

**KIERUNKI ROZWOJU  
BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO  
I WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH  
ŹRÓDEŁ ENERGII NA TERENIE DOLNEGO ŚLĄSKA**



Praca zbiorowa pod redakcją Anny Bać i Jacka Kasperskiego



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

**KIERUNKI ROZWOJU  
BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO  
I WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII  
NA TERENIE DOLNEGO ŚLĄSKA**

Praca zbiorowa pod redakcją  
Anny Bać i Jacka Kasperskiego



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej  
Wrocław 2013

Recenzent  
Elżbieta TROCKA-LESZCZYŃSKA

Projekt okładki  
Agencja WIGOR

Opublikowano na podstawie dostarczonych materiałów

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013

OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
<http://www.oficyna.pwr.wroc.pl>  
e-mail: [oficwyd@pwr.wroc.pl](mailto:oficwyd@pwr.wroc.pl)  
[zamawianie.ksiazek@pwr.wroc.pl](mailto:zamawianie.ksiazek@pwr.wroc.pl)

ISBN 978-83-7493-812-9

## SPIS TREŚCI

<i>Wstęp</i>	
ANNA BAĆ, JACEK KASPERSKI .....	7
<b>Część I. Architektoniczne uwarunkowania budownictwa energooszczędnego</b>	
I. <i>Energetyczne eksperymenty na polu architektury</i>	
KRYSTYNA JANUSZKIEWICZ, HENRYK KATOWICZ-KOWALEWSKI .....	11
II. <i>Świadome kreowanie zrównoważonej architektury</i>	
BEATA MAJERSKA-PALUBICKA .....	21
III. <i>Relacja architektura a natura we współczesnym krajobrazie miasta</i>	
PATRYCJA HAUPT .....	31
IV. <i>Uwarunkowania energetyczne budynków tworzących ulicę miejską</i>	
KATARZYNA ZIELONKO-JUNG .....	41
V. <i>Zielone budynki administracji publicznej</i>	
BARBARA WIDERA .....	51
VI. <i>Wykorzystanie schematów energetycznych w projektowaniu budynków energooszczędnych</i>	
JOANNA BIEDROŃSKA, JAROSŁAW FIGASZEWSKI .....	61
VII. <i>Koszty budowy a zużycie energii – energia wbudowana w pieniądź</i>	
KRZYSZTOF CEBRAT .....	71
VIII. <i>Wybrane problemy wprowadzania pasywnych rozwiązań energooszczędnych w miejskich budynkach wielorodzinnych</i>	
JANUSZ MARCHWIŃSKI .....	81
IX. <i>Wpływ orientacji i lokalizacji budynku niskoenergetycznego na zmianę zapotrzebowania energii</i>	
MONIKA NAJDER, KAROLINA KURTZ-ORECKA .....	91
X. <i>Oszklona przestrzeń buforowa w systemie zysków pośrednich</i>	
JOANNA BIEDROŃSKA .....	101
XI. <i>Szkló i światło w architekturze. Estetyka i zastosowanie szklanych systemów energooszczędnych</i>	
ALINA BUDZYŃSKA .....	111
XII. <i>Zastosowanie symulacji komputerowych do analizy wpływu rozwiązań elewacyjnych na jakość oświetlenia naturalnego w biurach</i>	
DARIUSZ MASŁY, MICHAŁ SITEK .....	121
XIII. <i>Holistyczne uwarunkowania współczesnej iluminacji i oświetlenia miast</i>	
MAGDALENA ZIENOWICZ, EWA PODHAJSKA .....	135

XIV.	<i>Aktywizacja energetyczna przegród w związku z użyciem nowych materiałów</i> JAROSŁAW FIGASZEWSKI .....	145
XV.	<i>Panele solarne jako immanentne elementy przegród zewnętrznych</i> PIOTR KUCZIA .....	155
XVI.	<i>Modernizacja zabudowy historycznej centralnych obszarów XIX/XX-wiecznych miast jako sposób na poprawę energetyczną obiektów</i> ANNA BRZEZICKA .....	165
XVII.	<i>Wykorzystanie podwójnej fasady w termomodernizacji budynków zabytkowych – studium przypadku</i> ADAM SWARCEWICZ, KAROLINA KURTZ-ORECKA .....	175
XVIII.	<i>Wpływ strategii pasywnych na formę architektoniczną na przykładzie wybranych budynków jednorodzinnych z Wielkiej Brytanii</i> MATEUSZ SIKORSKI .....	185
XIX.	<i>Architektura niskoenergetyczna w projektach typowych</i> PIOTR MICHALSKI .....	195
XX.	<i>Rola zieleni w rozwiązaniach energooszczędnych</i> ANNA JAKUBIŃSKA .....	205
XXI.	<i>Double Skin House – propozycja rozwiązania dla dostępnych domów blisko-zeroenergetycznych</i> ANNA BAĆ, KRZYSZTOF CEBRAT, ŁUKASZ NOWAK .....	215
XXII.	<i>Analiza ciepłno-wilgotnościowa ścian szachulcowych nieocieplonych i ocieplonych</i> PAWEŁ NOSZCZYK .....	225
XXIII.	<i>Domy podhalańskie jako przejaw architektury energooszczędnej</i> PAWEŁ OWCZAREK .....	235
XXIV.	<i>Wzorce tradycyjne w procesie poszukiwań rozwiązań niskoenergetycznej zabudowy szeregowej i wolnostojącej</i> CEZARY CZEMPLIK .....	245
XXV.	<i>Energetyczny audyt miejski. Miejskie systemy predykcji zużycia energii</i> MARTA SKIBA .....	259
XXVI.	<i>Urbanistyczny wymiar architektury energooszczędnej</i> MARTA SKIBA .....	269
XXVII.	<i>Model ekorozwoju Wrocławia i Dolnego Śląska w aspekcie odnawialnych źródeł energii i elementów budownictwa energooszczędnego</i> ŁUKASZ SZALATA, KORNELIA KWIECIŃSKA, JERZY ZWOŹDZIAK .....	283

## **Część II. Nowoczesne systemy wykorzystania odnawialnych źródeł energii, opłacalność i systemy wsparcia**

XXVIII.	<i>Efektywność pracy instalacji słonecznej dla okresu 2002–2012 w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych</i> JAROSŁAW DĄBROWSKI, EDWARD HUTNIK .....	293
XXIX.	<i>Solarna wytownica pary jako element napędowy klimatyzatora strumieniowego – analiza pracy</i> BARTOSZ GIL .....	303

XXX.	<i>Inteligentne instalacje elektryczne w kształceniu studentów Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej</i>	
	MALGORZATA BIELÓWKA, MIROSLAW KOBUSIŃSKI .....	313
XXXI.	<i>Uwarunkowania i zalety zastosowania kogeneracji w budynkach mieszkalnych</i>	
	PAWEŁ HORN .....	323
XXXII.	<i>Hybrydowe kolektory słoneczne</i>	
	PAWEŁ PACYGA .....	333
XXXIII.	<i>Postęp technologiczny w płaskich kolektorach słonecznych</i>	
	PAWEŁ PACYGA .....	343
XXXIV.	<i>Koncepcja domu energooszczędnego z całorocznym akumulatorem energii cieplnej – stanowiska badawcze</i>	
	JACEK KASPERSKI, MAGDALENA NEMŚ .....	353
XXXV.	<i>Wykorzystanie ciepła przemian fazowych w pompach ciepła</i>	
	STEFAN RESZEWSKI .....	363
XXXVI.	<i>Nanopłyny – przełom w energetyce słonecznej</i>	
	PAWEŁ PACYGA .....	375
XXXVII.	<i>Rurowe odbiorniki promieniowania słonecznego</i>	
	PAWEŁ PACYGA .....	385
XXXVIII.	<i>Zagadnienia transportu i składowania biomasy w energetyce odnawialnej</i>	
	JAN RZĄDKOWSKI, LUBOV KIRYANOVA .....	395
XXXIX.	<i>Aktualne kierunki wsparcia finansowania inwestycji w odnawialne źródła energii przez współczesne banki</i>	
	JUSTYNA ZABAWA .....	405
XL.	<i>System wsparcia odnawialnych źródeł energii w obowiązujących uregulowaniach prawnych oraz projekcie ustawy o OZE</i>	
	MICHAŁ KORNASIEWICZ, ADAM KOWALSKI .....	415



## WSTĘP

Powstanie i rozwój budownictwa energooszczędnego w krajach rozwiniętych datuje się na wczesne lata 70. XX wieku. Jego bezpośrednią przyczyną był kryzys paliwowy, a konsekwencją stało się poszukiwanie oszczędności w szeroko rozumianym zużyciu energii i kosztów eksploatacji budynków. Z drugiej strony, budownictwo energooszczędne było kolejnym krokiem w ruchu zmierzającym do ochrony zasobów i środowiska naturalnego. Jego ukoronowaniem jest szereg międzynarodowych dokumentów, takich jak Raport Brundtland (1987), Agenda 21 (1992) czy Protokół z Kioto (1997), które wytyczyły drogę trwałego rozwoju cywilizacyjnego i stabilnego wzrostu w oparciu o tzw. trzy filary zrównowżenia: ekologię, ekonomię i społeczeństwo.

Budownictwo – jako jeden z kluczowych elementów postępu i rozwoju, jest sektorem który zużywa około 40% światowej produkcji energii oraz znacząco przyczynia się do degradacji środowiska naturalnego. Dlatego właśnie ono wymaga szczególnej uwagi oraz weryfikacji dotąd przyjętych metod działania oraz stosowanych rozwiązań. Stąd na przełomie wieków w wielu krajach wysokorozwiniętych obserwowany jest rozwój budownictwa tzw. zielonego lub zrównoważonego, polegającego na świadomym procesie realizacji inwestycji i eksploatacji środowiska zbudowanego.

