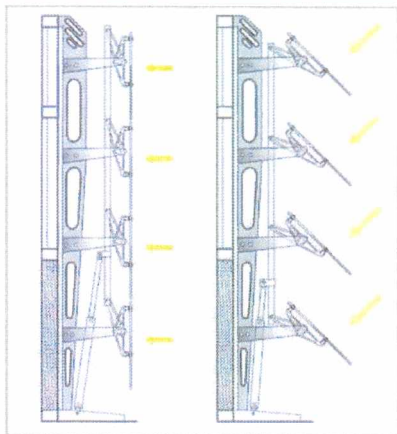
C/12.1 SOLAR LOUVRES

Producent	Solarcentury, Wileka Brytania
Typ produktu	Żaluzje solarne / Produkt standardowy
Zastosowanie	Zewnętrzny system kontroli nasłonecznienia / Układ wertykalny, horyzontalny
Opis	Wszechstronny system zacieniający, optymalny dla fasad południowych. Kontrola promieniowania słonecznego (zapewnienie oświetlenia światłem dziennym wnętrza przy jednoczesnej minimalizacji oślepiania i redukcji zysków energii cieplnej) oraz generacja energii elektrycznej. Układ wertykalny lub horyzontalny. Łatwa integracja z większością konwencjonalnych struktur.
Wymiary	B.d.
Mocowanie	Różnego typu wsporniki.
Technologia PV	B.d.



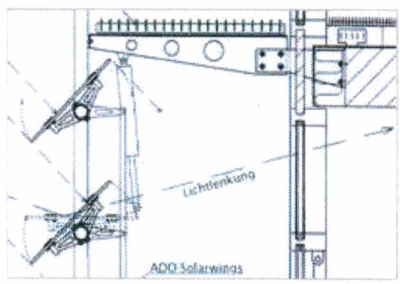
C/12.2 SHADOVOLTAIC

Producent	Colt International Limited
Typ produktu	Żaluzje solarne sterowane / Produkt standardowy, na zamówienie
Zastosowanie	Zewnętrzny system kontroli nasłonecznienia / Układ wertykalny, horyzontalny
Opis	System kontroli nasłonecznienia za pomocą zewnętrznych żaluzji szklanych. Sterowanie elektryczne za pomocą siłowników liniowych. Odpowiedni dla małych instalacji nad oknami i dużych powierzchni fasad. Żaluzje dostępne w różnych kolorach, wykończeniach powierzchni oraz powłokach. Urządzenia wykonane ze stopów aluminium i stali nierdzewnej z materiałów ponownie przetworzonych. Pióra żaluzji z hartowanego szkła. Ogniwa fotowoltaiczne laminowane na spodniej (wewnętrznej) stronie lub pomiędzy dwoma panelami szklanymi.
Wymiary	Grubość piór żaluzji szklanych 8-16 mm. Możliwość dopasowania parametrów wg projektu.
Mocowanie	System 1: Pomiędzy słupkami rozpięte aluminiowe, skręcane tuby (montowane na długości pióra) z piórami żaluzji przytwierdzonymi za pomocą systemu spider. Długość max 3000 mm, szerokość max 500 mm.
Technologia PV	Wg projektu / Moduły PV szklane



C/12.3 ADO VOLTAIC WINGS

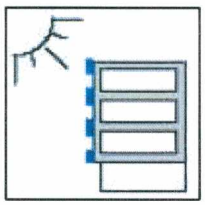
Producent	ADO Solar
Typ produktu	Żaluzje solarne sterowane
Zastosowanie	Zewnętrzny system kontroli nasłonecznienia
Opis	System ruchomych żaluzji zewnętrznych. Metalowe profile montowane do fasady w kierunku pionowym poruszają naraz kilkoma piórami żaluzji. System może podążać za ruchem Słońca. Odpowiedni dla różnych powierzchni i typu konstrukcji fasadowych (pionowych, pochylonych itd.). Profile aluminiowe.
Wymiary	Profile i moduły PV wg projektu.
Mocowanie	Lamele żaluzji mocowane do wertykalnych profili metalowych. Systemy różnego typu, wg projektu.
Technologia PV	Wg projektu / Moduły PV szklane



D.
MIEJSCE INTEGRACJI MODUŁÓW PV

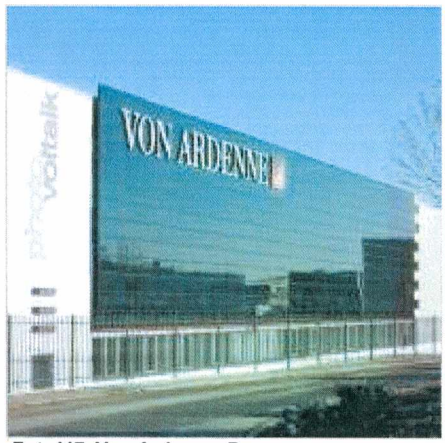
D/1. PRZEGRODY PIONOWE

1. FASADY WENTYLOWANE; SYSTEMY DODANE





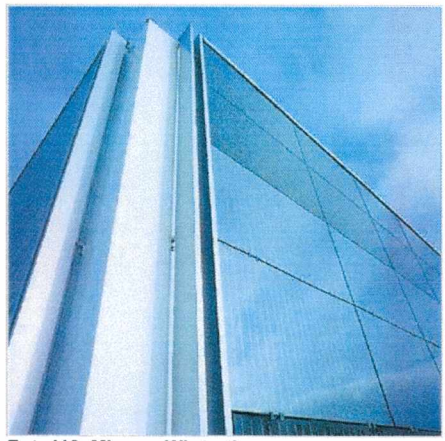
Fot. 413. Von Ardenne, Drezno.



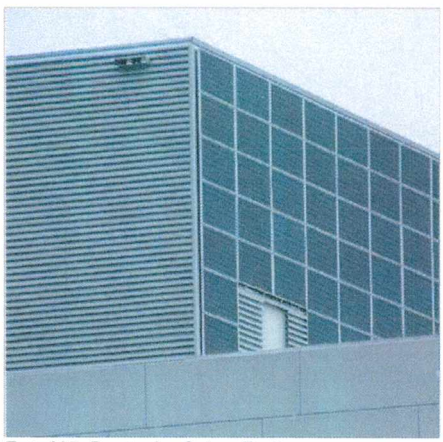
Fot. 417. Von Ardenne, Drezno.



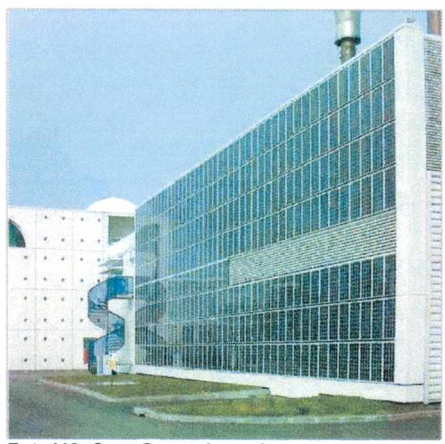
Fot. 414. Deutsche Solar, Freiberg.



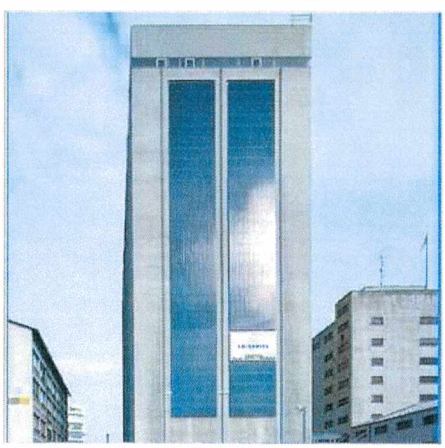
Fot. 418. Migros, Winterthur.



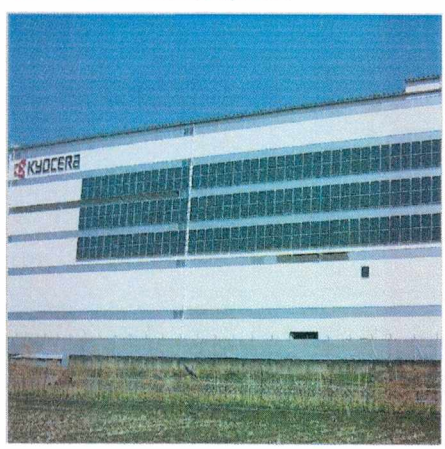
Fot. 415. Deutsche Solar, Freiberg.



Fot. 419. Crna Ouest, Loperhet.

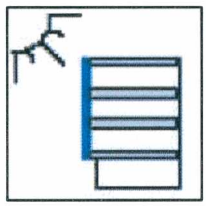


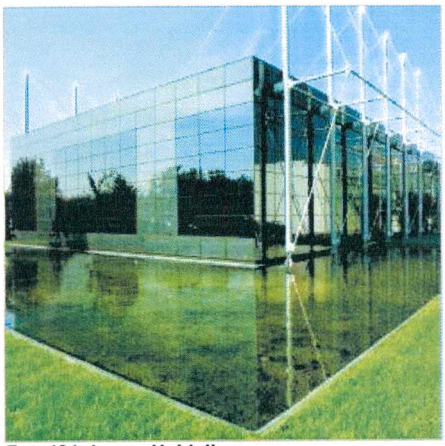
Fot. 416. Swissmill, Bazylea.



Fot. 420. Kyocera Mita Hirakata, Osaka.

D/1. PRZEGRODY PIONOWE
2. FASADY SZKLANE; SYSTEMY PROFILOWE





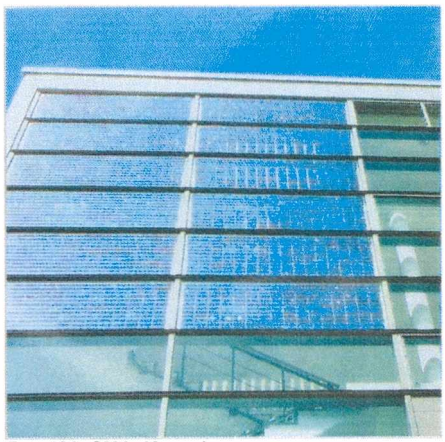
Fot. 421. Lamy, Heidelberg.



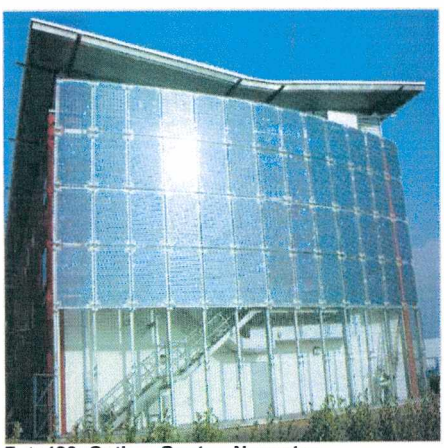
Fot. 425. Q-CELLS, Thalheim.



Fot. 422. VKW, Voralberg.



Fot. 426. SMA, Kassel.



Fot. 423. Optima Centre, Nuneaton.



Fot. 427. Oskomera, Deurne.

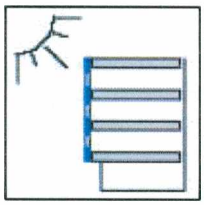


Fot. 424. Deutsche Solar, Freiberg.



Fot. 428. Acciona Solar, Sarriguren.

D/1. PRZEGRODY PIONOWE
3. PASY MIĘDZYOKIENNE

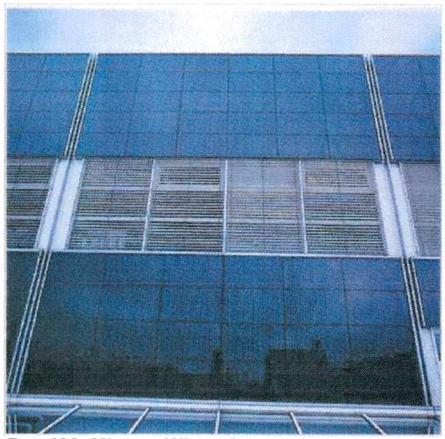




Fot. 429. EPFL-LRE, Lozanna.



Fot. 433. KACO, Neckarsulm.



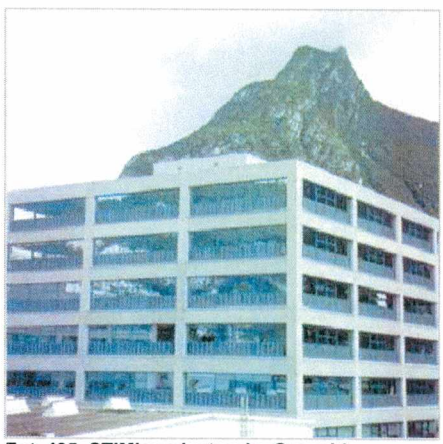
Fot. 430. Migros, Winterthur.



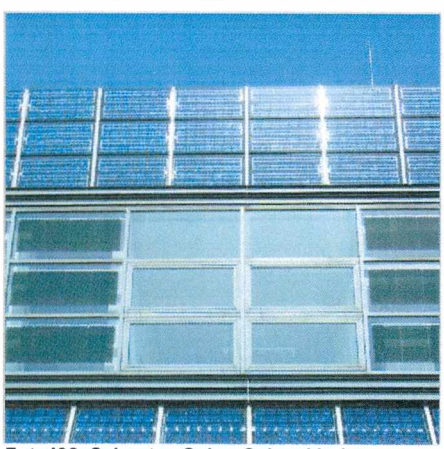
Fot. 434. Metzler, Feldkirch.



Fot. 431. ThyssenKrupp, Gelsenkirchen.



Fot. 435. STIMicroelectronic, Grenoble.

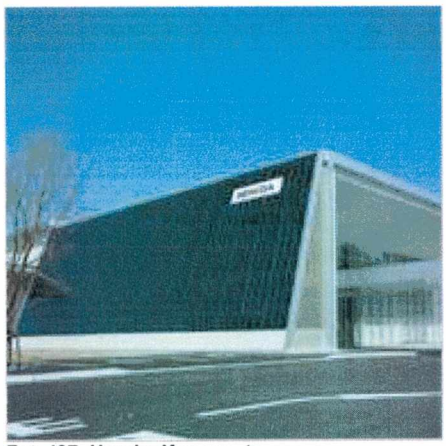


Fot. 432. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.



Fot. 436. Audi, Ingolstadt.

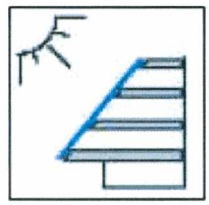
D/2. PRZEGRODY NACHYLONE
1. SKOŚNE

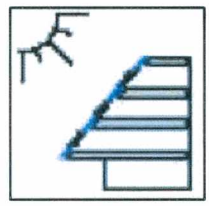


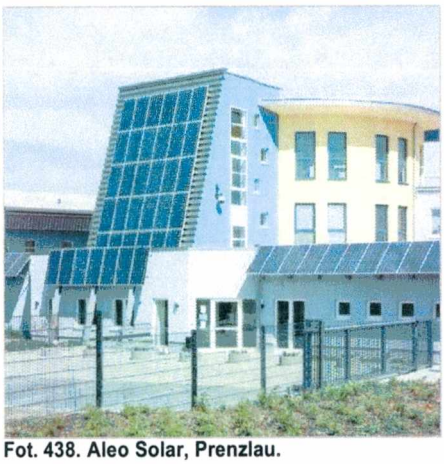
Fot. 437. Honda, Kumamoto.



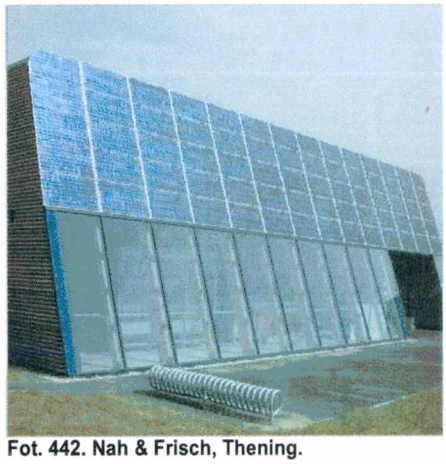
Fot. 441. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.



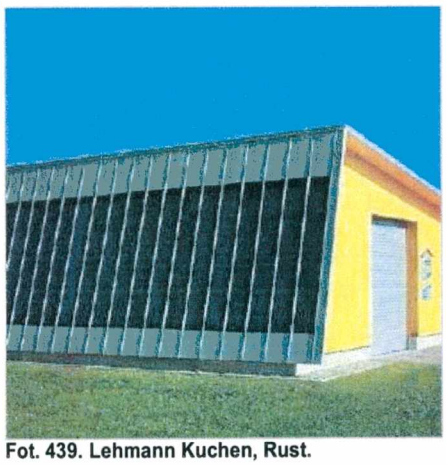




Fot. 438. Aleo Solar, Prenzlau.



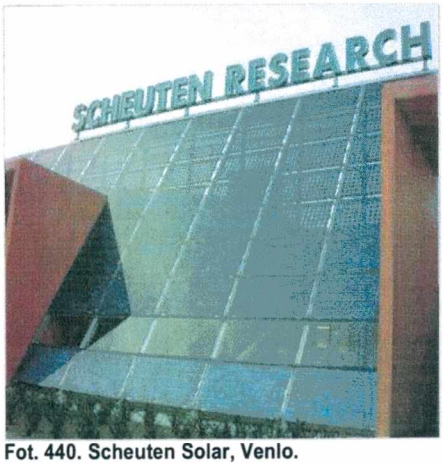
Fot. 442. Nah & Frisch, Thening.



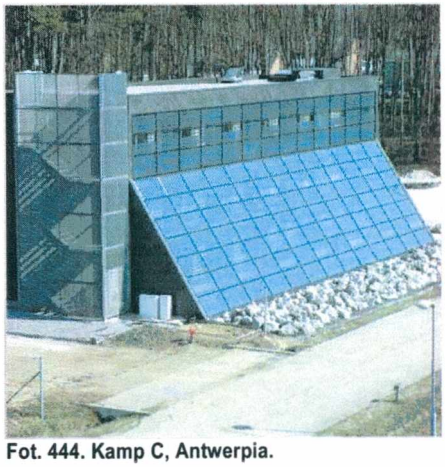
Fot. 439. Lehmann Kuchen, Rust.