Na początku XXI wieku preferencje wielu świadomych społeczeństw koncentrują się zatem na zagadnieniach poprawy jakości życia oraz jakości budownictwa, równocześnie z troską o ekonomikę i ekologiczność rozwiązań. W Europie kierunek rozwoju w drugiej dekadzie XXI wieku wyznaczany jest nową Strategią Unii Europejskiej 2020 skierowaną na działania na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju oraz przejściu do gospodarki opartej na efektywnym wykorzystaniu zasobów. W związku z tym, polityka unijna związana z budownictwem koncentruje się wokół trzech podstawowych zagadnień: redukcji emisji gazów cieplarnianych, zwiększenia efektywności energetycznej i zwiększenia wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Przejawia się to wieloma aktami prawnymi, m.in. dyrektywą 2010/31/WE, które znajdują lub powinny znajdować odzwierciedlenie w przepisach poszczególnych państw członkowskich.

Polska a zarazem Dolny Śląsk stoją przed koniecznością zmian zmierzających w kierunku wdrażania idei zrównoważonej architektury i rozwoju budownictwa ni-



skoenergetycznego. Jest to możliwe zarówno poprzez powrót do tradycyjnych i prostych metod budowania, jak i poprzez implementację nowych i innowacyjnych rozwiązań z różnych nawzajem uzupełniających się dziedzin, m.in. architektury, budownictwa i energetyki oraz ekonomii.

Klimatyczne zalety Dolnego Śląska to stosunkowo wysokie temperatury powietrza, w tym dość ciepłe zimy i dobre nasłonecznienie. W skali warunków klimatycznych całej Polski miejsce to sprzyja wykorzystaniu tzw. Odnawialnych Źródeł Energii – OZE, a zwłaszcza pomp ciepła, kolektorów słonecznych, paneli fotowoltaicznych. Dobre gleby i wysoki potencjał upraw rolniczych pozwala na wykorzystanie biomasy, zarówno będącej odpadami z produkcji rolniczo-przemysłowej, jak i pochodzącej z celowych, dedykowanych upraw. Energia wiatru, a także w nieco mniejszym stopniu energia geotermalna dopełniają potencjał energetyczny tego regionu kraju.

Dolny Śląsk to nie tylko możliwości, jakie stwarza ziemia, przyroda i klimat. To także potencjał kulturowy, intelektualny i innowacyjny. To duży ośrodek opiniotwórczy, kształcący co roku rzesze absolwentów, m.in. inżynierów z wielu dziedzin technicznych oraz architektów. Politechnika Wrocławska – Wydział Architektury i Wydział Mechaniczno-Energetyczny zaprosiły do współpracy wrocławski Uniwersytet Przyrodniczy i Ekonomiczny oraz inne wyższe uczelnie w Polsce do wypowiedzi na temat kierunków rozwoju budownictwa energooszczędnego a także wykorzystania OZE na terenie Dolnego Śląska.

W monografii, oprócz ośrodków wrocławskich, zaprezentowano prace naukowców z: Politechniki Śląskiej, Poznańskiej, Warszawskiej, Częstochowskiej oraz z Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, Wyższej Szkoły Zarządzania i Ekologii w Warszawie, a także prace specjalistów indywidualnych. Zgromadzone doświadczenia z Polski i zagranicy pozwoliły na sprecyzowanie istotnych zagadnień jakie można i należy wykorzystać na terenie Dolnego Śląska.

W monografii zaprezentowano wybrane interdyscyplinarne zagadnienia budownictwa niskoenergetycznego i zastosowania OZE wskazując dwa kluczowe kierunki rozwoju. Starano się uporządkować je wg zasady od ogółu do szczegółu.

Pierwszy kierunek (architektoniczny) – część I – opisuje rozumienie architektury i projektowania architektonicznego poprzez pryzmat świadomego zarządzania energią (w tym pieniądzem), podnoszenia komfortu użytkownika oraz zbliżenia człowieka do natury i jej ochronę. Odnosi się on do zagadnień poprawy energetyki w skali budynku, ulicy miejskiej, zespołów zabudowy (nowoprojektowanej i rewitalizacji) oraz miast. Obejmuje on kwestie szkła i światła (naturalnego, sztucznego, nocnego), a także zieleni. Kierunek ten związany jest z zastosowaniem konkretnych rozwiązań formalnych, funkcjonalnych, konstrukcyjnych i materiałowych oraz technologicznych z pogranicza architektury, budownictwa i inżynierii. Zawiera on narzędzia służące do optymalizacji rozwiązań czy to w skali budynku

czy miasta. Wskazuje także tradycyjne proekologiczne i energooszczędne korzenie w polskiej architekturze wernakularnej.

Drugi kierunek (instalacyjny) – część II – wskazuje zagadnienia energetyki w odniesieniu do rozwiązań instalacyjnych, głównie potencjał OZE oraz nowoczesnych i inteligentnych technologii instalacyjnych. Kierunek ten uwzględnia także aspekt ekonomiczny i prawny związany z wdrażaniem OZE.

Dziękując wszystkim Autorom, mamy nadzieję, że praca przyczyni się do zrównoważonego rozwoju Wrocławia i Dolnego Śląska.

Wrocław, 9 listopada 2013 r.

### PODZIĘKOWANIE

*W imieniu Autorów dziękujemy Agencji WIGOR za sponsorowanie wydania niniejszej monografii.*

*Anna Bać  
Jacek Kasperski*



# ROZDZIAŁ I

## ENERGETYCZNE EKSPERYMENTY NA POLU ARCHITEKTURY

Krystyna JANUSZKIEWICZ\*, Henryk KATOWICZ-KOWALEWSKI\*\*

Rozdział jest próbą uzasadnienia tezy, według której rozwój technologii energetycznej nie może skutecznie stymulować rozwoju architektury, energoaktywnej jeśli jej twórcy pomina w założeniach wartości estetyczne, społeczne i filozoficzne. Nowy język formalny, strukturalny i nowe układy kompozycyjne budują nową ikonografię i wymuszają zmiany gustów, przyzwyczajęń i sposobu użytkowania obiektu mieszkalnego. Zmiana relacji pomiędzy budynkiem a środowiskiem życia powinna odpowiadać rewizji relacji Natura–Kultura. Utrwalony w zbiorowej świadomości obraz domu będzie ulegać przekształceniu, zwłaszcza w przypadkach eksperymentów, takich jak tzw. domy „zero-energetyczne” lub „plus-energetyczne”. Pojawia się wątpliwość czy nadmiar technicznej kreatywności przy braku estetycznej świadomości nie okaże się barierą rozwoju architektury jako sztuki kształtowania przestrzeni. Nowa architektura wyłaniająca się z uświadomionej potrzeby ochrony zasobów naturalnych poprzez obniżenie zużycia energii powinna być manifestem kreatywnej koegzystencji nowego ze starym, połączeniem wypracowanych w przeszłości sposobów, które mogą być dziś inspiracją dla zaawansowanych technologicznie rozwiązań. Przedstawione przykłady ze Zjednoczonych Emiratów Arabskich są tego najlepszym potwierdzeniem. Dowodzą także, że tylko myślenie holistyczne w projektowaniu zrównoważonym prowadzi do właściwych relacji Człowiek–Technologia–Natura–Kultura.

Słowa kluczowe: *architektura, energia, oszczędność, eksperyment, mieszkalnictwo*

### 1. WPROWADZENIE

W XXI wieku – czasie globalnego przyspieszenia urbanizacji i zmian klimatu oraz wyczerpywania się zasobów surowców, wiele krajów wprowadza nowe wymagania dotyczące efektywności budowli i rozwiązań urbanistycznych, kładąc nacisk na ekologię czyli jedność człowieka ze środowiskiem. Badania wykazują, że do wznoszenia i użytkowania budowli zużywa się niemal połowę globalnie wytwarzanej energii

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Poznańska, ul. Nieszawska 13, 61-021 Poznań.

\*\* Wydział Budownictwa, Politechnika Częstochowska, ul. Akademicka 3, 42-200 Częstochowa.

i wydobywanych surowców. Aby to zmienić, architektura sięgnęła po metody naukowe właściwe dla innych dziedzin. Dokonuje się wymiana idei i metod z takimi dyscyplinami, jak matematyka, fizyka, biologia i chemia. Powstają nowe rozwiązania techniczne i technologiczne, które służą pozyskiwaniu energii alternatywnej, a które mogą mieć zastosowanie w architekturze. Potrzebny jest zatem namysł jakie właściwości estetyczne powinna mieć nowa architektura, aby była funkcjonalna, oszczędna materiałowo i energetycznie, a zarazem aby zaspakajała potrzebę piękna. *Ludzie nie wybiorą budynków brzydszych od innych, nawet jeśli będą one wyposażone w najnowocześniejsze technologie [...] (Wines, 2008) [2].*

## 2. ROLA EKSPERYMENTU W ARCHITEKTURZE

Rola eksperymentu w naukach technicznych ma ustabilizowaną pozycję. Architektura, ze względu na swój interdyscyplinarny charakter, musi jednak opierać się na bardziej złożonych metodologicznych założeniach. Eksperyment bowiem niesie często nieprzewidziane konsekwencje. Nawet najbardziej doświadczeni twórcy nie przekraczają umownej granicy, poza którą ich dzieła mogłyby stać się nazbyt innowacyjne lub zbyt kontrowersyjne, a ryzyko niepowodzenia, często wielomiliardowej inwestycji, jest dla inwestorów nie do zaakceptowania.

A jednak w historii architektury współczesnej zdarzały się przypadki, gdy od wyniku eksperymentu zależał los znaczących realizacji, kariery zawodowej prekursorów nowych kierunków twórczych pragnących szerszego uznania, a może nawet sukces lub fiasko niektórych idei i koncepcji, bez których dziś nie potrafimy wyobrazić sobie współczesnej architektury. Przykładowo, inwestor budynku administracyjnego Johnson Wax Building w Racine (1936–1939) zmusił Franka L. Wright'a (1867–1959) do przeprowadzenia próby wytrzymałości kontrowersyjnego elementu nośnego [1].

Ludwig Mies van der Rohe (1886–1969) zaś zdecydował się na spektakularny przejazd samochodem pod konstrukcją przekrycia w trakcie jej podnoszenia w całości. Te i inne przykłady wskazują, że twórcy nowych idei nie tylko nie unikali eksperymentowania, ale traktowali to jako część praktyki zawodowej oraz swoją promocję.

Współczesna architektura energooszczędna, jako medium łączące w nowy sposób Naturę i Kulturę, stanowi dziś nie tylko pewien styl architektoniczny, ale jest także częścią systemu ochrony środowiska i nas samych przed negatywnymi skutkami oddziaływania cywilizacji. Architektura ta przedstawia sposoby ograniczania zużycia energii/paliw kopalnych, emisji gazów cieplarnianych i CO<sub>2</sub>, tak przy powstawaniu budynku jak i jego eksploatacji. Bierze się pod uwagę już nie tylko zintegrowanie technologii oraz urządzeń energooszczędnych, ale także nowy wymiar estetyczny jaki niesie taka architektura. Powstaje zatem pytanie, jak do Witruwiańskiej Triady (funkcja, konstrukcja i piękno) dodać zrównoważony rozwój, który jest dziś wyznacznikiem trwałości i ochrony równowagi naturalnej pomiędzy Naturą a Kulturą.

Na tym nowym obszarze poszukiwań twórczych, coraz bardziej liczy się eksperyment, nieustanne potwierdzanie słuszności przyjmowanych rozwiązań. Coraz szersza dostępność różnorodnych urządzeń i systemów pozyskiwania energii, tempo rozwoju technologii dyktującego wciąż nowe rozwiązania zmusza do postawienia pytania o możliwości akceptacji tych nowych form nie występujących dotąd w środowisku naturalnym i zbudowanym. Tak często reklamowane są w mediach eksperymentalne domy, eksperymentalne systemy, czy eksperymentalne materiały budowlane, że odpowiedź może przynieść już tylko eksperymentowanie.

### 3. PREKURSORY I PASJONACI

Zanim świadomość ekologiczna rozwinęła się w zawodzie architekta, uwidoczniła się w latach 70. ubiegłego wieku najpierw w hippisowskiej kontrkulturze, by w XXI wieku stać się inspiracją dla społeczeństw zainteresowanych poprawą jakości życia. W Drop City w Stanie Colorado, hippisowskiej osadzie z połowy XX w. zachowały się do dziś jednostki mieszkalne powstałe z tego co uznane było przez cywilizację za odpady: pozyskiwano ze śmietnika elementy budowlane, części samochodowe itp. [3]. Samowystarczalność energetyczna nie była tu założeniem programowym, lecz logiczną konsekwencją braku infrastruktury i środków na jej utrzymanie. Redukcja strat ciepła i korzystanie z energii słońca były koniecznością wynikającą z braku innych źródeł. Przez eksperymentowanie znaleziono sposoby funkcjonowania osiedla w oparciu o samodzielnie wytwarzane przedmioty i odnawialne źródła energii. Drop City zostało założone w 1965 roku, a porzucono je w roku 1973, po ośmiu latach użytkowania, pozostawiając niebanalny pomnik kontestacji społecznej i dowód energetycznej samowystarczalności [4].

Podobnym przykładem jest podjęta w latach 70. XX wieku budowa obiektów mieszkalnych w okolicach New Mexico. Inicjatorem był Michael Reynolds, architekt, z Uniwersytetu Cincinnati znany jako Garbage Warrior (Wojownik Śmietniska). Materiałem budowlanym były tu puszki aluminiowe, butelki po napojach, i inne przedmioty uznane przez cywilizację konsumpcyjną za niepotrzebne lub zużyte [5]. Reynolds chcąc uzyskać samowystarczalność, także energetyczną, wyposażał domy w pasywne i aktywne systemy energetyczne. Dzięki temu obiekt był rodzajem samotnej wyspy, dla którego autor zapożyczył od Buckminstera Fullera (1895–1983) nazwę „Earthship” (Statek Ziemia).

Eksperymentem, któremu twórca Paolo Soleri (1919–2013) poświęcił całe swoje życie, jest Arcosanti, alternatywne miasto zbudowane w Centralnej Arizonie, 110 km na północ od Phoenix [6]. Po 42 latach od zainicjowania budowy jest ono tylko częścią tego czym miało zostać zgodnie z planem: miastem dla kilku tysięcy mieszkańców. Twórca Arcosanti oraz idei „Arkologii” (nazwa od słów: architektura i ekologia) nadzorował i kierował budową do końca swojego życia. Pomagali mu wolontariusze,

zwolennicy idei samowystarczalnej architektury, którzy także uczestniczyli w prowadzonej przez Soleri'ego edukacji ekologicznej na terenie budowanego miasta. Arcosanti jest tylko jedną z wizji miasta ekologicznego, nad którymi pracował Soleri pozostawiając serię szkiców i modeli znanych tylko nielicznej grupie kontynuatorów jego idei. Podobnie jak poprzednie eksperymenty, Arcosanti jest dziś tylko pomnikiem jednej z prób uzdrowienia światowej urbanistyki. Zainicjowana przez Soleri'ego idea Arkologii ma jednak swoją kontynuację: w latach 2009–2010 Beijing Center for the Arts podjął temat budowy ekologicznego miasta pod hasłem „3D City – Future China” prezentując m.in. koncepcję Lean Linear City, której autorem jest Paolo Soleni [7]. Nie po raz pierwszy w historii architektury idea okazuje się trwalsza od swoich materialnych nośników.

#### 4. ENERGETYCZNA MASZYNA DO MIESZKANIA

Przedstawione eksperymenty architektoniczne były realizowane przez indywidualistów lub kontestatorów, których łączy wspólna idea naprawy świata. Natomiast inne podejście ukazują inicjatywy podejmowane przez profesjonalnie przygotowanych projektantów, posiadających specjalistyczną wiedzę. Podejmują oni ambitne próby zbudowania obiektu, który w oparciu o najnowszą technologię, byłby nie tylko samowystarczalny energetycznie, ale rodzajem mieszkalnej elektrowni. Obiekty takie określane jako „zero-energy” lub „energy-plus” są efektem pogłębiającego się światowego deficytu energetycznego, rosnących kosztów energii i wzrastającej, wraz z tymi kosztami, świadomości proekologicznej. Wizja zbliżającego się momentu wyczerpania surowców kopalnych mobilizuje do poszukiwań możliwej do zaakceptowania alternatywy. Budowane są eksperymentalne jednostki (zwane demonstracyjnymi). Powstają one dzięki wsparciu instytutów badawczych lub firm zainteresowanych promocją swoich produktów: kolektorów słonecznych, ogniw fotowoltaicznych, energooszczędnych systemów elewacyjnych i innych podobnych urządzeń.

Samowystarczalny dom słoneczny we Fryburgu został zbudowany z inicjatywy Instytutu Energetycznych Systemów słonecznych Fraunhofer ISE w 1993 roku [8]. Jego forma jest podporządkowana potrzebom energetycznym: w pełni przeszklona południowa fasada, system rolet dla regulacji insolacji wnętrza, ogniwa fotowoltaiczne na dachu. Budynek w niczym nie przypomina obrazu domu mieszkalnego utrwalonego w zbiorowej świadomości. Dom, który nie jest podłączony do zewnętrznej sieci elektrycznej, gazowniczej i nie posiada nawet zbiornika na olej opałowy skutecznie funkcjonuje i zapewnia normalne warunki bytowe dla rodziny gotowej przyjąć to wyzwanie.

Heliotrop (1994), to dom mieszkalny, który obraca się względem osi pionowej tak, aby jego struktura mogła podążać za słońcem. Budynek jest próbą skonstruowania domu słonecznego, który produkuje więcej energii niż jest w stanie wykorzystać:

w pogodne dni dom wytwarza sześć razy więcej energii elektrycznej niż wynosi jego zapotrzebowanie. Zainstalowany wewnątrz mechanizm obrotowy azymutalnie śledzi codzienny bieg Słońca, dzięki czemu budynek, wraz z panelami słonecznymi na dachu jest nieustannie zwrócony w jego kierunku. Istnieje także możliwość niezależnego sterowania panelami i budynkiem, gdyby insolacja okazała się niepożądana [9]. Heliotrop został zaprojektowany przez Rolfa Dish'a i służy mu za dom mieszkalny, jednak jest możliwość wynajęcia go na okres dwóch tygodni przez tych, którzy chcieliby sprawdzić czy potrafią zaakceptować tak odmienne warunki mieszkalne.

Energoaktywny Eko-Dom (2009) zbudowany koło Lystrup w Danii jest próbą pogodzenia tradycyjnego kształtu z niekonwencjonalną technologią. Obiekt ten wyposażony w najnowsze urządzenia do pozyskiwania energii słonecznej jest ponadto kontrolowany przez system komputerowy, który monitoruje temperaturę, porę roku i dnia, poziom insolacji i inne parametry termiczne [10]. Pozwala to na taką maksymalizację efektywności zainstalowanych urządzeń, że dom produkuje więcej energii niż jej zużywa pomimo tego, że zlokalizowany jest w zimnym i pochmurnym Lystrup. Eco-Dom jest jednym z siedmiu eksperymentalnych domów zlokalizowanych na obszarze Europy, zaprojektowanych przez różnych architektów, a celem tego eksperymentu jest zebranie opinii rodzin, które w nich mieszkają.

## 5. ENERGOAKTYWNA ARCHITEKTURA BEZ ARCHITEKTÓW

Równoległe z poszukiwaniami nowej formy domu trwają badania dotyczące technologii produkcji coraz tańszych i coraz bardziej efektywnych urządzeń służących pozyskiwaniu energii słonecznej. Badania te inicjują firmy produkujące kolektory i ogniwa fotowoltaiczne, a ich celem nie jest poszukiwanie nowych rozwiązań estetycznych ale zwiększenie sprzedaży i maksymalizacja zysków [11]. Kampania reklamowa polega zatem na prezentacji różnorodnych możliwości instalowania kolektorów i ogniw fotowoltaicznych na już istniejących budynkach mieszkalnych, których forma i kształt pochodzi często z katalogu domów typowych. Efekty architektoniczne uzyskane w ten sposób, choć są dość kontrowersyjne, wkrótce mogą zdominować kształt współczesnych osiedli mieszkaniowych – oczywiście jeśli architekci wcześniej nie dostarczą wzorów bardziej ambitnych i przekonujących dla użytkownika masowego.