Fot. 443. Fisher, Waldachtal.

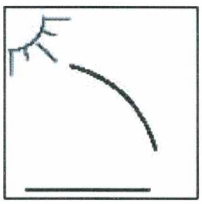


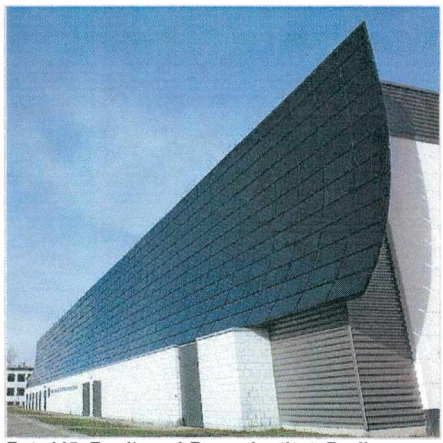
Fot. 440. Scheuten Solar, Venlo.



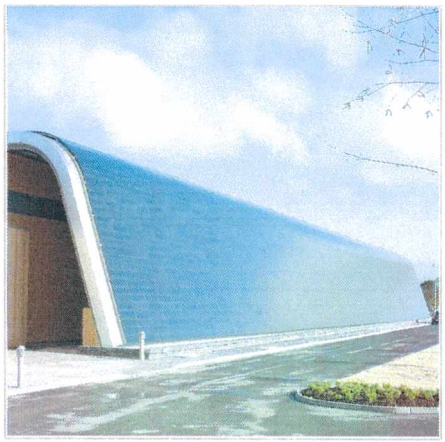
Fot. 444. Kamp C, Antwerpia.

D/2. PRZEGRODY NACHYLONE
2. ZAKRZYWIONE

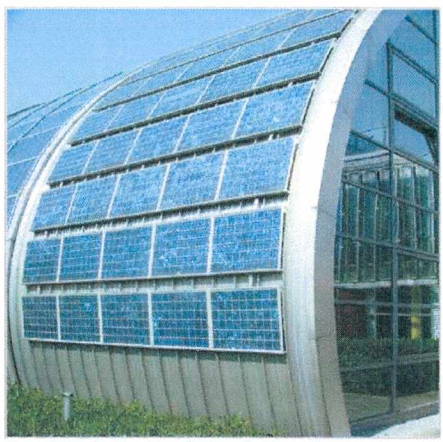




Fot. 445. Ferdinand-Braun Institut, Berlin.



Fot. 449. Technium OpTIC, St Asaph.



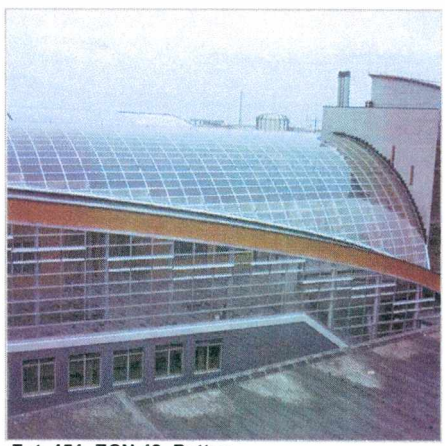
Fot. 446. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.



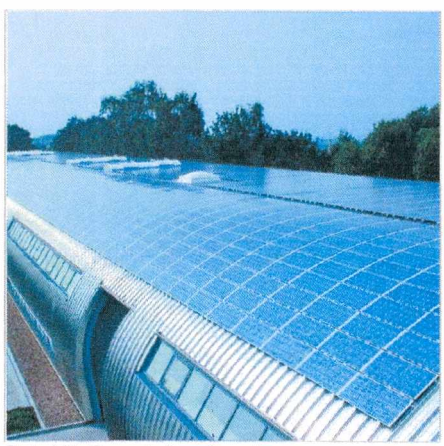
Fot. 450. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.



Fot. 447. AlkiTechnik, Ingolstadt.

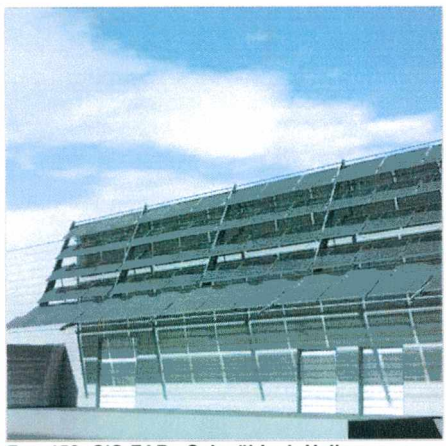


Fot. 451. ECN 42, Petten.



Fot. 448. Fennel, Bad Oeynhausen.

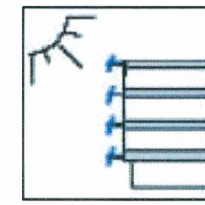
D/3. STRUKTURY SPECJALNEJ FUNKCJI
1. ELEMENTY STAŁE

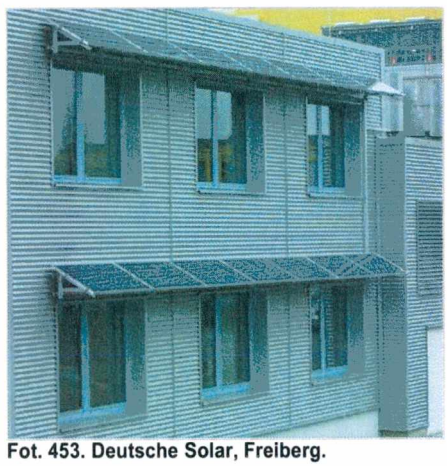


Fot. 452. CIS-FAB, Schwäbisch Hall.



Fot. 456. Aleo Solar, Prenzlau.

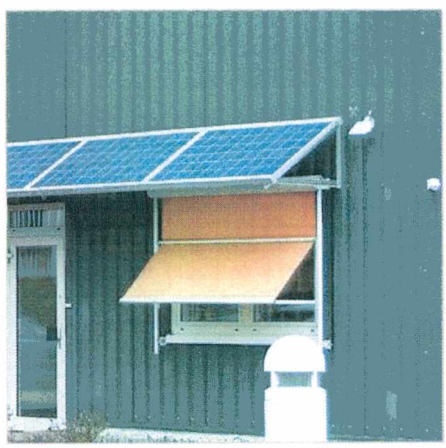




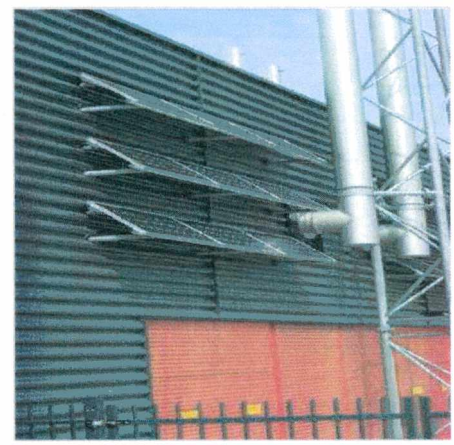
Fot. 453. Deutsche Solar, Freiberg.



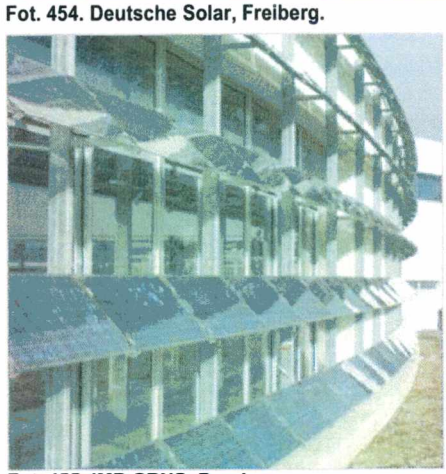
Fot. 457. Deutsche Solar, Freiberg.



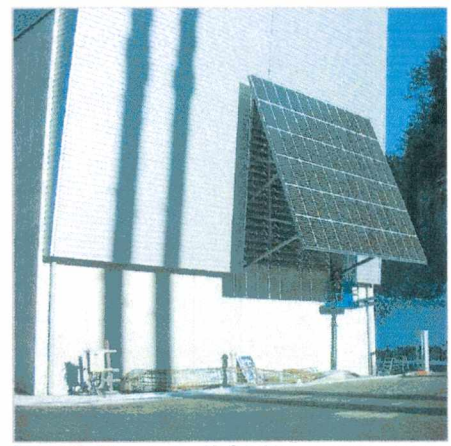
Fot. 454. Deutsche Solar, Freiberg.



Fot. 458. WKC, Oosterheem.

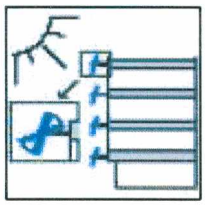


Fot. 455. IMP-CRNS, Perpignan.



Fot. 459. Bioenergy, Kufstein.

D/3. STRUKTURY SPECJALNEJ FUNKCJI
2. ELEMENTY RUCHOME

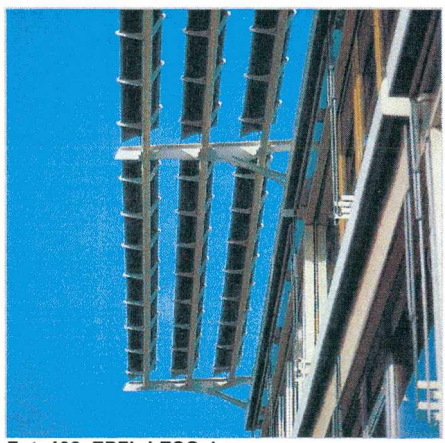




Fot. 460. Würth Elektronik, Waldenburg.



Fot. 461. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.



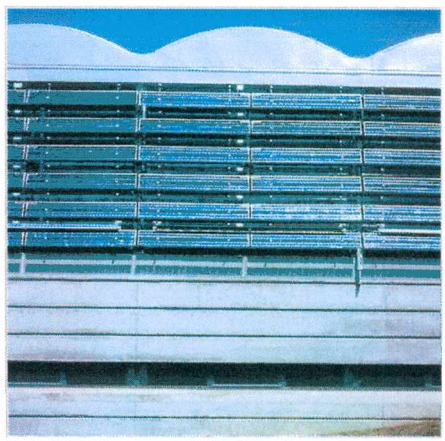
Fot. 462. EPFL-LESO, Lozanna.



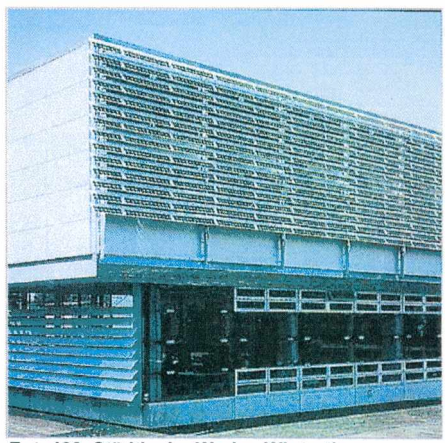
Fot. 463. SBL, Linz.



Fot. 464. ECN 31, Petten.



Fot. 465. Wasserwerk, Schwerin.



Fot. 466. Städtische Werke, Winterthur.



Fot. 467. Feat, Lugano.

BIBLIOGRAFIA

WYDAWNICTWA ZWARTE, CZASOPISMA, DOKUMENTY

ADDINGTON M., SCHODEK D., *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*, Architectural Press, Elsevier 2005.

ALSEMA E. A., *Environmental Aspects of Solar Cell Modules. Summary Report*, Netherlands Agency for Energy and the Environment (NOVEM), Report nr 96074, Utrecht 1996.

ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN DE M. J., *Environmental Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production,* 13th CIRP International Conference On Life Cycle Engineering, Leuven 2006.

ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN DE M. J., FTHENAKIS V. M., *Environmental Impacts of PV Electricity Generation - a Critical Comparison of Energy Supply Options*, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden 2006.

ARSÈNE-HENRY L., *La mutation de l'image des bâtiments industriels*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 161-164.

BANHAM R., *Rewolucja w architekturze*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1979.

BARANOWSKI A., *Projektowanie zrównoważone w architekturze*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1998.

BAZILIAN M. D. et al., *Photovoltaic cogeneration in the built environment,* Solar Energy Vol. 71, 1/2001, Elsevier 2001, s. 57–69.

BĄBIŃSKI C., *Projektowanie zakładów przemysłowych. Tendencje postępu*, WNT, Warszawa 1962.

BENEMANN J., CHEHAB O., SCHAAR-GABRIEL E., *Building-integrated PV modules*, Solar Energy Materials & Solar Cells 67/2001, Elsevier 2001, s. 345-354.

BENEVOLO L., *Histoire de l'architecture moderne, T.1., La revolution industrielle*, Dunod, Paris 1987.

BENKO G., *Geografia technopolii*, PWN, Warszawa 1993.

BLUNDELL-JONES P., *Exhibition eco,* in: Architectural Review 211/2002, s. 46-49.

BRACEGIRDLE B., *The Archaeology of the Industrial Revolution*, Heinemann Educational Books, London 1974.

BRZEZICKI M., *Zastosowanie zaawansowanych technologii w rozwiązaniach proekologicznych w architekturze*, Praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.

CELADYN W., *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Politechnika Krakowska, Kraków 2004.

COMPAGNO A., *Intelligente Glasfassaden. Material. Anwendung. Gestaltung*, Birkhäuser, Basel 1995.

CRASSARD F., RODE J., *The evolution of building integrated photovoltaics (BIPV) in the German and French technological innovation systems for solar cells,* Master of Science Thesis, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, ESA Report 2007:16, Göteborg 2007.

CZARNECKI W., *Projektowanie obiektów przemysłowych*, skrypt Politechniki Białostockiej, Białystok 1991.

DANIELS K., *Low-Tech, Light-Tech, High-Tech. Building in the Information Age*, Birkhäuser, Basel 1998.

DANIELS K., *The Technology of Ecological Building. Basic Principles and Measures, Examples and Ideas*, Birkhäuser, Basel 1997.

DARLEY G., *Factory*, Reaktion Books Ltd, London 2003.

DOBRZAŃSKI G., *Ekologiczne uwarunkowania lokalizacji inwestycji przemysłowych*, Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.

ECO U. (ed.), *Historia piękna*, REBIS, Poznań 2005.

EIFFERT P., KISS G., *Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures. A Sourcebook for Architects,* National Renewable Energy Laboratory, NREL/BK-520-25272, Golden 2000.

EUROPEAN COMMISSION, *Doing More With Less. Green Paper on Energy Efficiency*, COM (2005) 265 final, Luxemburg 2005.

EUROPEAN COMMISSION, *Energy: Let Us Overcome Our Dependence*, Luxemburg 2002.

EUROPEAN COMMISSION, *Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply*, COM (2000) 769 final, Luxemburg 2001.

EUROPEAN COMMISSION, *Green Paper on the Urban Environment*, COM (90) 218 final, Brussels 1990.

EVETTE T., LAUTIER F. (eds.), *De l'atelier au territoire. La travail en quête d'espaces*, L'Harmattan, Paris 1994.

FORDHAM M., FEILDEN CLEGG ARCHITECTS (eds.), *Photovoltaics in Buildings - A Design Guide*, ETSU S/P2/00282/REP, 1999.

FTHENAKIS V. M., *Life Cycle Impact Analysis of Cadmium in CdTe PV Production*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 8/2004, Elsevier 2004, s. 303–334.

FTHENAKIS V. M., *Overview of potential hazards*, in: MARKVART T., CASTANER L. (eds.), Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier 2003, s. 854-868.

FTHENAKIS V. M., *Photovoltaics Life Cycle Analysis*, Invited plenary presentation, Renewable Energy 2006, Chiba 2006.

FTHENAKIS V. M., *Could CdTe PV Modules Pollute the Environment?* Brookhaven National Laboratory Draft Report, Upton 2002.

GAJEWSKI K., MENDALUK Z. T., *Ekologia, ochrona środowiska. Słownik*, Centrum Zastosowań Ergonomii, Witold Rybarczyk, Zielona Góra 1997.

GARNER A., KEOLEIAN G. A., *Industrial Ecology: An Introduction*, National Pollution Prevention Center for Higher Education, University of Michigan, 1995.

GELLINGS R., *A fundamental step*, in: PHOTON International 5/2006, s. 58-60.

GEYER D. et al., *Building integration of photovoltaic thin film modules in CIS technology – results of the research project HIPERPB*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona 2005.

GIEDION S., *Przestrzeń, czas i architektura. Narodziny nowej tradycji*, PWN, Warszawa 1968.

GÖSSEL P., LEUTHÄUSER G., *Architecture in the Twentieth Century*, Benedikt Taschen, Köln, 1991.

GRĄDZKI M., KOZŁOWSKI A., *Kontrola procesu wytwarzania energii i jej jakość w systemach dołączonych do sieci, falowniki*, Materiały szkoleniowe SOLTRAIN, 2004.

HAAS R. et al., *Photovoltaic in Gebäuden*, IEA Task 7, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2003.

HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle*, Müller, Köln 2002.

HAGEMANN I.B., *Solar design in architecture and urban planning*, JSPS Symposium Urban Planning – Sustainable Cities, Tokyo 2005.

HANNEGRET V., KULLMANN C., *Wer im Glashaus sitzt, hat gut den Knopf ins Ohr piken,* in: F.A.Z. 141/2005, s.6.

HERING G., *What is sustainable building, anyway?*, in: PHOTON International 11/2006, s. 116-122.

HERZOG T., KRIPPNER R., LANG W., *Facade construction manual*, Birkhäuser, Basel, Edition Detail, Munich 2004.

HINDRICHS D. U., HEUSLER W. (eds.), *Fassaden – Gebäudehüllen für das 21. Jahrhundert,* Birkhäuser, Basel 2004.

HOFER-NOSER P., JÜRGENS J., *The Need of Power Generating Building Materials*, Proceedings of the IEA PVPS Task VII Workshop, Lausanne 1999, Report IEA-PVPS 7-03/2000.

HUBERT B., *Architecture active*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 115-117.

HUI S.C.M., MÜLLER H. F. O., *Holography: Art and Science of Light in Architecture*, Architectural Science Review, Volume 44, Issue 3, s. 221-226.