## 6. FORMA – ENERGIA – ARCHITEKTURA

Interesującym kierunkiem poszukiwania kompromisu pomiędzy formą a energią są, podejmowane przez niektórych architektów, próby pogodzenia wymagań energetycznych z aktualnymi tendencjami twórczymi w architekturze. Nie ma powodów, dla których obiekt energoaktywny nie może być równocześnie domem o cechach regio-



nalnych, historyzujący czy dekonstruktywistyczny lub – spełniając energetyczne standardy – realizować inne założenia stylistyczne. Pluralizm form współczesnej architektury wręcz prowokuje do takich eksperymentów.

Przykładem może być Balcomb Residece (1979), dom który łączy kształt tradycyjnej meksykańskiej adoby z wielką, skierowaną na południe cieplarnią, która w znacznym stopniu minimalizuje straty energetyczne [12]. Dom ten zbudowany w okolicach Santa Fe przez artystę i pioniera architektury solarnej Williama Lumpkina nie utracił do dziś swoich wartości i jest często zamieszczany przez popularne magazyny (takie jak Life Style) propagujące tzw. zdrowy tryb życia i ekologiczne budownictwo [13].

Trzykondygnacyjna szklana kostka R128, nawiązująca formą do Glass House (1949) projektu Philipa C. Johnsona w New Canaan to dom, który dla własnej rodziny zaprojektował Werner Sobek w Stuttgartarcie w 2000 roku. Dom jest całkowicie przeszklony. Całą powierzchnię jego dachu zajmuje system baterii fotowoltaicznych. Dom wyposażono w pompę ciepła i system czujników kontrolujących temperaturę wnętrza. Trójwarstwowy system szklenia redukuje straty energetyczne i zapewnia komfort cieplny o każdej porze roku [14]. Kontrowersje związane z mieszkaniem w szklanej kostce nie różnią się od tych, które towarzyszyły realizacji Glass House, niemniej R128 jest przekonującym dowodem na możliwość pogodzenia modernistycznej architektury z energetycznymi wymaganiami.

Ekologiczny dom jednorodzinny The Villa (2009) powstał przy współpracy Daniela Liebeskinda, pracowni architektonicznej proportion GmbH i producenta blachy tytanowo-cynkowej [15]. Zastosowano w nim mało znany system kolektorów, których zewnętrzną powierzchnię stanowią blachy cynkowe-tytanowe pełniące równocześnie rolę paneli elewacyjnych. Energetyczne uwarunkowania nie przeszkodziły jednak architektowi w kontynuacji dekonstruktywistycznej stylistyki, która jest charakterystycznym znakiem rozpoznawczym wszystkich jego realizacji.

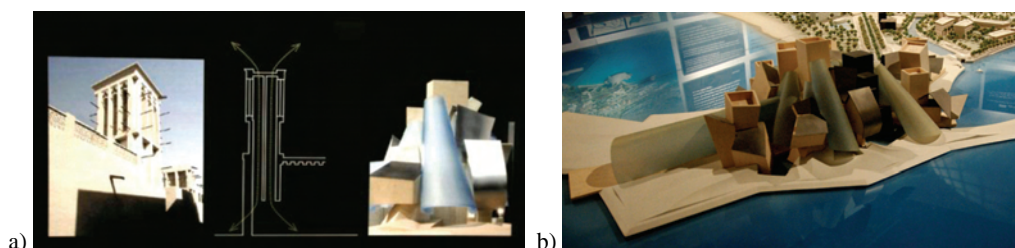
## 7. TRADYCJA I WSPÓŁCZESNOŚĆ

Relikty i wizerunki dawnych miast, zwłaszcza w krajach Bliskiego Wschodu ukazują, jak ich rozplanowanie i architektura wiązały się z warunkami klimatycznymi i konfiguracją terenu. Arabowie i muzułmanie różnej nacji pozostawili pomniki architektury, które nawet dziś wywołują podziw swoją pomysłowością, rozwiązaniami konstrukcyjnymi i energetycznymi, a także pięknem dekoracji artystycznej. Różnorakie geometryczne wzory, głęboko zakorzeniły się w kulturze Bliskiego Wschodu. Są one wyrazem poszukiwań unifikacji i jedności. Tak samo jak w utworach Natury, które w ten sposób uzyskują optymalną wydajność. Formy te stanowiły rodzaj pomostu pomiędzy człowiekiem a właściwym mu środowiskiem przyrodniczym.

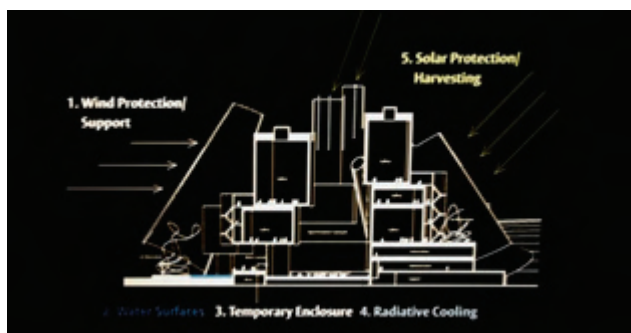
Architektura arabska pozwalała ludziom przeżyć przez wieki w ekstremalnych warunkach klimatycznych. Obserwując drogę słońca i ruch powietrza wypracowano

systemy modulacji klimatu wewnątrz mieszkalnych i użytkowanych wspólnie targowisk i meczetów. Podpatrywanie tych rozwiązań dziś prowadzi wprost do nowych rozwiązań opartych na prostych pomysłach.

W projekcie Muzeum Guggenheima na wyspie Saadiyat w Abu Dhabi Frank Gehry zręcznie wykorzystuje te tradycyjne pomysły modulacji klimatu wprowadzając szyby wentylacyjne oraz osłony wiatrowe i przeciwsłoneczne. Nieład kompozycji przestrzennej muzeum jest tylko pozorny i wynika, w dużej mierze, z dążeń do zapewnienia odpowiedniej cyrkulacji powietrza w cyklu dobowym z uwzględnieniem dobowej rozpiętości temperatur (rys. 1, 2). Woda morska jest tu naturalnym chłodziwem, której obieg jest wymuszony naturalnym prawem jej cyrkulacji. Przewiduje się również wykorzystanie, naturalnych materiałów i technik sprawdzonych przez wieki w lokalnej tradycji budowlanej. Dzięki temu maksymalizuje się wydajność energetyczną tego obiektu. Będzie to największe na świecie Muzeum Guggenheima, gdyż oferować będzie ok. 30 000 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej[16].



Rys. 1. a) Tradycyjna wieża wiatrowa i schemat działania, b) Kompozycja i ukształtowanie przestrzenne – makieta, Frank Gehry, Muzeum Guggenheima, Abu Dhabi, 2010, fot. K. Januszkiewicz



Rys. 2. Modulacja mikroklimatu wewnątrz – schemat Frank Gehry, Muzeum Guggenheima, Abu Dhabi, 2010, fot. K. Januszkiewicz

Innym przykładem jest projekt Muzeum Narodowego im. szejka Zayed, które jest obecnie realizowane także na wyspie Saadiyat. Na wyspie tej powstaje Dystrykt Kultury, który obejmować będzie pięć obiektów zaprojektowanych przez laureatów Na-

grody Pritzкера. Muzeum Narodowe, powstające zgodnie z projektem Normana Fostera, w niezwykle sposób łączy tradycję z zawansowaną technologią. Stworzył on monumentalną formę inspirowaną dynamiką skrzydeł sokoła. Lotki sokoła były inspiracją w ukształtowaniu wydajnych energetycznie wież o wysokości od 73 m do 124 m. Wieże te, podobnie jak w tradycyjnej architekturze arabskiej, służą wymianie i chłodzeniu powietrza, a rozwieszane tam mokre prześcieradła, zastąpiły zraszane automatycznie powierzchnie zapewniające odpowiednią temperaturę i wilgotność. Wieże stanowią lekką konstrukcję stalową posadowioną na szczycie ziemnego kopca o wysokości 30,7 m, który otoczony lustrem wody, niczym wyspa, kryje w swoim wnętrzu przestrzenie ekspozycyjne, audytorium, sale audiowizualne etc. o łącznej powierzchni 53,331 m<sup>2</sup>. Bliskość wody wynika z potrzeby użycia jej w drugim obiegu oraz utrzymania przyjaznego mikroklimatu wewnątrz. Otoczona wodą wyspa to także 21,439 m<sup>2</sup> ogrodów publicznych [16] (rys. 3).



Rys. 3. Interpretacja tradycyjnych wież wiatrowych – makieta, Norman Foster, Muzeum Narodowe, Abu Dhabi, 2010, fot. K. Januszkiewicz

Z jednej strony, dedykowana kulturze wyspa Saadiyat aspiruje by być symbolem dziedzictwa narodowego ZEA, z drugiej zaś, manifestuje zaangażowanie państwa we wdrażanie proekologicznych rozwiązań i technologii. Na początku nowego milenium bowiem władze ZEA zleciły MIT w USA opracowanie metod pozyskiwania energii ze źródeł alternatywnych. Efektem tych badań są dziś budynki głównie w Dubaju i Abu Dhabi oraz nowe miasto Masdar City nieemitujące CO<sub>2</sub>, czyli całkowicie zasilane energią słoneczną, wiatrową, wodną, biopaliwową. Projekt i makieta miasta Masdar opracowane przez Fostera zostały po raz pierwszy ujawnione opinii publicznej w 2008 na Światowym Szczycie Energii Przyszłości w Abu Dhabi.

Przedstawione tu przykłady ukazują jasno, że przez podpatrywanie zjawisk i form występujących w przyrodzie człowiek jest w stanie, na drodze eksperymentu, wypracować rozwiązania, które mogą być zaakceptowane w świadomości kulturowej społeczeństw czy grup lokalnych integralnie związanych z danym regionem i strefą klima-

tyczną. Abu Dhabi w swoim zrównoważonym rozwoju podąża w kierunku integracji kultury z technologią. Wyspa Saadiyat z jej Dystryktem Kultury jest spektakularnym ukazaniem korzyści ze stosowania zrównoważonej technologii w relacji z dziedzictwem kulturowym.