HUMM O., TOGGWEILER P., *Photovoltaik und Architektur. Die Integration von Solarzellen in Gebäudehüllen*, Birkhäuser, Basel 1993.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Key world energy statistics,* OECD/IEA 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Oil, Crises & Climate Challenges. 30 years of energy use in IEA countries,* OECD/IEA, Paris 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Perspectives des technologies de l'énergie. Scénarios et stratégies à l'horizon 2050*, OECD/IEA, Paris 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Renewables in global energy supply. An IEA Fact Sheet*, OECD/IEA, Paris 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *World Energy Outlook 2006*, OECD/IEA, Paris 2006.

JÄGER-WALDAU A., *European Photovoltaics in world wide comparison*, Journal of Non-Crystalline Solids 352/2006, Elsevier 2006, s. 1922–1927.

JARZĘBSKI Z. M., *Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna*, PWN, Warszawa 1990.

JASKULSKI M., *Stare fabryki Łodzi*, ZORA, Łódź 1995.

JÜRGENS J. et al., *Back contact solar cells in BIPV applications – a new dimension of architectural PV design*, 20th EU PVSEC, Barcelona 2005.

KALINOWSKA A., *Ekologia - wybór przyszłości*, Editions Spotkania, Warszawa 1992.

KHAN H.-U., *International Style. Modernist Architecture from 1925 to 1965*, Taschen, Köln, 2001.

KISS AND CATHCART ARCHITECTS, *Transparent Building-Integrated PV Modules*, National Renewable Energy Laboratory, DOE/GO/10262-T1, Golden 1998.

KISS CATHCART ANDERS ARCHITECTS P.C., *Building-Integrated Photovoltaics*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-472-7851, Golden 1993.

KISS G., KINKEAD J., *Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-472-20339, Golden 1995.

LABORDE M. F., *Architecture industrielle. Paris & alentours*, Parigramme, Paris 2003.

LATERNSER P., *Solarstrom aus Industriefassaden*, in: Lebensmittelindustrie 12/2002, s. 20-21.

LEMOINE B., *L'architecture du fer, France: XIXe siècle*, Champ Vallon, Seyssel 1986.

LEWANDOWSKI W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006.

LI-CHEN F., TENG-JEI S., *Holonic Supervisory Control and Data Acquisition Kernel for 21st Century Intelligent Building System*, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco 2000.

LISIK A. (ed.), *Odnawialne źródła energii w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.

LISOWSKI B., *Wkład architektury przemysłowej do rozwoju architektury XIX i XX w.*, Politechnika Krakowska, Kraków 1984.

MARCHWIŃSKI J., *Rola pasywnych i aktywnych rozwiązań słonecznych w kształtowaniu architektury budynków biurowych i biurowo-przemysłowych*, Praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.

MARCHWIŃSKI J., *Solar Fabrik – wykorzystanie energii słonecznej w zhumanizowanym miejscu pracy*, in: ARCHIWOLTA 4(24)/2004, s. 20-25.

MARDAGA P., *Image d'entreprise et rentabilité*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 147-149.

MILES R. W., *Photovoltaic solar cells: Choice of materials and production methods*, Vacuum 80/2006, Elsevier 2006, s. 1090-1097.

MIRSKI Z., *Kształtowanie wnętrz produkcyjnych*, Arkady, Warszawa 1986.

MÜLLER A., WAMBACH K., ALSEMA A., *Life cycle analysis of a solar module recycling process*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona 2005.

MÜLLER H. F. O., *Integration of photovoltaic in low energy buildings*, University of Sharjah Journal of Pure & Applied Sciences Volume 2, nr 2, Sharjah 2005.

NAKATA J., *Spherical Solar Cells Solve Issue of 3-D Sunlight Reception*, in: Asia Electronics Industry AEI, February 2003, s. 45-48.

NIEZABITOWSKA E., *Architektura i przemysł: nowe spojrzenie*, „Śląsk", Katowice 1997.

NIO M., *The Quality of Dirt, the Poetry of Factories*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 113-114.

OHNO J., *Introduction and prospects for BIPV design in Japan*, 2nd World Solar Electric Buildings Conference, Sydney 2000.

PERLIN J., *From space to earth: the story of solar electricity*, Harvard University Press, Cambridge, London 2002.

PERLIN J., *The Silicon Solar Cell Turns 50*, National Renewable Energy Laboratory, BR-520-33947, 2004.

PEVSNER N., *Historia architektury europejskiej*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1976.

PIETNOCZKA W., KOZŁOWSKI A., *Podstawy wykorzystania energii słonecznej*, Materiały szkoleniowe SOLTRAIN, 2004.

PIETNOCZKA W., *Generalne koncepcje fotowoltaicznych systemów zasilania*, Materiały szkoleniowe SOLTRAIN, 2004.

PowerSwitch! Od węgla do czystej energii. W kierunku sektora energetycznego wolnego od CO_2, WWF International, Gland 2003.

PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing with solar power. A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*, Images Publishing, Mulgrave, Earthscan, London, Sterling 2005.

Proceedings of the World Symposium on Applied Solar Energy, Phoenix, Arizona, 1955, Stanford Research Institute 1956.

RAGON M., *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes. T. 1, Idéologies et pionniers 1800/1910*, Casterman, Tournai 1971.

REIJENGA T., *PV in Architecture*, in: HEGEDUS S., LUQUE A. (eds.), Handbook of Photovoltaics Engineering, John Wiley & Sons, New York 2002.

REXROTH S., *Gestaltungspotenzial von Solarpaneelen als neue Bauelemente - Sonderaufgabe Baudenkmal*, PhD Thesis, Fakultät Gestaltung – Architektur, Berlin Universität der Künste, Berlin 2005.

RYŃSKA E. D., *Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.

RYŃSKA E. D., *Bioklimatyka a forma architektoniczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.

SABADY P. R., *The Solar House. A guide to solar energy utilization in domestic, industrial and commercial building*, Newnes-Butterworths, London, Boston 1978.

SAMYN & PARTNERS, *Récents projets industriels*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 155-159.

SCHITTICH C. (ed.), *Building skins. Concepts, layers, materials*, Edition Detail, München 2001.

SCHOEN T. et al., *Status Report of task VII of the IEA Program: PV in buildings*, Renewable Energy 15/1998, Elsevier 1998, s. 251-256.

SEREDYN A., *Mechaniczna pomarańcza*, in: A&B 11/2005, s. 40-47.

SICK F., ERGE T. (eds.), *Photovoltaics in Buildings. A Design Handbook for Architects and Engineers*, International Energy Agency IEA, Paris 1996.

SIEMER J. *Finally, at the beginning*, in: PHOTON International 6/2006, s. 16.

SKRYABIN I., *DSC Solar Wall Panels*, European Seminar - BIPV, Freiburg 2003.

SLESSOR C., *Eco-Tech. Sustainable Architecture and High Technology*, Thames & Hudson Ltd, London 1997.

SLIWINSKI S., *Eine Chronologie der Solararchitektur in den USA*, in: DETAIL 6/2005, s. 600-606.

SŁAWIŃSKA J., *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa 1997.

Solar Factory in Freiburg, in: DETAIL 3/1999, s. 407-411.

Solar Generation IV- 2007. Solar electricity for over one billion people and two million jobs by 2020, Greenpeace and EPIA 2007.

SØRENSEN H., MUNRO D., *Hybrid PV/thermal collectors*, 2nd World Solar Electric Buildings Conference, Sydney 2000.

SPIRIDONIDIS C., *Conceptions, démarches et representations dans le projet architectural des lieux de production*, in: EVETTE T., LAUTIER F. (eds.), De l'atelier au territoire. La travail en quête d'espaces, L'Harmattan, Paris 1994, s. 41-47.

STEELE J., *Ecological Architecture. A Critical History*, Thames & Hudson, London 2005.

STOREY J. B., BAIRD G., *Sustainable cities need sustainable buildings*, Proceedings of the CIB World Building Congress 2001, Wellington 2001.

STROBEL R., *Energies en question. Architectures vertes en Allemagne,* in: Techniques & Architecture 434/1997, s. 56-59.

STRONG S. J, *A new generation of solar electric architecture*, 2nd World Solar Electric Buildings Conference, Sydney 2000.

STRONG S. J. (ed.), *Photovoltaics in the Built Environment. A design guide for architects and engineers*, US DOE/National Renewable Energy Laboratory, NTIS DOE/GO-10097-436, Golden 1997.

SZPARKOWSKI Z., *Architektura współczesnej fabryki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.

TIBBS H., *Industrial Ecology. An Environmental Agenda for Industry*, Global Business Network, Emeryville, 1993.

TRIPANAGNOSTOPOULOS Y. et al., *Hybrid photovoltaic/thermal solar systems,* Solar Energy Vol. 72, 3/2002, Elsevier 2002, s. 217–234.

UNEP SUSTAINABLE BUILDINGS AND CONSTRUCTION INITIATIVE (SBCI), *Buildings and climate change. Status, Challenges and Opportunities,* United Nations Environment Programme, Nairobi 2007.

URBAŃSKA M. A., *Eksperymentalna fabryka lekkości*, in: A&B 5/2002, s. 20-31.

VAN CLEEF M., *Uni-Solar® - BIPV products*, Building with PV: New product opportunities, Sustain 2001, Amsterdam Rai 2001.

VIGATO J.-C., *L'architecture de la Saline*, in: Y'a t'il une architecture industrielle contemporaine?, Actes du colloque, Institut Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans 2001, s. 23-27.

WACHENFELDT B. J., BELL D., *Building Integrated Photovoltaics in Smart Energy Efficient-Buildings, A State-of-the-Art*, Report SINTEF, STF22 A04503, Trondheim 2003.

WEIZSÄCKER E. U. VON, LOVINS A. B., LOVINS L. H., *Mnożnik Cztery. Podwojony dobrobyt – dwukrotnie mniejsze zużycie zasobów naturalnych. Nowy raport dla Klubu Rzymskiego*, Polskie Towarzystwo Współpracy z Klubem Rzymskim, Wydawnictwo Rolewski, Toruń 1999.

WIEDERA A., *Serce z betonu*, in: A&B 11/2005, s. 33-39.

WILD-SCHOLTEN DE M. J. et al., *Implications of European Environmental Legislation for Photovoltaic Systems*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona 2005.

WINES J., *Green Architecture*, Taschen, Köln 2000.

WINSKOWSKI P., *Modernizm przebudowany. Inspiracje techniką w architekturze u progu XXI wieku*, TAiWPN UNIVERSITAS, Kraków 2000.

WOJCIECHOWSKI S., *Materiały inteligentne. Stan zagadnienia 2003*, in: Inżynieria Materiałowa 2/2004, s. 59-61.

WOWRZECZKA B., *Energia a forma hali przemysłowej*, Raporty Instytutu Architektury Politechniki Wrocławskiej 1987, Ser. PRE nr 417.

WOWRZECZKA B., *Wpływ czynników klimatycznych na kształtowanie architektury hal przemysłowych*, Praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1986.

YOSHINO M. et al., *Development of photovoltaic modules integrated with a metal curtain wall*, Solar Energy Materials and Solar Cells 47/1997, Elsevier 1997, s. 235-242.

YOSHINO M. et al., *Photovoltaic modules integrated with a metal curtain wall,* Proceedings of the 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii 1994, s. 969-972.

Zielony kontynent. Unia Europejska i środowisko, Wspólnoty Europejskie 2002.

STRONY INTERNETOWE

http://agamenon.uniandes.edu.co/~revista/articulos/edificio.html - ALFONSO V., *Edificios Inteligentes. Construyendo un edificio para hoy y para el mañana.*

http://architect.architecture.sk/albert-kahn-architect/albert-kahn-architect.php

http://encyklopedia.pwn.pl/lista.php?co=fotowoltaiczny

http://energia-odnawialna.info/content/view/85/2/

http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/ajnei.html - NEILA J., *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias,* in: Boletín CF+S 14/2000, Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos.

http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/atwoo.html - WOOLLEY T., *Building a Better Future*, in: Boletín CF+S 20/2002, Vidas "tecnológicas".

http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html - VÁZQUEZ ESPÍ M., *Una brevísima historia de la arquitectura solar*, in: Boletín CF+S 9/1999, Por una arquitectura y un urbanismo contemporáneos.

http://info.detnews.com/history/story/index.cfm?id=144&category=people

http://ips-solar.com/glossary.htm

http://perso.univ-lr.fr/fcherqui/IBPSAmars2006/11_RZmeureanu.pdf - ZMEUREANU R., *Sustainable buildings: dream or reality?*

http://pl.rheinzink.de/

http://solarworld.de/solarmaterial/english/press/8BO.5.1.pdf - WAMBACH K., SCHLENKER S., JÄGER-WALDAU A., *A voluntary take back system for PV module in Europe.*

http://usine.duval.free.fr/

http://virtualskies.arc.nasa.gov/research/youDecide/smartMaterials.html

http://worldtempus.com/wt/1/7093

http://www.aluplussolar.com/uk/default.htm

http://www.alwitra.de

http://www.apreis.org

http://www.architecture2030.org/current_situation/science.html

http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_41,s_Projects.fb15.

http://www.archnewsnow.com/features/Feature152.htm - BERNSTEIN F., *Beauty in Garbage: Naka Incineration Plant by Yoshio Taniguchi.*

http://www.art.unt.edu/ntieva/news/vol_11/issue2/spittelau.htm

http://www.bear.nl

http://www.biohaus.de/cms/upload/pdf/downloads/SDZ_Ausstellung.pdf.

http://www.buckminster.info/index.html

http://www.columbia.edu/cu/gsapp/BT/PATCENT/patcent.html

http://www.constructalia.com/fr

http://www.construible.es/

http://www.curvetspa.com/home.html

http://www.demosite.ch/page/index.html

http://www.eere.energy.gov/

http://www.energyvortex.com

http://www.epia.org

http://www.euro-inox.org

http://www.financialpost.com/story.html?id=79ef0ec2-4c4c-49e0-b39c-60b13b2ba764 - CLARK I., *Look to the Sun,* Financial Post, 12 October, 2006.

http://www.firstsolar.com/

http://www.flexcell.com/

http://www.fordham.edu/halsall/mod/1844engels.html

http://www.fosterandpartners.com/Practice/Default.aspx

http://www.greenpeace.org/

http://www.greenpro.de/po/index.html - *Energia fotovoltaica. Manual sobre tecnologias, projecto e instalação.*

http://www.greentechmedia.com/reports/research-report-intelligence-bipv.html

http://www.grimshaw-architects.com/

http://www.gutenberg.org/etext/98 - DICKENS C., *A Tale of Two Cities*

http://www.iea.org

http://www.iea-pvps.org/intro/index.htm

http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/pdf/guide-integration.pdf - DGEMP, DIDEME, *Critères d'éligibilité des équipements de production d'électricité photovoltaïque pour le bénéfice de la prime d'intégration au bâti.*

http://www.ipcc.ch

http://www.is4ie.org/history.html

http://www.isofoton.com/

http://www.kalzip.com/

http://www.kisscathcart.com/

http://www.matint.pl/

http://www.mazria.com

http://www.mediainmotion.de.

http://www.mitsubishielectricsolar.com/news/

http://www.mos.gov.pl/rio10/1_1.html

http://www.msk.ne.jp/

http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn3380 - HOGAN J., *„Denim" solar panels to clothe future buildings.*

http://www.nrel.gov/

http://www.oskomera.nl/

http://www.photon-magazine.com/news_archiv/ - KREUTZMANN A., *Supply problems await areas other than silicon.*

http://www.pi.hitachi.co.jp/solazure/01_cell_e.html

http://www.powerfilmsolar.com

http://www.pritzkerprize.com

http://www.pvaccept.de

http://www.pvdatabase.com/

http://www.pvdatabase.org/

http://www.pvresources.com/en/transparent.php

http://www.pv-tech.org/news

http://www.rohs-weee.pl/

http://www.rsh-p.com/

http://www.saint-gobain-glass.com

http://www.sarnafil.de

http://www.scheutensolar.com

http://www.schott.com/photovoltaic/english/

http://www.schueco.com/web/de

http://www.search.revolutionaryplayers.org.uk/content/files/102/106/350.txt

http://www.solarcentury.com

http://www.solardesign.com

http://www.solarenergy.com/info_history.html - SMITH C., *History of Solar Energy. Revisiting Solar Power's Past.*

http://www.solarintegration.de/

http://www.solarserver.de/solarmagazin/solar-report_0206_e.html - HUG R., *Solar Roof Tile Exhibition shows developments in photovoltaic roofing.*

http://www.solar-sse.com/cleanenergy.htm - CAMERON A., *Staying safe. How the PV Industry is minimizing the hazards of solar cell manufacture.*

http://www.solarstrom.ch

http://www.solarwall.com

http://www.sunovation.de/

http://www.sunphocus.com/

http://www.szff.ch/platform/content/element/1299/Bericht_GISS_TP2.pdf - *GISS Gebäude-Integrierte Solarstrom-Systeme,* Schlussbericht PV 100141, 150173, Dietikon 2005.

http://www.sztuka-architektury.pl/index.php?ID_PAGE=79

http://www.task7.org/

http://www.td.mw.tum.de/tumtd/

http://www.thyssen-solartec.com

http://www.tschumi.com

http://www.uni-solar.com

http://www.wiw.pl/astronomia/

http://www.wku.edu/~smithch/wallace/S231.htm - WALLACE A., *Free-Trade Principles and the Coal Question.*

http://www.wm.badenwuerttemberg

http://www.wuerth-solar.de

http://www.wyssag.com

http://wyborcza.pl/1,75476,3331386.html – HOŁDYS A., *Ludzkość w poszukiwaniu energii.*

SPIS ILUSTRACJI I WYKAZ ŹRÓDEŁ

FOTOGRAFIE

Fot. 1. Avon Mill, Malmesbury (XVIII).
Eric de Mare. Źródło: http://viewfinder.english-heritage.org.uk/

Fot. 2. Cromford Mill, Cromford (1771).
Źródło: http://picasaweb.google.com/helenrick0/WithTimKellyInLeicester/

Fot. 3. Masson Mill, Cromford (1783).
Źródło: http://www.lawhf.gov.uk/lawhf/derwent2.htm

Fot. 4. Magazyn łodzi, Sheerness (arch. Godfrey Greene, 1858).
Edifice/Lewis. Źródło: DARLEY G., *Factory...*, s. 110.