## 8. WNIOSKI

Każdy z opisanych eksperymentów miał pewne znaczenie dla sumy doświadczeń jakimi dysponuje współczesna architektura i odegrał bardziej lub mniej istotną rolę w jej rozwoju. Można jednak zauważyć wyraźne różnice jeśli chodzi o skutki, jakie przyniosły opisane tu dokonania. Mimo spektakularnych efektów, jakie przyniosły inicjatywy kontestatorskich ruchów popkulturowych, to oprócz ekscentrycznych obiektów i turystycznych atrakcji, nie pozostawiły po sobie niczego, co stanowiło by inspirację dla współczesnych architektów poszukujących rozwiązań na miarę aktualnych potrzeb i aspiracji. Równie mało skuteczne w tym zakresie okazują się „technologiczne” eksperymenty dokonywane na polu architektury. Energetyczne maszyny do mieszkania nie dają wielkiej nadziei, że jako pozytywnie wypróbowany wzór do naśladowania zmienią oblicze naszych miast i osiedli.

Architektura jest dziedziną, w której ani „Śmieciowi Wojownicy”, ani techniczni eksperci nie potrafią ustalić takiego sposobu, który pozwoliłby na trwałą i konsekwentny rozwój nowej, oryginalnej „energetycznej” stylistyki. Tylko te eksperymenty, które łączą w sobie problemy techniki z problemami estetyki wnoszą cenny wkład pozwalający budować nowe wizje i dają nadzieję, że powstanie kiedyś nowa architektura aktywna energetycznie. Powinna ona być manifestem kreatywnej koegzystencji nowego ze starym, a także potwierdzeniem, że tylko myślenie holistyczne w projektowaniu zrównoważonym prowadzi do właściwych relacji Człowiek–Technologia–Natura–Kultura.

## LITERATURA

- [1] COPPLESTONE T., *Frank Lloyd Wright. Przegląd retrospektywny*, Arkady, Warszawa 1998.
- [2] WINES J., *Zielona architektura*, Taschen GmbH, 2008, 9.
- [3] <http://www.clarkrichert.com/dropcity>. Dostęp 10.07.2013.
- [4] <http://www.ticketfly.com/event/245321-living-on-margins-drop-city-philadelphia/>. Dostęp 8.07.2013.
- [5] [http://www.myhero.com/go/hero.asp?hero=Michael\\_Reynolds\\_2008](http://www.myhero.com/go/hero.asp?hero=Michael_Reynolds_2008). Dostęp 27.06.2012.
- [6] <http://www.asla.org/ContentDetail.aspx?id=37682>. Dostęp 10.07.2013.
- [7] <http://facesofdesign.com/event/beijing-center-arts-presents-3d-city-future-china>. Dostęp 10.07.2013.
- [8] <http://lib.znate.ru/docs/index-36506.html?page=9>. Dostęp 10.07.2013.
- [9] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Heliotrop\\_%28budynek%29](http://pl.wikipedia.org/wiki/Heliotrop_%28budynek%29). Dostęp 10.07.2013.
- [10] <http://www.activehouse.info/cases/home-life>. Dostęp 8.07.2013.
- [11] <http://www.badensolar-gmbh.de/en/referenzenprivat.php>. Dostęp 8.07.2013.
- [12] WINES J., *Zielona architektura*, Taschen GmbH, 2008, 65.

- [13] [http://www.nmsea.org/Education/General/Sites/Balcomb\\_house.php](http://www.nmsea.org/Education/General/Sites/Balcomb_house.php). Dostęp 10.07.2013.  
[14] <http://www.world-architects.com/pages/architects-house-themselves>. Dostęp 10.07.2013.  
[15] <http://www.dezeen.com/2009/06/21/villa-by-daniel-libeskind/>. Dostęp 10.07.2013.  
[16] JANUSZKIEWICZ K., LORENC J., *Wyspa Kultury, Abu Dhabi, ZEA*, AV 4-2012, 34-43.

## ENERGY EXPERIMENTS IN THE FIELD OF ARCHITECTURE

Authors of this paper try to prove that technological development of energetic sector may have no positive influence on development of energy-saving architecture if designers: architects and engineers will ignore aesthetic, social and philosophical assumptions.

Development of energy active architecture depends on theoretical achievements but also on experimental practices – demonstrative buildings are inevitable element of design process. The most important architectural experiments on this field are presented, analyzed and evaluated.

Energetic explorations and architectural experiments undertaken by recent designers bring a range of new, surprising architectural concepts focused on reduction of energy used by the building industry. It also opens the way to important changes on the field of architecture: brings new systems of forms, new structures and compositional rules, new iconography and – in consequence – forces potential inhabitants to change their habits, preferences and the way of operation of the building structure. The attempt to change relations between the building structure and it's natural environment inevitably leads to changes of relation Nature–Culture. The image of the house, fixed in popular consciousness, is radically transformed – especially in case of uncompromising architectural experiments: objects called zero-energetic (self-sufficient) or energy-plus houses (producing more energy than they need to function).

Recent and past attempts to implement experimental energy-saving building structure, where energetic parameters were treated as main priority, didn't bring however important changes of building industry because the experimental objects (treated as pattern and prototype) were unacceptable proposition for common taste of an average inhabitant. Excess of technological creativity and simultaneous lack of aesthetic awareness also may be the barrier of architectural development.

New energy-saving architecture should be a manifesto of the creative coexistence of the new with the old, as well as a confirmation that only holistic thinking in sustainable design leads to proper relations Man–Technology–Nature–Culture.

## ROZDZIAŁ II

# ŚWIADOME KREOWANIE ZRÓWNOWAŻONEJ ARCHITEKTURY

Beata MAJERSKA-PAŁUBICKA\*

Obiekty architektoniczne ze względu na różnorodność występujących w nich funkcji, sposób użytkowania i rozwiązania techniczne stanowią zagrożenie dla naturalnego środowiska. Ponadto, przy ciągłym dążeniu do optymalizacji parametrów komfortu użytkownika, stale wzrastają zarówno zagrożenia jak też koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

Globalnie rosnąca świadomość i odpowiedzialność ekologiczna powoduje, że w różnych krajach naukowcy i praktycy poszukują coraz nowszych, lepszych i bardziej przyjaznych dla środowiska i człowieka rozwiązań. Zasadniczym kryterium w badaniach jest taki dobór czynników projektowych, aby: użytkownik obiektu mógł odczuwać komfort; realizacja i eksploatacja obiektu ingerowała w środowisko w maksymalnie ograniczonym zakresie; efekt ekonomiczny był adekwatny do osiągniętych celów społecznych i ekologicznych. W związku z powyższym, w kontekście założeń zrównoważonego rozwoju, obiekt architektoniczny powinien być zaprojektowany, wzniesiony, użytkowany i rozebrany zgodnie z zasadą tak zwanej potrójnej odpowiedzialności *Triple Responsibility* – ekologicznej, gospodarczej oraz społecznej.

Artykuł stanowi próbę odpowiedzi na pytania dotyczące roli, zadań i kierunków rozwoju architektury i projektowania architektonicznego w kontekście zrównoważenia.

Słowa kluczowe: *potrójna odpowiedzialność w projektowaniu, optymalizacja energetyczna, budynki zeroenergetyczne, ekoosiedla*

### 1. WPROWADZENIE.

#### PODSTAWOWE ZASADY ARCHITEKTURY ZRÓWNOWAŻONEJ

Potrzeby człowieka do życia i rozwoju w kontekście ekologii i zrównoważonego rozwoju kształtują się na poziomie zapotrzebowania na żywność, wodę, powietrze, kontakty międzyludzkie, tworzenie i przekazywanie wzorów kulturowych, a przede wszystkim zapotrzebowanie na energię, która jest niezbędna przy podejmowaniu wszystkich aktywności. Środowisko zbudowane i budynki, zapewniając schronienie

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 7.

i komfort życia, korespondują z wieloma z wymienionych elementów, przez co znajdują się w grupie podstawowych potrzeb człowieka.

Iluzja nieograniczonego wzrostu ekonomicznego zdeterminowała treści i formę architektury XX wieku. Podporządkowanie się prawom techniki i przemysłu a nie natury, stale wzrastający popyt i zużycie energii elektrycznej w budynkach i rozlewanie się zabudowy wokół centrów miast są przyczyną destrukcyjnej działalności. Dlatego za szczególnie ważne należy uznać łączenie działalności budowlanej i technicznej z wymaganiami strategii zrównoważonego rozwoju.

Już w 1992 roku na kongresie AIA Thomas Max Fischer przedstawił pięć zasad architektury zrównoważonej, odnoszących się do środowiska [4] :

**Zasada 1 – Zdrowe środowisko wewnętrzne.** Zapewnienie czystego, świeżego powietrza wewnątrz budynków dzięki stosowaniu sprawdzonych pod względem toksyczności materiałów konstrukcyjnych, budowlanych i wykończeniowych. Stosowanie odpowiedniej technologii i naturalnej zieleni do kreowania mikroklimatu wnętrz.

**Zasada 2 – Efektywność energetyczna.** Maksymalne obniżenie zużycia energii w budynkach przez zastosowanie efektywnych systemów oświetlenia, ogrzewania, chłodzenia oraz wentylacji.

**Zasada 3 – Materiały naturalne.** Użycie materiałów budowlanych i konstrukcyjnych niewytwarzających przy produkcji i zastosowaniu szkodliwych odpadów i emisji oraz niewymagających dużej ilości energii przy wydobyciu, wytwarzaniu, wbudowaniu i utylizacji końcowej.

**Zasada 4 – Kontekst miejsca** – środowiskowy, kulturowy, klimatyczny, biologiczny. Uwzględnienie szeroko pojętych relacji pomiędzy środowiskiem zbudowanym a środowiskiem naturalnym.

**Zasada 5 – Dobry projekt.** Uzyskanie harmonijnej relacji pomiędzy środowiskiem zbudowanym (rozwiązaniem formy, funkcji, przestrzeni, technologii), użytkownikiem a środowiskiem naturalnym.