Fot. 5. Fabryka czekolady Menier, Noisiel-sur-Marne (proj. Jules Saulnier, 1869-72).
Źródło: http://www.district-crecy.com/

Fot. 6. Podstacja elektryczna Voltaire, Paryż (arch. Paul Friésé, 1908).
L. Mooraux. Źródło: LABORDE M. F., *Architecture...*, s. 28.

Fot. 7. Amerykański, żelbetowy elewator zbożowy.
Źródło: DARLEY G., *Factory...*, s. 80.

Fot. 8. Ford Model T, Highland Park, Detroit (arch. Albert Kahn, 1909).
Źródło: http://www.ou.edu/class/arch4443/

Fot. 9. Ford River Rouge Glass Plant, Dearborn (arch. Albert Kahn, 1917).
Albert Kahn Inc. Źródło: http://www.fabrikkplan.no/hlink2.htm

Fot. 10. Hala turbin AEG, Berlin (proj. Peter Behrens, 1908-09).
Źródło: GÖSSEL P., LEUTHÄUSER G., *Architecture...*, s. 92.

Fot. 11. Fabryka Fagus, Alfeld an der Leine (arch. Walter Gropius, Adolf Meyer, 1910).
Źródło: http://www.fagus-gropius.com/content/historisch/index.htm

Fot. 12. Van Nelle Tobacco, Rotterdam (arch. Johannes A. Brinkman, Leendert Cornelius van der Vlugt, 1925-29).
Johnson Architectural Images, Artifice Inc. Źródło: http://www.greatbuildings.com

Fot. 13. Boots' Factory, Beeston (proj. Evan Owen Williams, 1930-32).
RCHME, Crown. Źródło: KHAN H.-U., *International Style. Modernist Architecture from 1925 to 1965*, Taschen, Köln, 2001, s. 57.

Fot. 14. Centrum Technologiczne General Motors, Warren (arch. Eero Saarinen, 1948-56).
Źródło: http://www.mkthink.com/gm_tech_center_history.htm

Fot. 15. Cummins Engine Co. Components Plant, Darlington (arch. John Dinkeloo, Kevin Roche, 1966).
Źródło: http://www.krjda.com/text/projectDetail.cfm?id=30

Fot. 16. Fabryka turbin Siemens AG, Wesel (arch. Walter Henn, 1956).
H. Heidersberger. Źródło: http://eng.archinform.net/medien/00001587.htm

Fot. 17. Union Tank Car Company, Baton Rouge (proj. Richard Buckminster Fuller, 1958).
Źródło: http://www.s-e-u-l.org/SEUL/dome.html

Fot. 18. Hermann Miller Assembly Plant, Bath (arch. Nicholas Grimshaw, 1976).
John Donat. Źródło: http://www.grimshaw-architects.com/

Fot. 19. Fleetguard Manufacturing Centre, Quimper (arch. Richard Rogers Partnership, 1979-81).
Ken Kirwood. Źródło: http://www.rsh-p.com/

Fot. 20. Inmos, Newport (arch. Richard Rogers Partnership, 1982-87).
Źródło: http://www.hb2.tuwien.ac.at/dbase/ddb/

Fot. 21. Renault Centre (Spectrum), Swindon (arch. Foster Associates, 1982-83).
Źródło: http://www.fosterandpartners.com/Projects/0295/Default.aspx

Fot. 22. Spalarnia śmieci, Calce (arch. Luc Arsène Henry Jr., Alain Triaud).
Źródło: http://www.arval-construction.fr/

Fot. 23. Signal Box, Basel (arch. Herzog & de Meuron, 1998-99).
Margherita Spiluttini. Źródło: http://static.nai.nl/e/extras_e/webfile_hdm/

Fot. 24. Preston, Anglia.
Źródło: http://www.cleo.net.uk/followtheyarn/

Fot. 25. Saline Royale, Arc-et-Senans (proj. Claude-Nicolas Ledoux, 1775-79).
Patrick Girard. Źródło: http://fr.wikipedia.org/

Fot. 26. Chrysler-Dodge Half-Ton Truck Plant, Warren (arch. Albert Kahn, 1938).
Źródło: http://www.columbia.edu/cu/gsapp/BT/EEI/HEATLOAD/0425-77.jpg

Fot. 27. Fabryka zabawek Margarete Steiff, Giengen (1903).
Margarete Steiff GmbH. Źródło: GÖSSEL P., LEUTHÄUSER G., *Architecture...*, s. 99.

Fot. 28. Fabryka Fagus, Alfeld an der Leine (arch. Walter Gropius, Adolf Meyer, 1910).
Andreas Karmanski. Źródło: http://www.greatbuildings.com

Fot. 29. Fabryka Duval, Saint-Dié-des-Vosges (arch. Le Corbusier, 1948-51).
Źródło: http://chr.amet.chez-alice.fr/duval.htm

Fot. 30. Braut- und Abendmode Baudisch, Gunskirchen (arch. Andreas Heidl, 2002).
Josef Pausch. Źródło: http://www.nextroom.at/

Fot. 31. Instytut Hysolar, Stuttgart (arch. Behnish and Partners, 1987).
Źródło: http://archiguide.free.fr/PH/ALL/Stu/StuttgartHysolarBe.jpg

Fot. 32. Bodegas Ysios, Laguardia, Alava (arch. Santiago Calatrava, 1998-2000).
THOMAS MAYER ARCHIVE. Źródło: http://thomasmayerarchive.de/

Fot. 33. Trevision, Grosshöflein (arch. Querkraft Architekten, 2002).
Źródło: http://www.querkraft.at/

Fot. 34. ThyssenKrupp Stahl, Duisburg (arch. H. Gunia, A. Kollek, N. Schallenberg, 2002).
Źródło: http://www.thyssen-solartec.com

Fot. 35. Stacja uzdatniania wody SAGEP, Orly (arch. Michel Luyckx, 1969).
M. F. Laborde. Źródło: LABORDE M. F., *Architecture...*, s. 180.

Fot. 36. Spalarnia śmieci / miejska ciepłownia Spittelau, Wiedeń (proj. elewacji Hundertwasser, 1988-92).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 37. Zakłady przetwarzania odpadów SYCTOM, Ivry (arch. S'PACE, 1993-97).
S'PACE Architectes Associés. Źródło: LABORDE M. F., *Architecture...*, s. 166.

Fot. 38. Spalarnia śmieci, Calce (arch. Luc Arsène Henry Jr., Alain Triaud).
Źródło: http://www.euro-inox.org/

Fot. 39. Cannon Avent, Glemsford (arch. Fletcher Priest Architects, 2000).
Nick Hufton VIEW. Źródło: http://www.cabe.org.uk/

Fot. 40. Central Waste Incineration Plant, Hiroszima (arch. Yoshio Taniguchi, 2004).
Źródło: http://www.archnewsnow.com/features/Feature152.htm

Fot. 41. Elektrownia wodna Power Plobb, Zirl am Inn (arch. Michael Prachensky, 2003).
Źródło: http://www.nextroom.at/

Fot. 42. Budynek solarny, Ecopark, Hartberg (arch. Konrad Frey, 2002).
Źródło: BLUNDELL-JONES P., *Exhibition eco,* in: Architectural Review 211/2002, s.46.

Fot. 43. Fabryka Hübner, Kassel (arch. Joachim Eble, 1998).
Universität Hannover. Źródło: http://www.enob.info/de/neubau/

Fot. 44. Forestry Branch, Marche-en-Famenne (arch. SAMYN & PARTNERS, 1992-95).
Źródło: http://www.samynandpartners.be/

Fot. 45, 46. Centrum Technologiczne McLaren, Wiking (arch. Foster+Partners, 1998-2004).
Źródło: http://www.fosterandpartners.com/Projects/0995/Default.aspx

Fot. 47. Experimentelle Fabrik, Magdeburg (arch. Sauerbruch Hutton Architects, 2001).
Źródło: http://www.magdeburg.de/

Fot. 48. Manufaktura Vacheron Constantin, Plan-les-Ouates, Genewa (arch. Bernard Tschumi Architectes, 2001-2003).
Źródło: http://worldtempus.com/wt/1/7093

Fot. 49. Fabryka BMW, Lipsk (arch. Zaha Hadid, 2005).
THOMAS MAYER. Źródło: http://thomasmayerarchive.de/

Fot. 50. Spalarnia śmieci AviTwente – The Hulk, Hengelo (arch. Maurice Nio, 1993-97).
Źródło: http://www.gaaleriie.net/en/exhibitions-archive/nio-architecten/

Fot. 51. Zakład przetwarzania odpadów, Zenderen (arch. Kas Oosterhuis, 1995).
Źródło: http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=43

Fot. 52. Tobias Grau, Rellingen (arch. BRT Architekten, 1998-2001).
Źródło: http://www.schueco.com/web/de

Fot. 53. Isofotón, Malaga (arch. J. Vega, F. Arribas, I. Eyras, 2005).
Źródło: http://www2.epia.org/04Media/

Fot. 54. Jan Czochralski (1885-1953) – odkrywca metody wzrostu monokryształu.
Źródło: http://www.microwaves101.com/encyclopedia/halloffame1.cfm

Fot. 55. Gerald Pearson, Daryl Chapin, Alvin Fuller z Bell Telephone Laboratories, 1954.
Źródło: http://www.bell-labs.com/news/2004/april/anniversary50.html

Fot. 56. "Bell Solar Battery", 1954.
Źródło: http://www.bell-labs.com/org/physicalsciences/timeline/span10.html#

Fot. 57. Telstar I.
Bell Labs. Źródło: http://www.sfgate.com/

Fot. 58. Elliot Berman testuje panele PV wyprodukowane przez Solar Power Corporation dla ziemskich zastosowań.
Elliot Berman. Solar Power Corporation/Solar Power Limited. Źródło: PERLIN J., *From...*, s. 55.

Fot. 59. System PV na mongolskiej jurcie.
IT Power. Źródło: http://www.epia.org

Fot. 60. Rancho Seco, Kalifornia.
Alain Liébard. Źródło: http://www.crdp.ac-caen.fr/energies/Soleil.htm

Fot. 61. Autonomiczny, dachowy system PV (Polinezja).
Źródło: PERLIN J., *From space...*, s. 129.

Fot. 62. Carlisle House, Massachusetts (1980).
Źródło: http://www.umich.edu/~nppcpub/research/bipv/def.html

Fot. 63. BP Solar factory (dawny Solarex), Frederick, Maryland – pierwszy zakład przemysłowy zasilany energią fotowoltaiczną (arch. Kiss & Cathcart Architects, 1982).
Źródło: http://www.nrel.gov/

Fot. 64. STAWAG, Aachen (arch. Georg Feinhals, 1991).
STAWAG. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 338.

Fot. 65. Google Campus, Mountainview (2007).
Źródło: http://www.reuk.co.uk/Track-Solar-Electricity-Generation-at-Google.htm

Fot. 66. Elementy pośrednie w procesie produkcji ogniwa krzemowego (p-Si).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 67. Etapy produkcji krzemowego ogniwa (p-Si).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 68. Perforowane ogniwo z krzemu krystalicznego, prod. Sunways AG.
Źródło: http://www.sunways.de/de/produkte/Solar_Cells/solarcelltrans.php

Fot. 69. Cienkowarstwowe ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) na szklanym podłożu.
A. Schneider. Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 70. Cienkowarstwowe ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) na giętkim podłożu, prod. VHF-Technologies.
NET. Źródło: http://www.iea-pvps.org/products/download/rep_ar06.pdf

Fot. 71. Produkcja cienkowarstwowych ogniw Uni-Solar®.
ECD Ovonics. Źródło: http://www.uni-solar.com

Fot. 72, 73. Cienkowarstwowe ogniwa CIS na szklanym podłożu.
Źródło: http://www.wuerth-solar.de

Fot. 74. Krzemowe ogniwa krystaliczne SLIVER®.
Źródło: http://www.originenergy.com.au/

Fot. 75. Cienkowarstwowe ogniwo organiczne, prod. Georgia Institute of Technology (2004).
Georgia Institute of Technology. Źródło: http://www.gatech.edu/

Fot. 76. Ogniwo uczulone barwnikiem Dye-Sensitised Solar Cell (DSC).
Dyesol. Źródło: www.dyesol.com/

Fot. 77. Różne kształty i wymiary standardowych ogniw krzemowych (c-Si).
Flabeg. Źródło: www.flabeg.com/

Fot. 78, 79. Porównanie wyglądu krzemowych ogniw krystalicznych.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 80. Możliwości kolorystyczne ogniw z krzemu krystalicznego, prod. Solartec.
Solartec. Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 81. Kolorystyka ogniw cienkowarstwowych.
Źródło: http://www.greenpro.de/po/index.html

Fot. 82. Typowy układ kontaktów elektrycznych na ogniwie p-Si.
Centrosolar. Źródło: http://www.centrosolar.com/

Fot. 83, 84. Szklane moduły bez obramowania.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 85. Puszka łączeniowa zintegrowana z tylną stroną modułu (typ szkło-folia Multisol®15, prod. Scheuten Solar).
Źródło: http://www.scheutensolar.com

Fot. 86. Światowy rekord wielkości modułu PV.
Źródło: http://www.ertex-solar.at/

Fot. 87. Produkty BP Solar dla integracji z budynkiem.
Źródło: http://www.bp.com

Fot. 88. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 89. SMA - budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 90. Giętki moduł PV z obudową z poliwęglanu Makrolon®, prod. Sunovation GmbH.
Źródło: http://www.sunovation.de/

Fot. 91. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 92. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 93. Deutsche Solar, Freiberg (2001).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 94. SMA – budynki nr 6 i 4, Kassel.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 95. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 96. Top Sky I, prod. Schüco International.
Źródło: http://www.pvdatabase.com/

Fot. 97. Sekisui Jushi Corp., Shiga.
Źródło: http://www.pi.hitachi.co.jp/solazure/05_jirei_e.html

Fot. 98. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 99. SMA - budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 100. Moduł typu szkło-folia z folią w kolorze białym.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 101. Kolorowe folie ICOSOLAR, prod. ISOVOLTA.
ISOVOLTA. Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 102. Zakład produkcyjny Von Ardenne, Drezno (2006).
Źródło: http://www.buergerkraftwerk.de/index.php?id=180#702

Fot. 103. „Solar cladding" - system wentylowanej fasady z okładziną PV, prod. Solarcentury.
Źródło: http://www.solarcentury.com/

Fot. 104, 105. Deutsche Solar, Freiberg (2001).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 106, 107. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 108. Budynek produkcyjny Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG, Merkendorf.
Źródło: Materiały reklamowe Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG.

Fot. 109. Audi Ingolstadt, Ingolstadt (arch. pbb Architekten, 2004).
Źródło: Materiały reklamowe Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG.

Fot. 110. System ALUHIT dla fasad wentylowanych, prod. Wyss AG.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wyss AG.

Fot. 111. Elektrownia EKZ, Zürich (1992).
Źródło: HUMM O., TOGGWEILER P., *Photovoltaik...*, s. 62.

Fot. 112. Zakłady komunalne, Pirmasens (arch. Bachmann & Weidinger, 1991).
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 327.

Fot. 113, 114. Peininger, Gelsenkirchen (arch. Schuler Jatzlau Partner MBH, 1996).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 115, 116. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 117. Laminat Uni-Solar®.
United Solar Ovonic. Źródło: http://www.uni-solar.com

Fot. 118. Flexcell®.
Źródło: http://www.flexcell.com/

Fot. 119. STAWAG, Aachen (arch. Georg Feinhals, 1991).
STAWAG, Aachen. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 338.

Fot. 120. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 121, 122. Białe szkło ornamentowe SGG Albarino, prod. Saint-Gobain Glass.
Źródło: http://www.saint-gobain-glass.com

Fot. 123. Laminat z krzemu amorficznego (Uni-Solar®) zintegrowany ze szkłem giętym Curvet Spa.
Źródło: http://www.theglazine.com/pages/photovoltaics2.html

Fot. 124, 125. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 126, 127. Centrum recyklingu, Pont de Vilomara i Rocafort (arch. Siliken, 2003).
Źródło: http://www.siliken.es/

Fot. 128. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 129. VOLTARLUX® - szkło laminowane z cienkowarstwowymi ogniwami solarnymi (ISOLAR® GLAS).
Źródło: Materiały reklamowe Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG.

Fot. 130, 131. Oskomera, Deurne (2005).
Źródło: http://www.oskomera.com/

Fot. 132, 133. CSIRO, Australia (arch. Cox Richardson).
Źródło: SKRYABIN I., *DSC Solar Wall Panels*, European Seminar - BIPV, Freiburg 2003.

Fot. 134. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 135. SMA - budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 136. Szklany moduł PV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 137. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 138. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen (2006).
Źródło: http://www.scheutensolar.com

Fot. 139, 140, 141. Fabryka okien SIMON Glas, Bückeburg (2000).
Solon AG. Źródło: http://www.solon.com/

Fot. 142. SMA - budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 143. Solardachziegel, prod. Gebrüder Laumanns GmbH & Co KG.
Źródło: www.pvdatabase.com/

Fot. 144. Baza z tworzywa sztucznego dla integracji z modułem PV.
I. B. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 263.

Fot. 145. Gont fotowoltaiczny SHR17 (prod. United Solar Ovonic).
United Solar Ovonic. Źródło: http://www.uni-solar.com

Fot. 146. Płytki włóknisto-cementowe zintegrowane z giętką folią PV, prod. Flexcell.
Źródło: http://www.flexcell.com/

Fot. 147. SunSlate™ - płytki eternitowe zintegrowane z modułem PV, prod. Atlantis.
Źródło: GEYER D. et al., *Building...*

Fot. 148. Mercedes Motorenwerk, Bad Cannstadt (1996).
Kurt Henseler. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 264.

Fot. 149. Kalzip® SolarClad, prod. Corus Bausysteme GmbH.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Corus Bausysteme GmbH.

Fot. 150. Nowoczesny system mocowania modułów fotowoltaicznych do blachy trapezowej.
Źródło: http://live.pege.org/2006-intersolar/trapeze-tin-roof.htm

Fot. 151. BIOSOL PV Plate.
Źródło: http://reimann-solar.de/Produkte-Solaranlagen/

Fot. 152. Metalowe materiały BIPV (targi Intersolar, 2006).
Źródło: http://live.pege.org/2006-intersolar-roof/unisolar.htm

Fot. 153. Kalzip® AluPlusSolar, prod. Corus Bausysteme GmbH.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Corus Bausysteme GmbH.

Fot. 154. Zakład produkcyjny EnCon EnergieConcept, Kell am See (2006).
Źródło: http://www.biohaus.de/index.php?id=395

Fot. 155. ThyssenKrupp-Solartec®, prod. ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme.
Źródło: http://www.thyssen-solartec.com

Fot. 156. BIOSOL PV Plate.
Źródło: http://www.biohaus.de/cms/front_content.php?idcat=181

Fot. 157, 158. Thermowand Solartec, prod. ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme.
Źródło: http://live.pege.org/2005-intersolar-pv/

Fot. 159. BIOSOL PV Plate.
Źródło: http://www.biohaus.de/index.php?id=388

Fot. 160. Quick Step Rheinzink® Solar PV, prod. Rheinzink.
Źródło: http://pl.rheinzink.de/

Fot. 161. PowerFilm® Solar.
Źródło: http://www.powerfilmsolar.com

Fot. 162, 163. Elektrownia miejska Wanheim, Duisburg (2004).
Źródło: http://www.thyssen-solartec.com

Fot. 164. Moduł CIS na podłożu miedzianym.
Patrick Pleul/dpa Deutsche Presseagentur. Źródło: PHOTON International 6/2006, s. 16.

Fot. 165, 166. Plastikowe okładziny BIPV, prod. Flexcell.
Źródło: http://www.flexcell.com/

Fot. 167. Membrana BIPV, prod. Flexcell.
Źródło: http://www.flexcell.com/

Fot. 168, 169, 170. Evalon V-Solar®, prod. Alwitra.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Alwitra.

Fot. 171. ProLogis, Moissy-Cramayel (2006).
Źródło: http://www.solarintegrated.com/

Fot. 172. Coca-Cola Bottling, Los Angeles (2004).
Źródło: http://www.solarintegrated.com/

Fot. 173, 174. Prototyp giętkiej folii budowlanej zintegrowanej z ogniwami Sphelar®.
Norbert Michalke/photon-pictures.com. Źródło: PHOTON International 5/2006, s. 22.

Fot. 175. MWB Messwandler-Bau AG, Bamberg (1992).
MWB, Bamberg. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 356.

Fot. 176. PowerFilm®Solar.
Źródło: http://www.powerfilmsolar.com

Fot. 177. Skład niefunkcjonujących już modułów PV zebranych w SolarMaterials Deutsche Solar AG (Freiberg).
Źródło: WILD-SCHOLTEN DE M. J. et al., *Implications of...*

Fot. 178. Materiał odzyskany z zużytych ogniw krzemowych, SolarMaterials, Deutsche Solar AG (Freiberg).
Źródło: PHOTON 11/2006, s. 35.

Fot. 179. Centro Richerche Fiat Orbassano, Turyn.
Źródło: http://www.seccosistemi.it/solar/7

Fot. 180. Moduł PV/T – TWINSOLAR, prod. Grammer Solar.
Źródło: http://www.grammer-solar.com/

Fot. 181. MultiSolar, prod. SolarWatt.
Źródło: SØRENSEN H., MUNRO D., *Hybrid PV/thermal collectors*, 2nd World Solar Electric Buildings Conference, Sydney 2000.

Fot. 182, 183, 184, 185. Akademia Mont-Cenis, Herne (arch. Jourda Architectes, HHS Planer + Architekten BDA, 1999).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 186. HoloSun™, prod. Sun Phocus Technologies.
Źródło: http://www.sunphocus.com/

Fot. 187. Magazyn Mizushima, Japonia.
Źródło: http://www.msk.ne.jp/

Fot. 188. Isofotón, Malaga (arch. J. Vega, F. Arribas, I. Eyras, 2005).
Źródło: http://www.isofoton.com/

Fot. 189. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten BDA, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 190. SmartSolarFab®, Alzenau (2002).
Źródło: http://www.schott.com/photovoltaic/english/

Fot. 191. System Girasol, prod. Colt International Limited.
Źródło: http://www.coltgroup.com/

Fot. 192. Zakład uzdatniania wody Mühlenscharrn, Schwerin (arch. Roland Schulz, 1999).
Źródło: http://www.coltgroup.com/

Fot. 193, 194, 195. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 196, 197. Tobias Grau, Rellingen (arch. BRT Architekten, 1998-2001).
Źródło: http://www.schueco.com/web/de

Fot. 198. Przykład różnych kształtów ogniw i ich ułożenia w module, prod. Heliodinamica.
Źródło: http://www.heliodinamica.com.br/

Fot. 199. Gont fotowoltaiczny, prod. Solarcentury.
Źródło: http://www.solarcentury.com

Fot. 200. Giętki pas blachy solarnej Solar Flex, prod. Euro Progetti Professional.
Źródło: http://www.europrogettifotovoltaico.it/

Fot. 201. Centrum recyklingu, Pont de Vilomara i Rocafort (arch. Siliken, 2003).
Źródło: http://www.siliken.es/

Fot. 202. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten BDA, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 203. Sulfurcell, Berlin Adlershof.
Źródło: http://www.sulfurcell.de/

Fot. 204. EnCon EnergieConcept, Kell am See (2006).
Źródło: http://www.ensercon.com/concept/index.html

Fot. 205. Zakład oczyszczania miasta EBK Konstanz, Konstanz (arch. Schaudt Architekten BDA, 1996-97).
Źródło: Materiały reklamowe firmy Pilkington.

Fot. 206. Budynek firmy Fischer, Waldachtal (2001).
Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 207. Lamy, Heidelberg (arch. BFK + Partner Architekten).
Źródło: http://www.heidelberg.de/

Fot. 208. „Helmut List" – dawna hala przemysłowa, Graz (arch. Markus Pernthaler, 2002).
Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=348

Fot. 209. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 210. AlkiTECHNIK, Ingolstadt (arch. Bachschuster, 2006).
Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=70

Fot. 211, 212. MSK Corporation, Nagano (arch. Ichikawa Sokuryo Sekkei, 2004).
Źródło: http://www.msk.ne.jp/

Fot. 213. Schniewindt, Neuenrade (arch. Karl Michael Krach).
Źródło: http://ea-nrw.de/_infopool/page.asp?InfoID=3090&find=Ingenieur

Fot. 214. Tau Cerámica Taulell, Castellón (2007).
Źródło: http://www.pvdatabase.org/

Fot. 215. Audi Ingolstadt, Ingolstadt (arch. pbb Architekten, 2004).
Źródło: Materiały reklamowe firmy Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG.

Fot. 216. Üstra Verkehrsbetriebe AG, Hannover (arch. S&P Planungsgruppe, 2000).
Źródło: http://www.solon.com/

Fot. 217. Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG, Merkendorf.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG.

Fot. 218. Zaokrąglone kształty modułów PV, prod. Creaglas.
Creaglas. Źródło: http://www.solarintegration.de

Fot. 219. ThyssenKrupp Stahl, Duisburg (arch. H. Gunia, A. Kollek, N. Schallenberg, 2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 220. ThyssenKrupp Stahl, Duisburg (arch. H. Gunia, A. Kollek, N. Schallenberg, 2002).
Źródło: http://www.thyssen-solartec.com

Fot. 221. Standardowe ogniwa polikrystaliczne.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 222. Kolorowe ogniwa polikrystaliczne, prod. Sunways.
Sunways. Źródło: http://www.solarintegration.de

Fot. 223. Pierwsze moduły z kolorowymi ogniwami monokrystalicznymi, prod. BP Solar.
BP Solar. Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 224. TüArena, Tübingen (2004).
Źródło: http://www.epia.org/

Fot. 225. Q-cells, Thalheim (arch. Hierholzer Architekten, 2005).
Źródło: http://www.invest-in-germany.com/homepage/info-service/

Fot. 226. Kolorowe moduły z tworzywa sztucznego, prod. Sunovation.
Źródło: http://www.sunovation.de/

Fot. 227, 228. SCHOTT ibérica SA, Sant Adrià de Besòs, Barcelona (arch. Torsten Masseck, CISOL - Centre d'Investigació Solar ETSAV UPC, 2005).
Źródło: http://www.etsav.upc.edu/unitats/cisol/HTMLesp/HTML/imagenschott.html

Fot. 229. mNACTEC, Terrassa.
Źródło: http://www.pvdatabase.com/search_details.cfm?ID=337

Fot. 230, 231. Moduły PQ-120D z ogniwami „DIAGONAL", prod. PowerQuant.
Źródło: http://www.powerquant.com/

Fot. 232. Prototyp modułu DSC, prod. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2006.
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Źródło: PHOTON International 5/2006, s. 17.

Fot. 233, 234. SMA – budynek nr 6, Kassel (arch. HHS Planer + Architekten BDA, 2001-2002).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 235, 236. Fabryka modułów Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 237. Częściowo transparentne szklane moduły CIS, prod. Würth Solar.
Źródło: http://www.wuerth-solar.de

Fot. 238. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 239. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 240. Scheuten Solar, Gelsenkirchen (arch. Hohaus & Partner, 1999).
Źródło: http://www.hohaus-hinz-seifert.de/

Fot. 241. Budynek firmy Siemens, Monachium.
Bear Architecten. Źródło: http://www.bear.nl

Fot. 242. SWU, Ulm (arch. Michael Gies, 1998).
SWU Unternehmensgruppe. Źródło: http://www.donauhochschule-ulm.de/

Fot. 243. Widok budynku – z lewej hala produkcyjna, z prawej część administracyjna.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 310.

Fot. 244. Frontowa elewacja strefy administracyjnej – pasy okładziny BIPV.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wyss AG.

Fot. 245. Elewacja hali produkcyjnej.
Źródło: HUMM O., TOGGWEILER P., *Photovoltaik...*, s. 60.

Fot. 246. Detal fasadowej okładziny BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 310.

Fot. 247. Świetliki BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 310.

Fot. 248. Detal świetlika BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 310.

Fot. 249. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 332.

Fot. 250. Rzut budynku i widok elewacji południowej.
Źródło: http://www.werkhof.info/

Fot. 251. Okładzina BIPV w połączeniu z okładziną kamienną.
Źródło: HUMM O., TOGGWEILER P., *Photovoltaik...*, s. 43.

Fot. 252. Fragment elewacji.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 332.

Fot. 253. Pasy okładziny BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 332.

Fot. 254. Elewacja BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 332.

Fot. 255. Widok budynku – elewacja południowa.
Źródło: EIFFERT P., KISS G., *Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures. A Sourcebook for Architects,* National Renewable Energy Laboratory, NREL/BK-520-25272, Golden 2000, s. 28.

Fot. 256. Strefa wejściowa.
A. Paradis. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 379.

Fot. 257. Dachowy świetlik BIPV.
A. Paradis. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 379.

Fot. 258. Markiza zacieniająca z modułami fotowoltaicznymi.
A. Paradis. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 379.

Fot. 259. Szklany sześcian BIPV i markiza.
Źródło: http://www.kisscathcart.com/

Fot. 260. Świetlik BIPV – widok od wewnątrz.
G. Kiss. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 379.

Fot. 261. Ściana osłonowa od wewnątrz.
Źródło: KISS G., KINKEAD J., *Optimal...*, s. 7.

Fot. 262. Gra światłocienia (świetlik BIPV).
G. Kiss. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 379.

Fot. 263. Widok elewacji zachodniej i południowej.
Źródło: SLESSOR C., *Eco-Tech...*, s. 44.
Fot. 264. Połączenie tradycyjnych i nowoczesnych materiałów w elewacjach.
Źródło: SLESSOR C., *Eco-Tech...*, s. 43.
Fot. 265. Konstrukcja zadaszenia.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 355.
Fot. 266. Zadaszenie BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 355.
Fot. 267. Szklane moduły z krzemu amorficznego.
Źródło: SLESSOR C., *Eco-Tech...*, s. 43.
Fot. 268. Zadaszenie BIPV – widok od spodu.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 355.
Fot. 269. Widok elewacji z generatorem PV i systemem monitorującym.
Flabeg Solar International. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 330.
Fot. 270. Narożnik budynku z okładziną BIPV – moduły z krzemu amorficznego.
Flabeg Solar International. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 330.
Fot. 271. Fragment elewacji.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wicona Bausysteme GmbH.
Fot. 272. Okładzina BIPV.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wicona Bausysteme GmbH.
Fot. 273. Mocowanie modułów PV.
Flabeg Solar International. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 330.
Fot. 274. Budynek przed renowacją.
Źródło: http://www.tnc.ch/index.en.php
Fot. 275. Budynek po renowacji.
Źródło: http://www.holinger-solar.ch
Fot. 276. Instalacja BIPV - wentylowana okładzina w systemie Aluhit.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wyss AG.
Fot. 277. Fasada południowa.
BP Solar, Źródło: http://www.epia.org
Fot. 278. Widok budynku od strony południowej.
Źródło: http://www.sunny-solartechnik.de
Fot. 279. Panele PV na podkonstrukcji z rur metalowych.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 268.
Fot. 280. Nachylona przegroda o funkcji dachu/elewacji z systemem BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 268.
Fot. 281. Elewacja północna.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 268.
Fot. 282. Mocowanie modułów PV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 268.
Fot. 283. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.
Źródło: http://www.stahl-sonnenenergie.de/
Fot. 284. Południowa fasada solarna – trzy różne instalacje fotowoltaiczne.
Źródło: http://www.solarregion.freiburg.de/
Fot. 285. Instalacje BIPV – szklana ściana osłonowa i system zacieniający.
Źródło: http://www.rolf-hotz.de
Fot. 286. Wentylowana fasada BIPV.
Źródło: http://www.solar-fabrik.de

Fot. 287. Widok od strony południowo-wschodniej.
Źródło: http://www.brt.de/

Fot. 288. Moduły PV zintegrowane ze szklaną fasadą.
Tobias Grau KG. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 343.

Fot. 289. Szklana fasada BIPV – widok nocą.
Źródło: Sunny magazine 2/2005, s. 11.

Fot. 290. Elewacje północne.
Źródło: http://www.brt.de/

Fot. 291. Zewnętrzny system szklanych żaluzji.
Tobias Grau KG. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 343.

Fot. 292. Szklana fasada BIPV – widok w ciągu dnia.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Schüco International.

Fot. 293. Widok od strony południowej.
Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 294. Widok od strony zachodniej.
Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 295. Fotowoltaiczny system zacieniający na elewacji południowo-zachodniej.
Źródło: http://www.solarintegration.de/

Fot. 296. Shadovoltaic – widok z przodu.
Źródło: http://www.architekt-schwerin.de/project_1.php

Fot. 297. Termohydrauliczny system sterowania.
Źródło: http://www.architekt-schwerin.de/project_1.php

Fot. 298. Lamele BIPV – widok od spodu.
Źródło: http://www.architekt-schwerin.de/project_1.php

Fot. 299. Widok budynku od strony południowej.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 300. Wejście główne.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 301. Szklana fasada BIPV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 302. Fotowoltaiczny system zacieniający.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 303. Pasy okładziny fotowoltaicznej.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 304. Mocowanie okładziny BIPV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 305. Sterowane lamele Holo-Volt®.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 306. Widok budynku – elewacja południowa i wschodnia.
Źródło: http://www.heim-mueller.at/

Fot. 307. Elewacja południowa – instalacja fotowoltaiczna i kolektory solarne.
Źródło: http://www.doma.co.at/

Fot. 308. Wentylowana okładzina fotowoltaiczna.
Źródło: http://www.heim-mueller.at/

Fot. 309. Systemy fotowoltaiczne na dachu i elewacji zachodniej.
Stromaufwärts. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 59.

Fot. 310. Montaż dachowego generatora PV.
Stromaufwärts. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 61.

Fot. 311. Budynek przed modernizacją.
Źródło: http://www.bear.nl/
Fot. 312. Budynek po modernizacji.
Źródło: http://www.bear.nl/
Fot. 313. Fotowoltaiczny system zacieniający na południowej fasadzie.
Marcel van Kerckhoven. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 110.
Fot. 314. Moduł PV zintegrowany z metalowym piórem żaluzji.
Marcel van Kerckhoven. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 111.
Fot. 315. Model żaluzji BIPV w skali 1:1.
Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 109.
Fot. 316. Żaluzje BIPV.
Źródło: http://www.bear.nl/
Fot. 317. Lamele żaluzji – widok od spodu.
Źródło: http://www.bear.nl/
Fot. 318. Elewacja południowa.
Samyn and Partners. Źródło: http://www.samynandpartners.be/
Fot. 319. Szachownica światła i cienia we wnętrzu.
Samyn and Partners. Źródło: http://www.samynandpartners.be/
Fot. 320. Szklana powłoka BIPV – widok od wewnątrz.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Schüco International KG.
Fot. 321. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.
Źródło: http://www.hollandsolar.nl
Fot. 322. Elewacja BIPV z zewnątrz – widok nocą.
Źródło: Sunny magazine 2/2005, s. 16.
Fot. 323. Brama wjazdowa w szklanej powłoce BIPV.
Samyn and Partners. Źródło: http://www.samynandpartners.be/
Fot. 324. Widok budynku.
Źródło: http://www.dammer-berge.de/index.php?id=199
Fot. 325. Wejście główne i szklana elewacja BIPV.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Schüco International KG.
Fot. 326. Szklana elewacja BIPV od wewnątrz.
Źródło: http://www.nemetschek.at/
Fot. 327. Wejście do budynku.
Źródło: http://www.zf-mediacenter.de/sea_view_v2.php?id=91&lang=d&pRubB=&pos=160
Fot. 328. Narożnik z instalacją BIPV.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Schüco International KG.
Fot. 329. Staw przy wejściu do budynku.
Źródło: http://www.nemetschek.at/
Fot. 330. Elewacja południowa z instalacją BIPV – wejście do budynku.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.
Fot. 331. Elewacja BIPV – detal konstrukcji.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.
Fot. 332. Ogniwa PV – widok z zewnątrz.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.
Fot. 333. Ogniwa PV od wewnątrz.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.
Fot. 334. Elewacja zachodnia.
Źródło: http://www.hhs-architekten.de/

Fot. 335. Narożnik południowo-wschodni.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 336. Nachylona elewacja BIPV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 337. Gra światłocienia wewnątrz budynku.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 338. Detal konstrukcji fasady BIPV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 339. Elewacja południowa z dwiema instalacjami fotowoltaicznymi.
Źródło: http://in3.dem.ist.utl.pt/pp/mjrodrigues/wk1/files/IgnacioMuniz.pdf

Fot. 340. Szklana fasada BIPV – widok z zewnątrz.
Źródło: http://www.iea-pvps.org/cases/jpn_03.htm

Fot. 341. Szklana fasada BIPV – widok od wewnątrz.
Źródło: http://in3.dem.ist.utl.pt/pp/mjrodrigues/wk1/files/IgnacioMuniz.pdf

Fot. 342. Instalacje BIPV.
Źródło: http://in3.dem.ist.utl.pt/pp/mjrodrigues/wk1/files/IgnacioMuniz.pdf

Fot. 343. Zadaszenie BIPV – detal konstrukcji.
Źródło: http://www.iea-pvps.org/cases/jpn_03.htm

Fot. 344. Szklane moduły PV.
Źródło: http://www.earthscan.co.uk/?tabid=3269

Fot. 345. Budowa fasady BIPV.
Źródło: http://www.iea-pvps.org/cases/jpn_03.htm

Fot. 346. Okrągłe ogniwa PV.
Źródło: http://www.earthscan.co.uk/?tabid=3269

Fot. 347. Wejście główne i szklany dach BIPV.
Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=29

Fot. 348. Szklana elewacja BIPV.
Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=29

Fot. 349. Szklany dach BIPV – widok od wewnątrz.
Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=29

Fot. 350. Widok z lotu ptaka.
Źródło: http://www.energieportal24.de/artikel_1043.htm

Fot. 351. Szklana elewacja BIPV – widok z zewnątrz.
A. Schneider. Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=150

Fot. 352. Semitransparentna elewacja BIPV – widok od wewnątrz.
RWE Schott Solar. Źródło: http://www2.epia.org/images/photos/phoID_561.jpg

Fot. 353. Fragment elewacji południowej.
A. Schneider. Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=150

Fot. 354. Ogniwa amorficzne zintegrowane ze szkłem.
A. Schneider. Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=150

Fot. 355. System słupowo-ryglowy ze szkleniem BIPV.
Źródło: http://www.amordad.es

Fot. 356. Widok budynku od strony terenów spacerowych nad rzeką Ren.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 357. Moduły PV zintegrowane z płytami warstwowymi – elewacja południowa.
Źródło: http://www.reflectionsone.de/en/referenzprojekte/solarfassade.jsp?hasFlash=true

Fot. 358. Widok elewacji południowej.
Źródło: http://www.reflectionsone.de/en/referenzprojekte/solarfassade.jsp?hasFlash=true

Fot. 359. Fragment instalacji BIPV.