W latach 90. szczególnie w Anglii, Kanadzie i USA, nastąpił istotny postęp na polu zrównoważonego projektowania architektonicznego. Konsekwencją było wprowadzenie pierwszych systemów oceny i certyfikacji budynków. Współcześnie rozwijane są nowe wizje, niemniej ich inspiracje nie powinny być ograniczane obecnymi poglądami, regulacjami czy prawem. Pokonanie przyzwyczajzeń, tradycyjnego sposobu myślenia i podejścia do projektowania powinno być priorytetem dla projektantów. Prof. David Orr z Oberlin College w USA twierdzi, że *największą przeszkodą w ekologicznej rewolucji projektowej nie jest przyczyna technologiczna lub naukowa, ale raczej ludzka (...)* *Prawdziwa rewolucja projektowa zmieni ludzkie intencje i największe polityczne, ekonomiczne i instytucjonalne struktury, pozwalając na postawienie na pierwszym miejscu przeciwstawienie się degradacji ekologicznej* [6, s. 11]. Taki stan rzeczy prowokuje do poszukiwań nowej drogi, którą wg Davida Orr'a najprawdopodobniej będzie edukacja umożliwiająca zrozumienie potrzeb i korzyści, jakie płyną z wprowadzania zasad projektowania zrównoważonego środowiska.

Dzisiaj, w wielu krajach Europy, Ameryki i Azji, zrównoważona architektura z ciekawostki staje się siłą przewodnią głównego nurtu. Wykracza daleko poza zwykłe wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i surowców wtórnych. Obejmuje zobowiązanie do zrównoważonego rozwoju ekologicznego, gospodarczego i społecznego w długiej perspektywie, w doskonałej równowadze z naturą. Promuje strategie, które są w stanie, między innymi, zoptymalizować zasoby i materiały, zmniejszyć zużycie energii, zmniejszyć lub wyeliminować odpady i emisje, obniżyć koszty budowy i utrzymania budynków, a przez to przyczynić się do poprawy jakości życia.

W Polsce konieczność dostosowania się do ogólnoświatowych trendów oraz dyrektyw Unii Europejskiej ma istotny wpływ na rozwój architektury energooszczędnej i wdrażanie strategii zrównoważonego rozwoju. Polskie ustawy legislacyjne dotyczą wymogu racjonalizacji zużycia energii w zakresie termicznej izolacji przegród, optymalizacji instalacji c.o. i c.w.u., doboru wielkości powierzchni przegród przeszklonych czy spełnienia warunku dotyczącego granicznego współczynnika rocznego zapotrzebowania na energię nieodnawialną do zaspokojenia potrzeb związanych z użytkowaniem budynku w odniesieniu do 1 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej (EP). Takie wybiórcze podejście stwarza problemy z interpretacją pojęcia optymalizacji i racjonalizacji energetycznej w szerokim, zrównoważonym zakresie. Toteż konieczne są dyskusje i inicjatywy związane z rozpowszechnieniem wiedzy i doświadczeń na temat zrównoważonego projektowania.

## 2. KRYTERIA DOBORU CZYNNIKÓW PROJEKTOWYCH

W kontekście założeń zrównoważonej architektury obiekt powinien być zaprojektowany, wzniesiony, użytkowany i rozebrany zgodnie z wymogami zrównoważonego rozwoju, a zasada tak zwanej potrójnej odpowiedzialności *Triple Responsibility* – ekologicznej, gospodarczej/ekonomicznej i społecznej, powinna być podstawą wszelkich podejmowanych na płaszczyźnie architektonicznej i budowlanej działań.

**Odpowiedzialność ekologiczna** – nie szkodzić środowisku, tj. używać materiałów lokalnych i surowców wtórnych, przetwarzać odpady, nie powodować skażenia środowiska, redukować emisję gazów cieplarnianych.

**Odpowiedzialność gospodarcza** – utrzymywać przystępne ceny, wszystkie budynki realizować zgodnie z zasadą ograniczenia zużycia energii surowców i materiałów budowlanych, aby przeciwdziałać zmianie klimatu oraz negatywnym wpływom na naturalne środowisko i zdrowie ludzi.

**Odpowiedzialność społeczna** – zapewnić zdrowe i przyjazne dla użytkowników i otoczenia środowisko.

W kontekście architektonicznym teoria zrównoważonego rozwoju oznacza tworzenie dobrej przestrzeni do życia w sposób, który spełnia oczekiwania współczesnych



użytkowników, jak też daje szansę realizacji potrzeb następnym pokoleniom. Rozwiązania szuka się w:

- pasywnej architekturze, w której kreowanie optymalnych warunków mikroklimatu w budynkach oparte jest na uwarunkowaniach miejsca, klimacie, topografii terenu, lokalnych źródłach energii i materiałach budowlanych, tradycji itd.,
- technologiach odnawialnych, traktowanych jako uzupełnienie technologii pasywnych,
- budynkach zeroenergetycznych, prowadzących do rozwiązań plusenergetycznych i zeroemisyjnych jak również
- rozwiązaniach w większej skali – w skali zrównoważonych wspólnot, ekoosiedli, ekomiast.

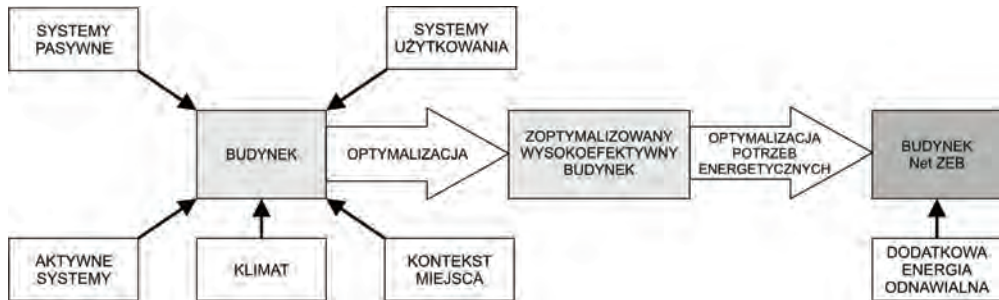
Również, w celu ożywienia środowiska w sposób zrównoważony, uzasadniony ekonomicznie, społecznie i ekologicznie, coraz większego znaczenia nabierają projektowe podejścia naprawcze i rewitalizacja starych zdegradowanych struktur zabudowy. Nie bez znaczenia dla wzrostu efektywności ekologicznej jest wprowadzanie adekwatnych zarządzeń legislacyjnych, standardów i wymagań ekologicznych. Przy czym powtarzając za Christian Schittich [11, s. 9], potrzeba holistycznego podejścia do solarnego projektowania wyklucza ...*zredukowanie architektury do wyodrębnionych elementów jak kolektory słoneczne czy instalacje fotowoltaiczne (PV) na dachu. Raczej budynek musi być rozumiany jako skomplikowana konfiguracja – totalny energetyczny koncept – dający najlepsze możliwości użycia lokalnych, dostępnych, naturalnych źródeł energii (...). Pasywne i aktywne wskaźniki, począwszy od orientacji i stręfowania budynku aż do integracji systemów technicznych, powinny uzupełniać się nawzajem.* Coraz większego znaczenia nabierają aktywne powłoki budynków, regulowane przez inteligentne systemy kontroli reagujące na zmienne warunki pogodowe.

### 3. ZRÓWNOWAŻONE BUDYNKI – Net ZEB (Net Zero Energy Buildings)

Celem osiągnięcia zrównoważonego środowiska zbudowanego są, między innymi, obiekty zeroenergetyczne – Net ZEB (których systemy techniczne wytwarzają ze źródeł odnawialnych energię wystarczającą co najmniej na pokrycie zapotrzebowania operacyjnego) zmierzające ku plusenergetycznym (rys. 1).

Budynki w standardzie Net ZEB wykorzystują odnawialną energię wytworzoną na miejscu. W celu osiągnięcia rocznej równowagi pomiędzy dostawą i zapotrzebowaniem na energię wyposażane są w technologie umożliwiające wchodzenie w interakcję z sieciami elektrycznymi i komunalnymi systemami energetycznymi. W celu zminimalizowania interakcji z sieciami redukcję rozbieżności pomiędzy dostawą a zapotrzebowaniem w budynkach Net ZEB osiąga się przez bardzo wysoki poziom efektywności energetycznej oraz inteligentne systemy kontroli i zarządzania obciążeniami i stopniem

wykorzystania energii produkowanej na miejscu ze źródeł odnawialnych. Takie metody mogą być stosowane zarówno w budynkach istniejących i projektowanych, jak również w zespołach budynków, w ekoosiedlach i ekomiastach.



Rys. 1. Zintegrowane podejście do budynków w systemie Net ZEB,  
oprac. B. Majerska-Pałubicka

Obecnie budynki Net ZEB jawią się w ogólnoświatowej polityce energetycznej jako jedno z najkorzystniejszych pod względem efektywności środowiskowej, długoterminowe, zintegrowane zadania i rozwiązania projektowe.

Działania prowadzące do rozwoju i testowania innowacyjnych, całościowych rozwiązań, które zmierzają do osiągnięcia efektywnych budynków Net ZEB, można podzielić na dwa etapy. Pierwszy etap stanowi **optymalizację zapotrzebowania na energię w budynku**, drugi związany jest z **optymalizacją dostawy energii do budynku lub wytwarzaniem energii na miejscu z różnych źródeł odnawialnych**.

Podstawą kreowania architektury przyszłości staje się reagowanie na związane z klimatem zmiany zachodzące w miejscu lokalizacji obiektów. Badania prowadzone w ramach programów Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) oraz Solar Heating and Cooling (SHC) Annex 52-Task 40 *Towards Net-Zero Energy Solar Buildings* skupione są na rozwoju i testowaniu innowacyjnych rozwiązań w trzech aspektach: wytwarzanie energii odnawialnej w różnych systemach, efektywność energetyczna i ochrona cieplna oraz zintegrowane rozwiązania pasywnego projektowania. Efekty osiągnięte w badanych budynkach, w trzech strefach klimatycznych, umożliwiają wybór optymalnych rozwiązań. Istotną staje się próba kalkulacji wydajności różnych typów budynków Net ZEB i ich zespołów w różnych warunkach klimatycznych. W kontekście istniejących w różnych krajach różnic w interpretacji definicji budynków Net ZEB, podejmowane działania prowadzą, w pierwszym rzędzie, do prób ich ujednocnienia.