Źródło: http://www.reflectionsone.de/en/referenzprojekte/solarfassade.jsp?hasFlash=true

Fot. 360. Kolorowe fale blachy i modułów PV.

Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 361. Pas modułów zintegrowanych z fasadą.

Źródło: http://www.thyssen-solartec.com/aktuell/eurofassade.html

Fot. 362. Detal pokrycia fasady.

Źródło: http://www.thyssen-solartec.com/aktuell/eurofassade/solarfassade.pdf

Fot. 363. Elewacja BIPV.

Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=6

Fot. 364. Reprezentacyjna hala wejściowa.

Źródło: http://www.voelse-rath.com/

Fot. 365. Elewacja BIPV od strony zachodniej.

Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=6

Fot. 366. Elewacja południowa.

Völse + Rath. Źródło: http://www.zukunft-bauen-nrw.de/

Fot. 367. Patio wewnętrzne.

Źródło: http://www.boewe-cardtec.de/index.php?pub=5

Fot. 368. Detal okładziny BIPV.

Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=259

Fot. 369. Widok budynku od strony południowo-zachodniej.

Źródło: http://www.nrel.gov/pv/thin_film/docs/cis_wales_3.jpg

Fot. 370. Czarna fasada BIPV.

Halcrow. Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=213

Fot. 371. Montaż paneli fotowoltaicznych.

Źródło: http://www.nrel.gov/pv/thin_film/docs/shell_cis_bipv_dsc01285.jpg

Fot. 372. Konstrukcja fasady BIPV.

EETS. Źródło: http://www.pvdatabase.org/images_db/Optec0013_RT8.jpg

Fot. 373. Fasada BIPV i zbiornik wody opadowej.

Źródło: http://www.designbuild-network.com/projects/optic-tech/optic-tech2.html

Fot. 374. Widok silosa i sąsiednich obiektów.

Martin Grünvogel. Źródło: http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=70439

Fot. 375. Klatka schodowa.

Martin Grünvogel. Źródło: http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=70439

Fot. 376. Fragment elewacji południowej.

Źródło: http://www.seidel-architekten.de/deutsch/Projekte/Industrie-Gewerbe/1_5.html

Fot. 377. Widok od strony północnej.

Martin Grünvogel. Źródło: http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=70439

Fot. 378. Fasadowa instalacja BIPV.

Źródło: http://www.ais-online.de/6/pdcnewsitem/00/39/94/index_6.html

Fot. 379. Widok z miasta Ulm.

Uwe Schökel. Źródło: http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=59115

Fot. 380. Czarna okładzina BIPV.

Źródło: http://www.seidel-architekten.de/deutsch/Projekte/Industrie-Gewerbe/1_5.html

Fot. 381. Elewacja południowa.

Źródło: http://www.seidel-architekten.de/deutsch/Projekte/Industrie-Gewerbe/1_5.html

Fot. 382. Widok budynku z trzema instalacjami fotowoltaicznymi.

Źródło: http://www.fregnan.ch

Fot. 383. Okładzina fasadowa – czerwone metalowe panele i moduły PV.
Źródło: http://www.erne.net/modultech/referenzdokus/referenzen_loesbuero_wattwerk.pdf
Fot. 384. Instalacja BIPV – elewacja południowa.
Źródło: http://www.wattwerk.ch/Aktuell/Elementeproduktion/index.html
Fot. 385. System Minegie-P.
Źródło: http://www.wattwerk.ch/Aktuell/Elementeproduktion/index.html
Fot. 386. Budowa obiektu.
Źródło: http://www.wattwerk.ch/Aktuell/Elementeproduktion/index.html
Fot. 387. Montaż okładziny BIPV.
Źródło: http://www.wattwerk.ch/Aktuell/Elementeproduktion/index.html
Fot. 388. Semitransparentne moduły od wewnątrz.
MSK Corporation. Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=225
Fot. 389. Fasada BIPV od wewnątrz.
Źródło: http://www.msk.ne.jp/
Fot. 390. Instalacja PV na płaskim dachu.
MSK Corporation. Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=225
Fot. 391. Narożnik budynku z instalacją BIPV.
Źródło: http://www.msk.ne.jp/
Fot. 392. Szklana fasada BIPV od zewnątrz.
MSK Corporation. Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=225
Fot. 393. Widok fabryki.
Źródło: http://www.msk.ne.jp/
Fot. 394. Widok z lotu ptaka – fasadowe i dachowe instalacje fotowoltaiczne.
Źródło: http://sharp-world.com/kameyama/feature/about/index.html
Fot. 395. Kameyama Plant nr 1 – szklana fasada BIPV.
Źródło: http://sharp-world.com/corporate/eco/environment_and_sharp/factory/kameyama.html
Fot. 396. Kameyama Plant nr 2 – szklany narożnik BIPV.
Źródło: http://sharp-world.com/kameyama/virtual/index.html
Fot. 397. Szklana fasada kurtynowa BIPV – Kameyama Plant nr 2, widok od wewnątrz.
Źródło: http://www.sharp.co.jp/kameyama/eco/solar/seethru.html
Fot. 398. Moduły cienkowarstwowe zintegrowane ze szkłem – Kameyama Plant nr 2, widok od wewnątrz.
Źródło: http://sharp-world.com/kameyama/virtual/index.html
Fot. 399. Elewacja BIPV – zachodnia i południowa.
Isofotón. Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=219
Fot. 400. Elewacja południowa – trzy różne instalacje BIPV.
Isofotón. Źródło: http://www2.epia.org/
Fot. 401. Okładzina ceramiczna zintegrowana z modułami PV i szkło BIPV.
Isofotón. Źródło: http://www.isofoton.es
Fot. 402. Fragment elewacji BIPV.
Isofotón. Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=219
Fot. 403. Zadaszenie BIPV.
Isofotón. Źródło: http://www.isofoton.es
Fot. 404. Hala produkcyjna.
Isofotón. Źródło: http://www2.epia.org/
Fot. 405. Szklenie BIPV – widok z zewnątrz.
Isofotón. Źródło: http://www.isofoton.es
Fot. 406. Szklenie BIPV – widok od wewnątrz.
Isofotón. Źródło: http://www.isofoton.es

Fot. 407. Z przodu szklana elewacja BIPV, z tyłu okładzina BIPV z logo firmy.
Źródło: http://www.hierholzer-architekten.de

Fot. 408. Fasada zachodnia.
Źródło: http://www.hierholzer-architekten.de

Fot. 409. Dwukolorowe moduły fotowoltaiczne.
Źródło: http://www.q-cells.de/

Fot. 410. Instalacja PV na płaskim dachu.
Źródło: http://www.hierholzer-architekten.de

Fot. 411. Widok budynku.
Źródło: http://www.hierholzer-architekten.de

Fot. 412. Detal okładziny BIPV.
Źródło: http://www.q-cells.de/

Fot. 413. Von Ardenne, Drezno.
Źródło: http://www.buergerkraftwerk.de/index.php?id=180#702

Fot. 414. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 415. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 416. Swissmill, Bazylea.
Źródło: www.zetter-solar.ch/2001Swissmill.jpg

Fot. 417. Von Ardenne, Drezno.
Źródło: http://www.buergerkraftwerk.de/index.php?id=181

Fot. 418. Migros, Winterthur.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wyss AG.

Fot. 419. Crna Ouest, Loperhet.
Photowatt International. Źródło: http://www2.epia.org/

Fot. 420. Kyocera Mita Hirakata, Osaka.
Kyocera Solar Corporation. Źródło: http://www.pvdatabase.org/

Fot. 421. Lamy, Heidelberg.
Stadt Heidelberg. Źródło: http://www.heidelberg.de/servlet/PB/menu/1125722/index.html

Fot. 422. VKW, Voralberg.
Źródło: http://www.stromaufwaerts.at/en/content/referenzen.php?catID=6

Fot. 423. Optima Centre, Nuneaton.
Źródło: Renewable Energy Focus, may/june 2005, s. 10.

Fot. 424. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 425. Q-CELLS, Thalheim.
Źródło: http://www.hierholzer-architekten.de

Fot. 426. SMA, Kassel.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 427. Oskomera, Deurne.
Źródło: http://www.oskomera.nl/projectpage.php?pid=144&wmid=1

Fot. 428. Acciona Solar, Sarriguren.
Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsmore.php?ID=336

Fot. 429. EPFL- LRE, Lozanna.
EPFL-LESO. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 333.

Fot. 430. Migros, Winterthur.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wyss AG.

Fot. 431. ThyssenKrupp, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 432. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 433. KACO, Neckarsulm.
Źródło: Materiały reklamowe firmy KACO.

Fot. 434. Metzler, Feldkirch.
Stromaufwärts. Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=291

Fot. 435. STIMicroelectronic, Grenoble.
Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=107

Fot. 436. Audi, Ingolstadt.
Źródło: http://www.amordad.es

Fot. 437. Honda, Kumamoto.
Źródło: http://www.semiconductor-today.com/

Fot. 438. Aleo Solar, Prenzlau.
Źródło: http://www.aleo-solar.de/

Fot. 439. Lehmann Kuchen, Rust.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Rheinzink.

Fot. 440. Scheuten Solar, Venlo.
Źródło: http://www.scheutensolar.com/solar

Fot. 441. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 442. Nah & Frisch, Thening.
Źródło: http://www.stromaufwaerts.at/en/content/popup_referenz.php?rsID=165

Fot. 443. Fisher, Waldachtal.
Solarnova. Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=34

Fot. 444. Kamp C, Antwerpia.
Źródło: http://www.photovoltech.be/index.php?pagina_id=19

Fot. 445. Ferdinand-Braun Institut, Berlin.
Źródło: http://www.sulfurcell.de/39.html

Fot. 446. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 447. AlkiTechnik, Ingolstadt.
Źródło: http://www.bachschuster.de/

Fot. 448. Fennel, Bad Oeynhausen.
Źródło: http://www2.epia.org/04Media/pictures.asp?page=24&search=Search&order=

Fot. 449. Technium OpTIC, St Asaph.
Źródło: http://www.nrel.gov/pv/thin_film/docs/cis_wales_2.jpg

Fot. 450. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 451. ECN 42, Petten.
Źródło: http://www.bear.nl

Fot. 452. CIS-FAB, Schwäbisch Hall.
Źródło: http://www.renderart.de/portfolio/visualisierungen/cisfab_wurth_solar_2/

Fot. 453. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 454. Deutsche Solar, Freiberg.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 455. IMP-CRNS, Perpignan.

Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=123

Fot. 456. Aleo Solar, Prenzlau.

Źródło: http://www.aleo-solar.de/

Fot. 457. Deutsche Solar, Freiberg.

Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 458. WKC, Oosterheem.

Źródło: http://www.oskomera.nl/projectpage.php?pid=154

Fot. 459. Bioenergy, Kufstein.

Źródło: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=341

Fot. 460. Würth Elektronik, Waldenburg.

Źródło: http://www.energie-projekte.de/

Fot. 461. Scheuten Solar, Gelsenkirchen.

Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Fot. 462. EPFL-LESO, Lozanna.

I. B. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 374.

Fot. 463. SBL, Linz.

Źródło: http://www.colt-france.fr/projets/sbl/

Fot. 464. ECN 31, Petten.

Marcel van Kerckhoven. Źródło: http://www.bear.nl

Fot. 465. Wasserwerk, Schwerin.

Źródło: http://www.solarintegration.de/index.php?id=227&projekt_id=3&ausgabe=187

Fot. 466. Städtische Werke, Winterthur.

Fabrisolar AG. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 378.

Fot. 467. Feat, Lugano.

Źródło: http://www.coltinfo.co.uk/

RYSUNKI

Rys. 1. Etruria - fabryka ceramiki Josiaha Wedgwooda, Stoke-on-Trent (arch. Joseph Pickford, 1769).
Źródło: http://www.thepotteries.org/works/tunstall/greengates.htm

Rys. 2. Albion Mill, Londyn (1786).
Źródło: http://www.vauxhallsociety.org.uk/Albion%20Mill.html

Rys. 3. Projekt fabryki w żeliwnej konstrukcji szkieletowej (proj. James Bogardus, 1848).
Źródło: GIEDION S., *Przestrzeń...*, s. 224.

Rys. 4. Studium centrali elektrycznej (arch. Antonio Sant'Elia, 1914).
Źródło: http://www.undo.net/cgi-bin/

Rys. 5. Preston, Anglia.
Źródło: http://www.cleo.net.uk/followtheyarn/

Rys. 6. Zapiski i rysunek z karnetu podróżnego Karola Schinkla.
Źródło: BENEVOLO L., *Histoire de l'architecture moderne, t.1., La revolution industrielle*, Dunod, Paris 1987, s. 63.

Rys. 7. Szkice brise-soleils Le Corbusiera.
Źródło: http://www.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/

Rys. 8. Pięć skór współczesnego człowieka, do których dochodzi się kolejno wraz z rozwojem świadomości (Hundertwasser).
Źródło: http://www.leninimports.com/hundertwasser_bio.html

Rys. 9. „Jesteś gościem natury. Zachowuj się" - plakat dla Greenpeace (Hundertwasser).
Źródło: http://www.leninimports.com/hundertwasser_bio.html

Rys. 10. Schemat cyklu życia budynku – system linearny.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Rys. 11. Schemat cyklu życia budynku – system cykliczny.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Rys. 12. Główne aspekty budownictwa o charakterze proekologicznym.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Rys. 13. Polyvalent wall (Mike Davies, 1981).
Źródło: CELADYN W., *Przegrody...*, s. 145.

Rys. 14. Główne elementy kształtujące nowoczesną powłokę budynku.
Na podst. SCHITTICH C. (ed.), *Buliding...*, s. 29.

Rys. 15. Ewolucja termoizolacji przegród energetycznie biernych.
Na podst. CELADYN W., *Przegrody...*, s. 23.

Rys. 16. Ewolucja przegród w kierunku uaktywnienia energetycznego.
Na podst. CELADYN W., *Przegrody...*, s. 22.

Rys. 17. Procentowy udział źródeł energii w generacji energii elektrycznej.
Na podst. http://www.iea.org

Rys. 18. Maszyna solarna zaprezentowana na Światowej Wystawie w Paryżu (Augustine Mouchot, 1878).
Źródło: http://www.cottier.org/production/edisonplus.htm

Rys. 19. Maszyna solarna (John Ericsson).
Źródło: http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html

Rys. 20. *„Coś nowego pod Słońcem"* - reklama Bell Solar Bartery w Look Magazine (1956).
Źródło: http://www.porticus.org/bell/belllabs_photovoltaics.html

Rys. 21. Wizja wielkiej scentralizowanej farmy solarnej (1974).
National Science Foundation. Źródło: PERLIN J., *From...*, s. 148.

Rys. 22. Panele solarne na dachu budynku mieszkalnego oraz instalacja wolnostojąca - ilustracja z francuskiej encyklopedii z roku 1929.
Źródło: PERLIN J., *From...*, s. 148.

Rys. 23. Ogłoszenie reklamowe firmy Alpha Real.
Źródło: PERLIN J., *From...*, s. 149.

Rys. 24. Spadek cen i wzrost rynku modułów PV w latach 1975-1990.
Źródło: http://photovoltaics.sandia.gov/docs/PVFoverA_Growing%20_Market.htm

Rys. 25. Schemat porównawczy idealnego i rzeczywistego konwertera energii solarnej.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Rys. 26. Schemat budowy ogniwa fotowoltaicznego.
Na podst.: http://www.renewables-made-in-germany.com/en/photovoltaics/

Rys. 27. Modularna budowa systemu fotowoltaicznego.
Na podst. EIFFERT P., KISS G., *Building-Integrated...*

Rys. 28. Wpływ zacienienia na generację energii PV.
Demosite. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 205.

Rys. 29. Wpływ temperatury na wydajność modułu PV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Rys. 30. Procentowy udział poszczególnych technologii materiałowych na rynku PV.
Źródło: http://www.photon-magazine.com

Rys. 31. Schemat budowy ogniwa Uni-Solar®.
ECD Ovonics. Źródło: http://www.uni-solar.com

Rys. 32. Porównanie możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego przez ogniwa płaskie i sferyczne.
Źródło: http://www.kyosemi.co.jp/

Rys. 33. Przewidywany udział poszczególnych technologii materiałowych na rynku ogniw fotowoltaicznych.
Źródło: http://www.epia.org

Rys. 34. Schemat budowy modułu PV typu szkło-folia.
Źródło: www.efl-aufbau.en/

Rys. 35. Schemat budowy modułu PV typu szkło-szkło.
Źródło: www.efl-aufbau.en/

Rys. 36. Wyprowadzenie połączeń elektrycznych z modułu PV.
Źródło: www.wm.baden-wuerttemberg.de

Rys. 37. Różne układy ogniw solarnych w stosunku do brzegu modułu.
Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 47.

Rys. 38. Kierunki rozwoju systemów BIPV wg. I. B. Hagemanna.
Na podst. HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 80.

Rys. 39. Konstrukcje fasad dla integracji z systemem PV.
Źródło: MÜLLER H. F. O., *Integration...*

Rys. 40. Zależność zysków energetycznych (w procentach) od orientacji i nachylenia generatora PV.
Enecolo AG. Źródło: www.solarstrom.ch/

Rys. 41. Wykorzystanie promieniowania rozproszonego w zależności od nachylenia instalacji BIPV względem planu horyzontalnego.
Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 63.

Rys. 42. Kąt padania promieniowania na nachylony moduł PV.
Martin Van Der Laan. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 187.

Rys. 43. Przykładowe sytuacje niekorzystnego zacienienia powłoki BIPV.
Źródło: http://www.agsn.de/

Rys. 44. Śnieg na panelu PV.
Martin Van Der Laan. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 207.

Rys. 45. Wpływ zacienienia/zabrudzenia na ilość energii wyjściowej modułu PV.
Na podst. http://www.uni-solar.com

Rys. 46. Ceny materiałów okładzinowych.
Źródło: http://www.scheutensolar.com

Rys. 47. Konstrukcja fasady wentylowanej z okładziną PV.
Na podst. HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 103.

Rys. 48. System ALUHIT dla fasad wentylowanych, prod. Wyss AG.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wyss AG.

Rys. 49. Wpływ wzrostu temperatury na obniżenie wydajności ogniw.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Corus Bausysteme GmbH.

Rys. 50. PowerFilm® Solar.
Źródło: http://www.powerfilmsolar.com

Rys. 51. Schematy budowy różnych typów szkła fotowoltaicznego.
Źródło: http://www.schott.com/photovoltaic/english/

Rys. 52. Możliwości integracji modułu PV z szybami zespolonymi.
Na podst. KISS G., KINKEAD J., *Optimal...*, s.15.

Rys. 53. Fasada ciepło-zimna FW 50+, prod. Schüco International.
Źródło: http://www.schueco.com/web/de

Rys. 54. Systemy fasad słupowo-ryglowych - przeprowadzenie okablowania elektrycznego przez profile konstrukcyjne.
Źródło: www.oskomera.nl/

Rys. 55. Metenergy®, prod. METECNO INDUSTRIE S.P.A.
Źródło: www.metecno.com/

Rys. 56. Kalzip® AluPlusSolar, prod. Corus Bausysteme GmbH.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Corus Bausysteme GmbH.

Rys. 57. Główne etapy cyklu życia produktu.
Na podst. http://www.firstsolar.com/

Rys. 58. Zużycie energii oraz krzemu w produkcji ogniw krystalicznych i amorficznych.
Na podst.: http://www.uni-solar.com

Rys. 59. Czas zwrotu kosztów energii dla różnych technologii ogniw PV w Europie północnej i południowej.
Źródło: ALSEMA E. A., WILD-SCHOLTEN DE M. J., FTHENAKIS V. M., *Environmental...*

Rys. 60. SolarWall, prod. Conserval Engineering Inc.
Na podst. SØRENSEN H., MUNRO D., *Hybrid...*

Rys. 61. Kalzip®AluPlusSolar, prod. Corus Bausysteme GmbH.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Corus Bausysteme GmbH.

Rys. 62, 63. ASI THRU® z podwójnym szkleniem, prod. RWE SCHOTT Solar.
Źródło: http://www.schott.com/photovoltaic/english/

Rys. 64. Holo-Volt®, prod. GLB.
Źródło: http://www.glbau.de

Rys. 65, 66, 67. Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG (Merkendorf).
Źródło: Materiały reklamowe Glaswerke Arnold GmbH + Co. KG.

Rys. 68. Mocowanie okładziny BIPV.
I. Hagemann. Źródło: HAGEMANN I.B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 332.

Rys. 69. Schemat koncepcyjny budynku.
Źródło: SLESSOR C., *Eco-Tech...*, s. 44.
Rys. 70. Konstrukcja wentylowanej fasady BIPV – przekrój.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Wicona Bausysteme GmbH.
Rys. 71. Schemat systemu energetycznego.
Źródło: http://www.stahl-sonnenenergie.de/
Rys. 72. Konstrukcja szklanej fasady - przekrój.
Źródło: DETAIL 3/1999, s. 409.
Rys. 73. Rzut obiektu.
Źródło: http://www.architekt-schwerin.de
Rys. 74. Przekroje.
Źródło: http://www.architekt-schwerin.de
Rys. 75. Przekrój przez elewację.
Źródło: BEAR Architekten. Źródło: PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 109.
Rys. 76. Schemat konstrukcji fasady BIPV.
Źródło: Materiały reklamowe firmy Schüco International KG.
Rys. 77. Schemat konstrukcji fasady.
Źródło: http://www.ais-online.de
Rys. 78. Schemat budynku z zaznaczeniem instalacji BIPV.
Źródło: http://www.amordad.es
Rys. 79. Elewacja zachodnia.
Źródło: http://www.constructingexcellence.org.uk/
Rys. 80. Schemat konstrukcji zakrzywionej fasady CIS.
Źródło: http://www.constructingexcellence.org.uk/
Rys. 81. Schemat instalacji solarnych.
Isofotón. Źródło: http://www.isofoton.es
Rys. 82. Schemat systemu PV podłączonego do sieci oraz systemu autonomicznego.
Źródło: http://int.rheinzink.de/
Rys. 83. Symboliczny diagram procesów, jakim ulega promieniowanie słoneczne przechodząc przez atmosferę ku powierzchni Ziemi.
Źródło: http://www7.cptec.inpe.br/
Rys. 84. Zależność natężenia promieniowania od kąta padania na powierzchnię Ziemi.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.
Rys. 85. Intensywność promieniowania solarnego i czas jego trwania w zależności od pory roku, warunków pogodowych i pozycji geograficznej.
Źródło: http://sofia.fhda.edu

TABELE

Tab. 1. Prognozy związane ze zmianami klimatu w wyniku globalnego ocieplenia.
Na podst. III Raportu IPCC (2001).

Tab. 2. Podstawowe zalety i wady technologii PV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Tab. 3. Porównanie sprawności ogniw fotowoltaicznych w zależności od koloru.
Na podst. Sunways.

Tab. 4. Różne kryteria podziału struktur elewacyjnych dla integracji z generatorem PV.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Tab. 5. Potencjał odpowiedniej dla instalacji BIPV powierzchni fasady i dachu budynków w wybranych krajach świata.
Na podst. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 196.

Tab. 6. Potencjał produkcji energii elektrycznej przez systemy BIPV (przy założeniu dobrych zysków solarnych, tzn. 80% maksymalnych).
Na podst. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 197.

Tab. 7. Potencjał BIPV w m^2/*per capita* dla krajów centralno-zachodniej Europy.
Na podst. PRASAD D., SNOW M. (eds.), *Designing...*, s. 195.

Tab. 8. Główne zagrożenia podczas produkcji ogniw solarnych.
Na podst. FTHENAKIS V. M. *Overview...*, s. 854-868.

Tab. 9. Porównanie wartości współczynnika przenikania ciepła [U] dla różnych typów szkła konwencjonalnego i fotowoltaicznego (ASI THRU®).
Na podst. RWE Schott Solar.

Tab. 10. Porównanie cech konwencjonalnych i alternatywnych źródeł energii.
Magdalena Muszyńska-Łanowy.

Tab. 11. Sprawność ogniw fotowoltaicznych. EPIA
Na podst. http://www2.epia.org/

Tab. 12. Realna wydajność energetyczna systemu PV.
Na podst. GRĄDZKI M., KOZŁOWSKI A., Kontrola...

Tab. 13. Natężenie promieniowania dla różnych warunków pogodowych.
Na podst. HAGEMANN I. B., *Gebäudeintegrierte...*, s. 62.

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

AC	Prąd przemienny (ang. *Alternating Current*)
AIST	Agency of Industrial Science and Technology
AM	Liczba masy powietrznej (ang. *Air Mass*)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
a-Si	Krzem amorficzny (ang. *Amorphous Silicon*)
AT&T	American Telephone and Telegraph
B&R	Badawczo-rozwojowy
BEES	Building for Environmental and Economic Sustainability
BIPV	Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem (ang. *Building Integrated Photovoltaics*)
BOS	Balance of System
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
CdTe	Tellurek kadmu (ang. *Cadmium Telluride*)
CH_4	Metan
CIGS	Miedź-ind-gal-diselen (ang. *Copper Indium Gallium Di-Selenide*)
CIS	Selenek indowo-miedziowy (ang. *Copper Indium Selenium*)
CO_2	Dwutlenek węgla
CSG	Crystalline Silicon on Glass
c-Si	Krzem krystaliczny (ang. *Crystalline Silicon*)
CTE	Código Técnico de Edificación
DC	Prąd stały (ang. *Direct Current*)
DGEMP	Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières
DIDEME	Direction de la Demande et des Marchés Énergétiques
DOE	U.S. Department of Energy
DSC	Dye-sensitized cell
ECN	Energy research Centre of the Netherlands
EFG	Edge defined growth
EJ	Eksadżul
EPBT	Czas zwrotu kosztów energii (ang. *Energy Payback Time*)
EPDM	Kauczuk etylenowo-propylenowo-dienowy (ang. *Ethylene Propylene Diene*)
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
ESG	Szkło hartowane
ESTI	European Solar Test Installation
ETFE	Etylen/tetrafluoroetylen (ang. *Ethylene/Tetrafluoroethylene*)
EVA	Etylen/octan winylu (ang. *Ethylen Vinylacetat*)
EWZ	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
GIPV	Gebäudeintegrierte Photovoltaik
GW	Gigawat
HOE	Holograficzne Elementy Optyczne (ang. *Holographic Optical Elements*)
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
I	Natężenie prądu elektrycznego
IEA	International Energy Agency
IEA-PVPS	IEA Photovoltaic Power Systems Programme
IEC	International Electrotechnical Commission
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISE	Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems
kW	Kilowat

kW/h	Kilowatogodzina
kWp	Kilowat peak
LCA	Life Cycle Assessment
LESO-PB	Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment
MIT	Massachusetts Institute of Technology
m-Si	Krzem monokrystaliczny (ang. *Monocrystalline Silicon*)
MW	Megawat
N_2O	Podtlenek azotu
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization
NO_X	Tlenki azotu
NREL	National Renewable Energy Laboratory
O_3	Ozon
OECD	Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju
OEM	Original Equipment Manufacturer
ONZ	Organizacja Narodów Zjednoczonych
OZE	Odnawialne źródła energii
P	Moc
PMMA	Polimetakrylan metylu, pleksiglas (ang. *Polymethyl Methacrylate*)
PN	Polska Norma
p-n	Złącze p-n
PR	Współczynnik wydajności (ang. *Performance Ratio*)
p-Si	Krzem polikrystaliczny (ang. *Polycrystalline Silicon*)
PV	Fotowoltaika (ang. *Photovoltaic*)
PV/T	Fotowoltaiczno-termalny (ang. *Photovoltaic/Thermal)*
PVB	Poliwwinylobutyral (ang. *Polyvinyl Butyral)*
PVC	Polichlorek winylu (ang. *Polyvinyl Chloride)*
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
SDA	Solar Design Associates
Si	Krzem (ang. *Silicon*)
SiH_4	Krzemowodór
SO_2	Tlenek siarki
STC	Warunki standardowe (ang. *Standard Test Conditions)*
TiO_2	Dwutlenek tytanu
TPE	Termoplastyczny elastomer (ang. *Thermoplastic Elastomer)*
TPO	Termoplastyczna poliolefina (ang. *Thermoplastic Polyolefin Elastomer)*
TVG	Szkło półhartowane
TW	Terawat
U	Napięcie prądu elektrycznego
UE	Unia Europejska
ULEP	United Nations Environment Programme
UV	Ultrafiolet
V	Wolt
VSG	Szkło laminowane
W	Wat
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
Wp	Wat peak (ang. *Watt peak*)

ANEKS

1.
ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII (OZE)

Istnieją różne rodzaje energii, które można uznać za odnawialne:

- energia wiatru (elektrownie wiatrowe),
- energia biomasy (biomasa stała, biomasa gazowa),
- energia Słońca (kolektory słoneczne, fotowoltaika),
- energia Ziemi (systemy geotermalne),
- energia wody (elektrownie wodne, energia pływów, fal morskich).

Technologie OZE umożliwiają generowanie:

- ciepła (biogaz, drewno energetyczne, solarne instalacje termiczne, geotermia),
- elektryczności (fotowoltaika, wiatr, mikrohydraulika).

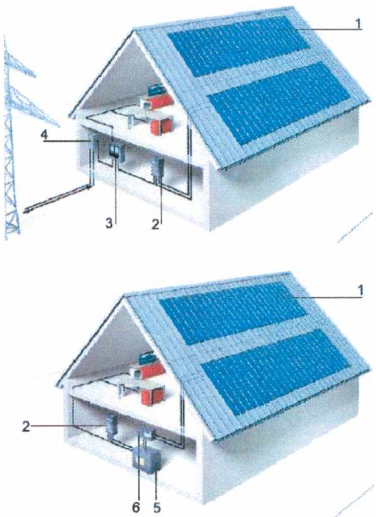
ENERGIE ODNAWIALNE	ENERGIE KONWENCJONALNE
▪ Nie generują emisji CO_2 ani innych gazów zanieczyszczających atmosferę	▪ Spalanie paliw kopalnych powoduje zanieczyszczenie atmosfery
▪ Nie generują odpadów	▪ Energia nuklearna i z paliw kopalnych generuje toksyczne odpady tworząc długotrwałe zagrożenie dla środowiska
▪ Są niewyczerpalne	▪ Zasoby paliw kopalnych są ograniczone

Tab. 10. Porównanie cech konwencjonalnych i alternatywnych źródeł energii.

2.
TYPY SYSTEMÓW FOTOWOLTAICZNYCH

Systemy fotowoltaiczne dzielą się na:

- Autonomiczne (ang. *off-grid*) oddalone od sieci energetycznej;
- Autonomiczne z możliwym dostępem do sieci energetycznej;
- Dołączone do sieci (ang. *on-grid*).



Rys. 82. Schemat systemu PV podłączonego do sieci oraz systemu autonomicznego. 1 – generator PV, 2 – falownik, 3 – licznik, 4 – podłączenie do sieci, 5 - akumulator, 6 – regulator ładowania.

Autonomiczne systemy PV wykorzystywane są głównie tam, gdzie nie ma możliwości dołączenia do sieci energetycznej, czyli w miejscach ze słabo rozwiniętą infrastrukturą energetyczną (systemy oddalone od sieci). Gdy istnieje możliwość dostępu do sieci, wykorzystuje się je m.in. ze względu na bezpieczeństwo zasilania. Wygenerowana energia magazynowana jest w akumulatorach, np. niklowo-kadmowych, niklowo-wodorkowych[687]. Urządzenia magazynujące zwiększają koszty instalacji, są również problematyczne ze względów ekologicznych.

Systemy PV dołączone do sieci dostarczają wyprodukowaną energię elektryczną do sieci energetycznej wprowadzając ją poprzez falownik. Małe instalacje na budynkach produkują energię o mocy mierzonej w kW (tworzące rozproszony system energetyczny), duże scentralizowane systemy generują MW energii. Ponieważ wygenerowana zielona energia może być użyta w zupełnie innym miejscu, taka metoda produkcji minimalizuje ilość energii wytwarzanej metodą tradycyjną. Aktualnie udział energii PV w bilansie energetycznym jest stosunkowo mały, przewiduje się jednak znaczący wzrost jej znaczenia w przyszłości. Służą temu m.in. liczne programy wspierające rozwój technik solarnych, OZE i samej fotowoltaiki. Dzięki programom przeprowadzonym np. w Niemczech cena energii sprzedawanej do sieci jest na tyle wysoka, że zyski pokrywają wciąż wysokie koszty systemów, a nawet i tworzenie norm prawnych. Cena energii sprzedawanej do sieci może być niższa od kupowanej z sieci energetycznej – wówczas falownik podłączony jest tak, żeby dostarczyć energię PV do instalacji budynku, a ewentualne nadwyżki odprowadzane są do sieci przez licznik energii sprzedawanej. W razie potrzeby (nocą, w pochmurne dni, itp.) wykorzystuje się energię elektryczną skupowaną tradycyjnie z sieci.

[687] PIETNOCZKA W., *Generalne...*

3.
PODSTAWOWE PARAMETRY SYSTEMU PV

Sprawność jest miarą wydajności ogniwa fotowoltaicznego - określa procentowo ile energii solarnej padającej na ogniwo ulegnie konwersji w energię elektryczną. Jej wartość różni się w zależności od materiału, z jakiego wykonane są ogniwa solarne. Im większa sprawność użytych ogniw, tym mniejsza może być powierzchnia modułów PV.