Integracja rozwiązań architektonicznych i technologicznych w budynkach efektywnych energetycznie jest nieodzowna. Z punktu widzenia architekta do najefektywniejszych, architektonicznych rozwiązań w optymalizacji systemów energetycznych budynków należą:

**Pasywne wykorzystanie energii słonecznej** [2, 3, 7]:

- otwarcie budynków w kierunku południowym i optymalizacja powierzchni przeszklonych;
- unikanie zacienienia (lokalizacja w stosunku do istniejących elementów zagospodarowania terenu, dobór zieleni, optymalizacja bryły obiektów);
- przeszklone wewnętrzne atria;
- zamknięcie budynków od strony północnej (bufory termiczne);
- stosowanie okien o wysokiej izolacyjności termicznej z zastosowaniem szkła z powłokami selektywnymi;
- stosowanie reagujących na zmiany klimatu przegród i powłok zewnętrznych;
- stosowanie ogrodów zimowych odizolowanych termicznie od przegród wewnętrznych i konstrukcji budynków.

**Wykorzystanie światła naturalnego** [7, 10]:

- optymalizacja kształtowania otworów okiennych;
- stosowanie przeszklonych atriów jako elementów doświetlających.

**Akumulacja ciepła i zmniejszenie wewnętrznych wahań temperatury** [5, 10]:

- akumulowanie energii cieplnej w gruncie (instalacje długoterminowego przechowywania energii cieplnej z gruntowymi wymiennikami ciepła);
- akumulacja energii w masywnych elementach konstrukcji budynków (fundamenty, podziemne parkingi i magazyny, murowane ściany, żelbetowe konstrukcje stropów i dachów z zewnętrzną izolacją termiczną).

**Ograniczenie strat ciepła** [3, 10]:

- efektywność izolacji termicznej przegród zewnętrznych;
- zwarta bryła budynków z korzystnym ukierunkowaniem względem stron świata;
- ograniczenie powierzchni przegród zewnętrznych w stosunku do kubatury budynku;
- strefowanie funkcji pod względem energetycznym poprzez tworzenie stref buforowych z pomieszczeń o podobnych wymaganiach termicznych;
- konstrukcja ścian dająca optymalne dla danego rozwiązania współczynniki przenikania ciepła;
- kontrolowana infiltracja powietrza w budynkach, która daje możliwość osiągnięcia wysokiej sprawności wentylacji mechanicznej, unikanie wychłodzenia pomieszczeń oraz kondensacji pary wodnej w przegrodach zewnętrznych;
- eliminacja mostków termicznych, np. eliminacja zbędnych występów na elewacjach, specjalistyczne montowanie zewnętrznej stolarki okiennej i drzwiowej.

**Ochrona przed przegrzaniem** [1, 3, 5, 8, 10]:

- podwójne fasady z cyrkulacją powietrza i ruchomymi elementami osłaniającymi;
- transparentna izolacja z naturalną cyrkulacją powietrza;
- systemy żaluzji zewnętrznych i wewnętrznych;

- dobór przegród selektywnych;
- stosowanie wielostopniowych systemów ochrony przed przegrzaniem w postaci przesłon, żaluzji oraz ekspansywnej roślinności pnącej i płożącej.

**Wspomaganie rozwiązań technologicznych** [8, 9, 10]:

- pojemność cieplna konstrukcji jako element wpływający na mikroklimat wnętrza;
- przeszklone atrium jako innowacyjny system zintegrowania wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej;
- przeszklone atrium jako element inteligentnego oświetlenia światłem naturalnym;
- biofunkcjonalność elementów budowlanych współpracujących z systemami technologicznymi jako cel optymalizacji ekonomicznej rozwiązań;
- kompilowanie struktury budynków z systemami kolektorów słonecznych i paneli fotowoltaicznych;
- podwójne fasady i transparentne izolacje z naturalną cyrkulacją powietrza, która wspomaga izolację termiczną oraz naturalne przewietrzanie budynków;
- rekuperatory z odzyskiwaniem ciepła z usuwanego powietrza i wody;
- pozyskiwanie i magazynowanie energii solarnej w ogrodach zimowych ukierunkowanych na południe, odizolowanych termicznie od konstrukcji budynków;
- wyposażanie budynków w systemy zarządzania, inteligentne instalacje z automatycznym/indywidualnym sterowaniem przez użytkowników oraz wydajne pod względem energetycznym urządzenia techniczne AGD, wentylacyjne, oświetleniowe, c.w.u. itd.

#### 4. ZRÓWNOWAŻONE ŚRODOWISKO ZBUDOWANE

##### – Bed ZED (Beddington Zero Energy Development)

Jak już wspomniano, najkorzystniejsze efekty pod względem ekologicznym osiągnęte są przy stosowaniu rozwiązań w szerokiej skali – ekoosiedli, ekomiast, przy oczywistym założeniu, że projektowane budynki wchodzące w ich skład również posiadają wysoką efektywność. Przykładem takich rozwiązań jest osiedle Beddington Zero Energy Development – Bed ZED w Londynie (proj. Bill Dunster, 2002), wybudowane na terenach byłej oczyszczalni ścieków, z założeniem stworzenia wspólnoty samowystarczalnej pod względem energetycznym, której koszty realizacji nie powinny przekraczać kosztów osiedla konwencjonalnego [3].

Efektywność energetyczna domów w osiedlu Bed ZED osiągnięta została przez ekonomicznie uzasadnione, proste i ogólnie znane założenia:

- zastosowanie energetycznie efektywnych materiałów budowlanych i rozwiązań architektonicznych (energooszczędne, zwarte bryły budynków, korzystne zo-

rientowanie względem stron świata, wysoka izolacyjność i akumulacyjność przegród budowlanych, ochrona przed przegrzaniem, zastosowanie podwójnych fasad i transparentnych izolacji z naturalną cyrkulacją powietrza wspomagającą naturalne przewietrzanie budynków);

- elementy architektury solarnej (pozyskiwanie i magazynowanie energii solarnej w oranżeriach ukierunkowanych na południe);
- rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne ze strefowaniem pomieszczeń i funkcji;
- rozwiązania technologiczne (siłownie wiatrowe, rekuperatory z odzyskiem ciepła z powietrza i wody usuwanych z budynków, inteligentne instalacje (elektryczne, ciepłej wody użytkowej, ogrzewania, itd.), wyposażone w automatyczne sterowanie, indywidualne dla każdego lokalu mieszkalnego oraz wydajne pod względem energetycznym urządzenia AGD).

Dbałość o ekosystem w osiedlu przejawia się w zagospodarowaniu dużych przestrzeni biologicznie czynnych nasadzeniach roślinności na zewnętrznych przegrodach budynków (ścianach i dachach) oraz utworzeniu tuneli ekologicznych dla fauny.

Przy realizacji osiedla, w celu zwiększenia efektywności energetycznej, zwrócono również uwagę na konieczność dokonania zmian standardów życia mieszkańców. Przez wzbogacenie funkcji osiedla o miejsca pracy, usługi i handel zredukowano codzienne dojazdy do pracy i związane z tym zapotrzebowanie na energię, ponadto zredukowano emisję CO<sub>2</sub>. Środki transportu publicznego (kolejka elektryczna i metro) zapewniły podstawową komunikację. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom osiągnięto nową koncepcję zamieszkiwania, w której istnieją korzystne warunki dla życia człowieka jak i dla rozwoju środowiska naturalnego. Główną ideą jest prostota założenia prowadząca do maksymalnej wydajności energetycznej budynków i całego siedliska. Ponadto duża skala założenia, docelowo 5 tys. domów Bed ZED, obniżyła koszty realizacyjne.

Wszystkie wymienione elementy przemawiają niewątpliwie na korzyść takich osiedli jak Bed ZED w Londynie. Toteż Bed ZED wzbudza bardzo duże zainteresowanie, a podobne rozwiązania realizowane są zarówno w krajach bogatych, takich jak USA, jak i w krajach ubogich, w Indiach i Chinach – jako osiedla socjalne. W samej Anglii przewiduje się realizację następnych osiedli wzorowanych, podobnie jak Bed ZED, na doświadczeniach z wcześniejszych prac przy rewitalizacji zdegradowanej Kurytyby, miasta, które obecnie stanowi najbardziej zielone (ekologiczne) miasto w Brazylii. Również w Austrii powstają liczne ekologiczne jednostki, chociażby zrealizowane w miejscowości Weiz osiedle pasywnych budynków jednorodzinnych Plus Energy Buildings Tanno – Weiz I etap (proj. E. Nagy, E. Kaltenecker) czy zespół wielorodzinnych budynków mieszkalnych Theodor Korner Strasse w Graz, w którym testowano innowacyjne metody solarnego ogrzewania obiektów i wody użytkowej w zintegrowanych systemach sterowania, monitorowania i zarządzania układami instalacyjnymi.

## 5. PODSUMOWANIE

Współcześnie zrównoważona architektura wykracza daleko poza zwykłe wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i surowców wtórnych. Obejmuje zobowiązanie do zrównoważonego rozwoju ekologicznego, gospodarczego i społecznego w długoterminowej perspektywie, w harmonii i równowadze z naturą.

W kontekście Polski zrównoważona architektura nie stanowi głównego nurtu działań projektantów. Dlatego, szczególnie w polskiej architekturze, należy promować strategie, które mogą się przyczynić do zoptymalizowania użycia zasobów, materiałów i energii, szerszego wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE), zmniejszenia lub wyeliminowania odpadów i emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych, obniżenia kosztów budowy i utrzymania budynków, a przy tym również do poprawy jakości i komfortu życia. Zrównoważona przyszłość, nie tylko w Polsce, wymaga zmian zarówno w mentalności społeczeństw, jak i w zasadach projektowania zbudowanego środowiska. Projektanci, w celu kreowania nowych koncepcji i rozwiązań dla zrównoważonej przyszłości, muszą czerpać wiedzę i doświadczenia z przeszłości, opierać się na wiedzy i technologiach teraźniejszości oraz wprowadzać innowacyjne systemy i rozwiązania przyszłości.