	Sprawność ogniwa w warunkach STC	Sprawność modułu	Powierzchnia modułu dla 1 kWp
Krzem monokrystaliczny (m-Si)	16-19 %	13-15 %	~7 m^2
Krzem polikrystaliczny (p-Si)	14-15 %	12-14%	~8 m^2
Krzem amorficzny (a-Si)	5-7%		15 m^2
Selenek indowo-miedziowy (CIS)	7-11 %		10 m^2
Tellurek kadmu (CdTe)	8-11 %		11 m^2

Tab. 11. Sprawność ogniw fotowoltaicznych. W warunkach laboratoryjnych (STC) testowane materiały osiągają większe parametry sprawnościowe niż w warunkach rzeczywistych. Dane: EPIA/2008

Moc wyjściowa modułu wyrażana jest w watach mocy szczytowej Wp (ang. *Watt peak*). Jest to maksymalna moc dostarczana przez moduł w znormalizowanych warunkach STC (ang. *Standard Test Conditions*), tj. przy:

- natężeniu oświetlenia 1000 W/m^2
- spektrum promieniowania AM 1.5
- temperaturze płytek solarnych +25°C.

W praktyce moduły rzadko pracują w warunkach standardowych.

Współczynnik sprawności PR (ang. *Performance Ratio*) to miara wydajności (efektywności konwersji energii) systemu PV. Definiowany jest jako stosunek energii wyprodukowanej do energii nominalnej.

$$PR = E_{PV}/E_{SG}*\mu_{STC}\ [\%]$$ (gdzie ESG*μSTC = energia nominalna)

Ponieważ realne warunki różnią się od standardowo przyjętych, wartość PR dla współczesnych systemów kształtuje się na poziomie ~80% (tab. 12). Wpływają na to czynniki takie jak:

- rzeczywista moc wyjściowa modułów – w realnych warunkach moduły generują moc o mniejszej wartości niż podawane przez producentów moce nominalne,
- rzeczywiste natężenie promieniowania –<1000 W/m^2,
- rzeczywista temperatura pola modułów – często przekracza +25°C,
- parametry falownika,
- straty po stronie okablowania DC,
- orientacja i nachylenie powierzchni recepcyjnej,
- zacienienie generatora PV[688].

Moc nominalna	100%
Moc realna	- 5%
Natężenie prom. <1000 W/m^2	- 5%
Falownik	- 7%
Temperatura > +25°C	- 3%
Energia użyteczna	**~80%**

Tab. 12. Realna wydajność energetyczna systemu PV. Na podst. GRĄDZKI M., KOZŁOWSKI A., *Kontrola...*

[688] Projektanci mogą mieć wpływ na optymalizację parametrów systemu m.in. poprzez odpowiednie nachylenie i orientację modułów, unikanie nawet częściowego ich zacienienia oraz dobrze zaprojektowaną instalację elektryczną (dobór falowników, ograniczenie strat przesyłu prądu).

4.
SŁOŃCE JAKO ŹRÓDŁO ENERGII DLA KONWERSJI FOTOWOLTAICZNEJ

W procesie projektowania systemu fotowoltaicznego uwzględnianych jest wiele czynników związanych z promieniowaniem słonecznym. Analizie podlegają przede wszystkim: geometria solarna, intensywność promieniowania oraz czynniki klimatologiczne.

Promienie Słońca docierają do Ziemi w postaci strumienia fal elektromagnetycznych (promieniowanie elektromagnetyczne) i cząstek elementarnych (promieniowanie korpuskularne). Długości fal rozciągają się w szerokim zakresie: od promieniowania gamma przez rentgenowskie, ultrafiolet, widzialne, podczerwień, aż do fal radiowych. Atmosfera ziemska przepuszcza tylko część z nich: promieniowanie optyczne o długości fali 380-760 nm (obejmujące część ultrafioletu, widzialne i podczerwień) oraz fale radiowe. Dane dotyczące widma światła, długości fali i rozkładu promieniowania są istotne w inżynierii solarnej, każda z technologii wykorzystuje bowiem określony zakres promieniowania. Urządzenia fotowoltaiczne reagują najpierw na długości fal w zakresie widzialnym i rejonach bliskich podczerwieni.

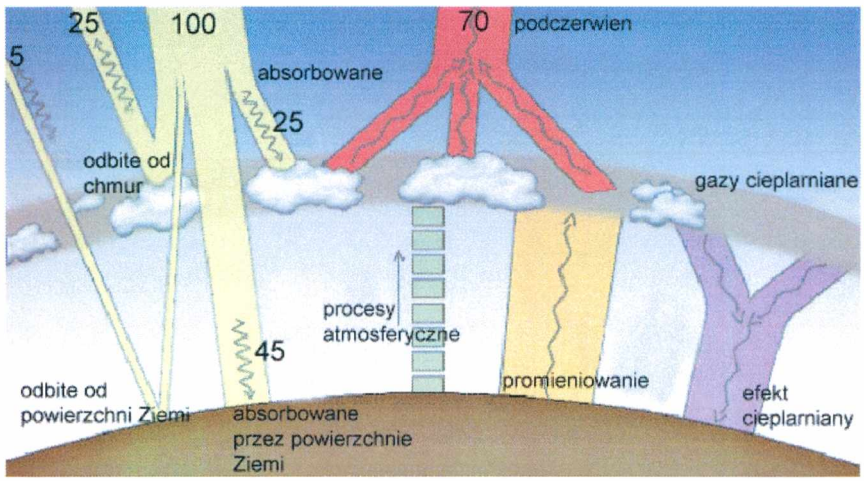
Aby optymalnie wykorzystać promieniowanie słoneczne konieczne jest określenie poziomu energii docierającej do powierzchni recepcyjnej. Strumień energii promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery ziemskiej, tzw. stała słoneczna[689], wynosi ~1360 W/m^2. Wskutek zmian aktywności Słońca i jego odległości od Ziemi w rzeczywistości ulega ona wahaniom w ciągu roku o kilka procent. Intensywność energii słonecznej w zasadzie stała poza atmosferą ziemską, na powierzchni naszej planety ulega zmianom. Brak stałości promieniowania jest niekorzystny i stanowi (poza kosztami inwestycji) główną niedogodność dla systemów fotowoltaicznych. Przechodząc przez atmosferę pełną rozmaitych cząsteczek (zanieczyszczeń, pyłów, gazów, cząstek wywianej gleby, związków chemicznych, pary wodnej) światło jest „filtrowane" - część promieniowania zostaje pochłonięta (~30-40%), odbita oraz rozproszona. Całkowity strumień energii słonecznej rozkłada się zatem na dwie składowe:

- **promieniowanie bezpośrednie** - docierające do powierzchni recepcyjnej bezpośrednio od tarczy słonecznej, mierzone na powierzchni prostopadłej do kierunku propagacji. Jego natężenie zależy od wysokości Słońca na niebie, położenia geograficznego (tzn. szerokości

[689] Ilość energii słonecznej docierającej w ciągu 1 sekundy do powierzchni 1 m^2, prostopadłej do promieni słonecznych, leżącej tuż poza atmosferą w średniej odległości Ziemi od Słońca (149.5 mln km). PIETNOCZKA W., KOZŁOWSKI A., *Podstawy...*

geograficznej i wysokości nad poziomem morza), stopnia zachmurzenia, właściwości rozpraszających powietrza.

- **promieniowanie rozproszone (dyfuzyjne)** - dochodzące do powierzchni recepcyjnej ze wszystkich stron nieba z wyłączeniem światła bezpośredniego.



Rys. 83. Symboliczny diagram procesów, jakim ulega promieniowanie słoneczne przechodząc przez atmosferę ku powierzchni Ziemi. Falowy charakter światła powoduje, iż promieniowanie elektromagnetyczne padając na granicę między dwoma ośrodkami ulega m.in.:
- odbiciu (refleksyjność jest proporcjonalna do gładkości powierzchni, na którą pada),
- załamaniu (przy ukośnym przejściu przez granicę ośrodków o różnej gęstości),
- dyfrakcji (ugięciu),
- interferencji.

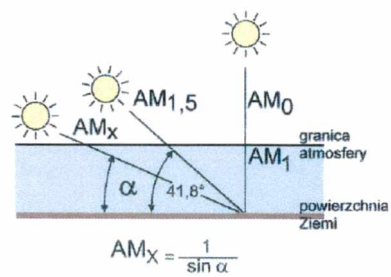
Z kolei korpuskularne właściwości promieniowania powodują m.in.:
- absorpcję,
- zjawisko fotoelektryczne.

W rezultacie, do ziemskiej powierzchni dochodzi ~855-1060[690] W/m^2. Przy bezchmurnym niebie i w warunkach idealnej przeźroczystości powietrza udział promieniowania bezpośredniego może sięgać nawet 90 % (rozproszeniu ulega ~10-20 % całkowitego promieniowania). Przy silnym zachmurzeniu ma ono charakter rozproszony nawet w blisko 100 %. Dla systemów PV najważniejsze jest promieniowanie bezpośrednie. Udział rozproszonego jest także istotny, w Europie środkowej stanowi ono bowiem znaczną część promieniowania całkowitego (~40% w maju, ~80% w grudniu).

Warunki pogodowe			
Promieniowanie globalne	600 – 1000 W/m^2	200-400 W/m^2	50-150 W/m^2
Udział promieniow. rozproszonego	10 - 20 %	20 – 80 %	80 – 100 %

Tab. 13. Natężenie promieniowania dla różnych warunków pogodowych. Na podst. HAGEMANN I. B.

Spektrum światła zależy od tego, przez ile warstw atmosfery musi ono przejść zanim dotrze do powierzchni Ziemi, co określa tzw. **liczba masy powietrznej AM** (ang. *air mass*). Wynika z tego, iż dla natężenia promieniowania istotna jest wysokość miejsca pomiaru oraz kąt, pod jakim światło pada na powierzchnię recepcyjną.

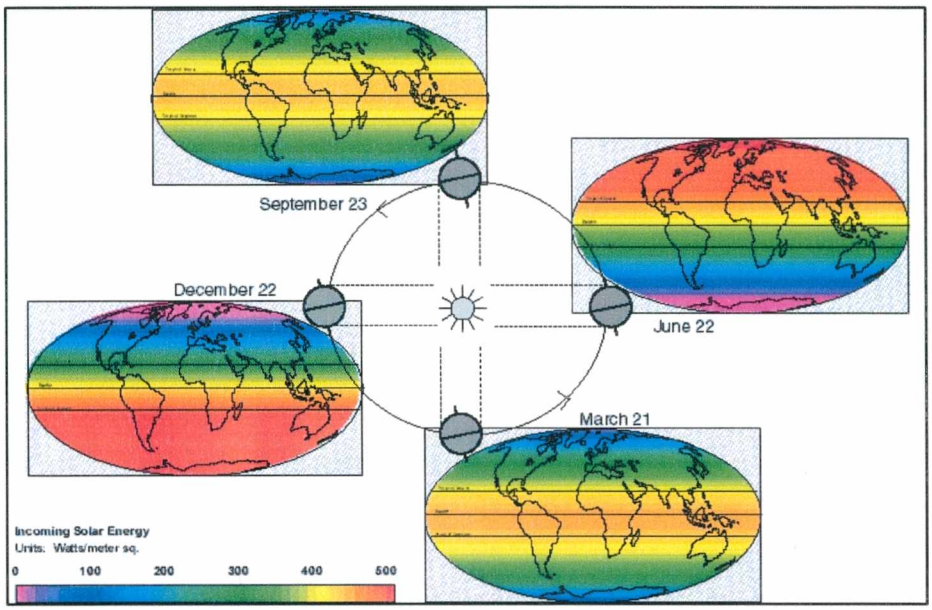


Rys. 84. Zależność natężenia promieniowania od kąta padania na powierzchnię Ziemi.

Natężenie promieniowania na powierzchni Ziemi zmienia się w wyniku wariacji odległości Ziemia- Słońce. Pod wpływem ruchów Ziemi wokół Słońca oraz wokół własnej osi przechodzącej przez bieguny kąt padania promieni na określoną powierzchnię recepcyjną jest różny w zależności od pory dnia i roku[691]. Ze względu na zmianę położenia Słońca ważne jest odpowiednie ukierunkowanie powierzchni recepcyjnej generatora PV. Najbardziej korzystny dla półkuli północnej jest kierunek południowy (odwrotnie dla południowej).

[690] W Polsce ~1000 W/m^2, w Europie południowej więcej.
[691] W Europie środkowej natężenie promieniowania atem może być ~5 razy większe niż w okresie od listopada do stycznia. PIETNOCZKA W., KOZŁOWSKI A., *Podstawy...*

Brak stałości promieniowania słonecznego stanowi obok kosztów inwestycji główną niedogodność dla systemów fotowoltaicznych. Znając zmienność promieniowania oraz poszczególne jego składowe można wybrać najbardziej korzystną technologię ogniw[692] a systemy PV odpowiednio dostosować do optymalnego wykorzystania energii nawet w trudnych warunkach.



Rys. 85. Intensywność promieniowania solarnego i czas jego trwania w zależności od pory roku, warunków pogodowych i pozycji geograficznej.

Albedo – stosunek ilości promieniowania odbitego do ilości promieniowania padającego.

Nasłonecznienie (insolacja) [J/m²s] – ilość energii promieniowania słonecznego padającego na jednostkę powierzchni w jednostce czasu. Zależy od wartości stałej słonecznej, wysokości Słońca nad horyzontem, zachmurzenia, przezroczystości powietrza, kata nachylenia względem promieni słonecznych.

Usłonecznienie – ilość czasu w ciągu doby, miesiąca lub roku, w którym bezpośrednie promieniowanie słoneczne dochodzi do danego miejsca powierzchni Ziemi.

Natężenie promieniowania – strumień energii promieniowania padającego w jednostce czasu prostopadle na jednostkę powierzchni.

Na podst. GAJEWSKI K., MENDALUK Z. T., *Ekologia...*

Wg Davida F. Menicucci z Sandia National Laboratories: *„im dokładniej poznamy źródło energii słonecznej, tym lepiej będziemy mogli zoptymalizować system. A więc szczegółowe dane na temat promieniowania są ważnym czynnikiem w projektowaniu technologii solarnych"*. Dostęp do tych danych jest dla projektantów niezbędny już w momencie planowania inwestycji. Szczegółowe informacje o tym, jak dużo energii jest dostępne w danym miejscu i ile można wykorzystać w procesie konwersji, umożliwi dobór najbardziej efektywnej w danym przypadku technologii, a w dalszej fazie przeprowadzenie odpowiednich obliczeń i symulacji komputerowych dla optymalizacji urządzeń. Współczesne specjalistyczne techniki i narzędzia pozwalają na wyjątkowo dokładne analizy światła godzina po godzinie.

Podsumowując, dla skuteczności rozwiązań PV konieczna jest znajomość wielu parametrów promieniowania solarnego zależnych m.in. od:

- charakterystyki miejsca (lokalizacja geograficzna, wysokość nad poziomem morza, typ klimatu),
- pory dnia, pory roku,
- lokalizacji na miejscu (otoczenie, obecność elementów zacieniających w postaci zieleni, innych budynków itd.),
- orientacji i nachylenia urządzeń PV,
- stanu atmosfery (przejrzystość, zanieczyszczenie powietrza),
- siły odbicia.

[692] Materiały cienkowarstwowe mają lepszy współczynnik absorpcji światła w zakresie spektralnym, są bardziej efektywne od krystalicznych w gorszych warunkach oświetlenia. W świetle rozproszonym najlepiej sprawdza się technologia *triple-junction solar cells* – trójzłączowe ogniwa amorficzne wykorzystują promieniowanie w szerokim zakresie fal (poszczególne pod-ogniwa reagują na inne spektrum światła).

5.
WYBRANE NORMY MIĘDZYNARODOWE

Najważniejszym organem międzynarodowym odpowiedzialnym za standardy dla systemów PV jest IEC/TC82 (International Electrotechnical Commission/Technical Committee 82 „Solar Photovoltaic Energy System"). Przykładowe normy międzynarodowe dotyczą:

- instalacji elektrycznych: **IEC 60364-7-712:2002** (odpowiednik polski PN-HD 60364-7-712:2007 - Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania);
- działania i jakości modułów PV: **IEC 61215:2005** (odpowiednik polski PN-EN 61215:2005 - Moduły fotowoltaiczne (PV) z krzemu krystalicznego do zastosowań naziemnych. Kwalifikacja konstrukcji i aprobata typu); **IEC 61646:1996** (odpowiednik polski PN-EN 61646:2002 - Naziemne moduły fotowoltaiczne (PV) z cienkimi warstwami. Kwalifikacja konstrukcji i badanie typu);
- bezpieczeństwa użytkowania (zabezpieczenie przed porażeniem elektrycznym, pożarem, urazami w wyniku naprężeń mechanicznych i związanych z oddziaływaniem warunków środowiskowych): **IEC 61730-1:2004** (odpowiednik polski PN-EN 61730-1:2007 - Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV). Część 1: Wymagania dotyczące konstrukcji); **IEC 61730-2:2004** (odpowiednik polski PN-EN 61730-2:2007 - Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV). Część 2: Wymagania dotyczące badań).

Dostępne na komercyjnym rynku produkty mogą posiadać różne certyfikaty[693]. Międzynarodowe certyfikaty jakości IEC (IEC 61215 dla materiałów krystalicznych/IEC 61646 dla modułów cienkowarstwowych) wydawane są przez ISPRA[694]. Niemieckie certyfikaty TÜV-Proof (od 1999) mogą być przyznawane kompletnym systemom lub indywidualnym komponentom, które testowane są odpowiednio do przewidywanej funkcji, jaką wraz z innymi elementami składowymi systemu PV i konstrukcją obiektu mają spełniać w budynku. Produkt BIPV może także posiadać niezależny certyfikat II klasy ochronnej (dotyczący zabezpieczenia przeciwporażeniowego).

Marka CE oznacza, iż produkt spełnia dyrektywy UE dotyczące: urządzeń niskonapięciowych (LVD 2006/95/WE), kompatybilności elektromagnetycznej (EMC 2004/108/WE) oraz wyrobów budowlanych (Dyrektywa Rady 89/106/EEC).

---

[693] Certyfikaty międzynarodowe - Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (International Electrotechnical Commission IEC), Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (International Organisation for Standarization ISO). Dodatkowo funkcjonują standardy europejskie (EN), narodowe (np. DIN w Niemczech).

[694] European Solar Test Installation ESTI w ISPRA rozwinęło specjalne procedury testowania modułów w różnych warunkach. Obok pewności, bezpieczeństwa i niezawodności elektrycznej badane są właściwości mechaniczne tj. odporność na obciążenia i działanie warunków atmosferycznych (zmiany temperatury, UV, lód, mgła, wilgoć, itd.), wykończenie, izolacja termiczna oraz aspekty wizualne.

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
Biblioteka Główna
(1)