Podsumowaniem rozważań o świadomym kreowaniu zrównoważonej architektury jest próba odpowiedzi na pytanie: Jak architektura może współtworzyć zrównoważoną przyszłość? Odpowiedzi najprawdopodobniej należy szukać w wysiłkach skierowanych na:

- wysoką jakość,
- obiekty dostosowane do realnych potrzeb,
- obiekty odporne na czynniki klimatyczne dzięki wysokiej jakości materiałów,
- rozwiązania i systemy techniczne reagujące na zmiany klimatyczne,
- nowy poziom energetycznej efektywności,
- nową estetykę,
- dostrojenie systemów technologicznych do potrzeb użytkownika,
- edukację i doradztwo dla użytkowników, zarządców i deweloperów,
- świadomego twórcę i odbiorcę/użytkownika.

Omawiane zagadnienie trafnie zostało podsumowane w wypowiedzi Samuela Mockbee z Uniwersytetu Auburn [12]: *Zrównoważona architektura stanowi mieszankę wartości: estetycznych, środowiskowych, społecznych, politycznych i etycznych. Jest wykorzystaniem pomysłowości i wiedzy technicznej w celu rozwiązania kluczowych aspektów – projektowania i budowania w harmonii z naszym otoczeniem. Inteligentny architekt myśli racjonalnie o połączeniu aspektów dotyczących zrównoważenia, trwałości, odpowiedniego doboru materiałów i znaczenia miejsca. Wyzwaniem jest znalezienie równowagi pomiędzy uwarunkowaniami środowiskowymi i wymogami ekonomicznymi. Uwaga musi być poświęcona zarówno potrzebom naszych wspólnot, jak i ekosystemom, które je wspomagają.*

Architekt musi wypracować stan równowagi pomiędzy odpowiedzialnością wobec środowiska naturalnego, użytkownika i inwestora.

#### LITERATURA

- [1] CELADYN W., *Architektura a systemy roślinne*, Monografia nr 134, Kraków 1992.
- [2] CELADYN W., *Czynnik energetyczny w kształtowaniu architektonicznym*, Archivolta, 2/1999.
- [3] DUNSTER B., *Zero Energy Standards*, [w]: *The Green Building Bible*, Green Building Press, Llandysul 2005.
- [4] FISCHER T.M., *AIA, listopad 1992*, [w]: Mikoś-Rytel W., *O zrównoważonej architekturze ekologicznej i zarysie jej teorii*, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2004, 73–74.
- [5] GEVORKIAN P., *Sustainable Energy Systems in Architectural Design*, McGraw-Hill, 2006.
- [6] GUZOWSKI M., *Towards Zero Energy Architecture, New Solar Design*, Laurence King Publishing 2010, 11–13.
- [7] HERZOG T., *Solar energy in architecture and urban planning*, Prestel 1998.
- [8] MAJERSKA-PALUBICKA B., *Rozwiązania energooszczędne w architektonicznym projektowaniu obiektów handlowych*, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2001, 140–143.
- [9] NIEZABITOWSKA E. (red.), *Potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego*, Budynek inteligentny, Vol. I, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2005, 222–259.
- [10] SLESSOR C., *Sustainable Architecture and High Technology*, Ecotech, Thames and Hudson, 2001.
- [11] SCHITTICH CH. (ed.), *Solar Architecture*, Trick Hauser, Basel 2003, 9.
- [12] [www.coa.gov.in/mag/Oct08\\_Lowerspdf/36-43-ArchitectureHenceforth.pdf](http://www.coa.gov.in/mag/Oct08_Lowerspdf/36-43-ArchitectureHenceforth.pdf), Dostęp 1.07.13.

#### CONSCIOUS CREATION OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Due to a variety of their functions, the manner of their utilization and technical solutions applied, architectural structures pose a threat to natural environment. Continual striving to optimize parameters related to the comfort of use causes that threats to natural environment as well as investment and operating costs keep growing.

As a result of the globally increasing awareness and ecological responsibility, researchers and practitioners in various countries are seeking for the latest, better solutions which are friendlier to environment and man. The basic research criterion is to select design factors in such a way that the facility user will feel comfortable, the erection and use of the facility will exert a minimal influence on the environment and the economic effect will be proportionate to the achieved social and ecological goals. Therefore, in the context of sustainable development assumptions, an architectural structure should be designed, erected, used and demolished in accordance with the principle of so-called *Triple Responsibility* – ecological, economic and social.

The article is an attempt to answer questions regarding the role, tasks and directions of development in architecture and architectural design in the context of sustainability.

## ROZDZIAŁ III

# RELACJA ARCHITEKTURA A NATURA WE WSPÓŁCZESNYM KRAJOBRAZIE MIASTA

Patrycja HAUPT\*

Zrównoważony charakter architektury zdaje się dziś być oczywisty. Kolejne regulacje prawne stymulujące wprowadzanie rozwiązań zrównoważonych w projektowaniu zabudowy i towarzyszących jej przestrzeni publicznych zmieniają obraz współczesnego środowiska zamieszkania człowieka. Proces ten powoduje potrzebę nowego spojrzenia na problem relacji architektury z naturą. Elementy świata przyrody, traktowane dotąd głównie poprzez pryzmat estetyki kompozycji i jej tła krajobrazowego, obecnie stały się elementami użytecznymi, niezbędnymi dla procesów ochrony i pozyskiwania energii oraz wody, a także poprawy jakości powietrza. Nie straciły one jednak swojego estetycznego znaczenia, zmienił się natomiast charakter i sposób postrzegania kreowanych dzięki nim przestrzeni. Artykuł jest próbą przedstawienia na wybranych przykładach roli elementów naturalnych w kształtowaniu zabudowy i przestrzeni publicznych oraz skierowania uwagi na nowy, jednolity sposób postrzegania przestrzeni architektonicznej i urbanistycznej.

Słowa kluczowe: *architektura zrównoważona, architektura a natura, przestrzeń publiczna*

## 1. WPROWADZENIE

### 1.1. WSPÓŁCZESNY WYMIAR RELACJI ARCHITEKTURA A NATURA

Problemy o istocie antropologicznej wynikające ze zmian w trybie życia, takich jak przedłużający się pobyt wewnątrz budynku, a także przebywania w wysoce zurbanizowanym środowisku miejskim to zadania, którym musi stawić czoła współczesny człowiek. Coraz częściej zagrożenia te odnoszą się również do mieszkańców Polski. Według prowadzonych obecnie badań socjologicznych kontakt z naturą jest niezbędny do odnowienia sił życiowych i psychicznych, niezależnie od położenia geograficznego, dziedzictwa kulturowego regionu pochodzenia danej grupy badanych [1]. Ograniczony dostęp do zasobów natury powoduje, poszukiwanie rozwiązań poprawiających jakość życia, a poprzez to zdrowie fizyczne i psychiczne populacji.

---

\* Politechnika Krakowska, ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków.



Wynikać to może z faktu iż powołując się na słowa Władysława Tatarkiewicza – spośród wszystkich typów piękna i klasyfikacji jego podstawowych kategorii jest piękno przyrody i krajobrazu naturalnego. Doświadczenie go może być opisane jako estetyczne doznanie wywołane poprzez: obrazy, dźwięki, myśli, itp. Według niego piękno tkwi w bezpośrednim kontakcie z naturą [2]. Z drugiej strony Peter Zumthor [5, s. 36] odnosząc się do przestrzeni miejskiej stwierdza: *Obiekt i jego otoczenie: współbrzmienie natury i sztucznie stworzone dzieło, które różni się od czystego piękna natury i różni się od czystego piękna obiektu*. Podsumowując, powstaje nowa jakość przestrzeni, kiedy architektura współgra z krajobrazem, kiedy natura wkomponowana jest we wnętrze środowiska zurbanizowanego.

## 1.2. KREOWANIE PRZESTRZENI ŻYCIA CZŁOWIEKA

Jednym ze sposobów poprawy jakości środowiska życia człowieka jest wprowadzenie naturalnych elementów kompozycyjnych, takich jak woda i zieleń, jako substancji do tworzenia wnętrz urbanistycznych i architektonicznych. Istnieje, więc potrzeba zrewidowania istoty budulców kompozycji tworzących obecną „architektoniczną rzeczywistość” [5]. Elementy naturalne wykorzystywane współcześnie w kompozycji wnętrz urbanistycznych i architektonicznych tak na świecie jak i w Polsce to te, obecne w architekturze od wieków – woda, zieleń, powietrze, rzeźba terenu i oświetlenie naturalne. Mogą one być używane jako środek służący wzbogaceniu środowiska naturalnego poprawiający wizualną percepcję projektowanej przestrzeni równocześnie przypisując im również praktyczną rolę.

Woda i zieleń pełnią praktyczne funkcje poprawy jakości powietrza poprzez kontrolowanie procesu parowania można sterować wilgotnością oraz optymalnym składem powietrza we wnętrzu. Roślinność pomaga zarządzać wodą opadową poprzez procesy retencji i infiltracji. Za równo elementy wodne jak i zielone wspomagają procesy ogrzewania i chłodzenia poprzez wymianę ciepła. Zieleń może stanowić część obiegu systemów filtracji ścieków. Roślinność w formie np. trzciny energetycznej można uznać za źródło energii alternatywnej. Do podobnych zastosowań można użyć także wody stosując jej przepływ jako źródło generacji energii elektrycznej np. w Małych Elektrowniach Wodnych, lub analogicznie – powietrza w Małych Elektrowniach Wiatrowych. Elementy naturalne pełnią określone funkcje w systemach pozyskiwania energii, utrzymywania jakości powietrza i czystości wody, przez co można nazwać je zrównoważonymi. Są też elementami złożonych systemów stosowanych w zielonym budownictwie – konstrukcyjnych i instalacyjnych, które określane są jako rozwiązania zrównoważone w budownictwie.

Z drugiej strony, każdy z wyróżnionych elementów przyrody staje się elastycznym budulcem dla kompozycji wnętrz urbanistycznych i architektonicznych. Ich wielkim atutem jest zmienność. Istnieje nieskończenie wiele wariacji możliwych poprzez wykorzystanie jednego naturalnego elementu: przezroczystości, odbić, barw, rodzajów

ruchu oraz wydawanego dźwięku, itp., które pozwalają na tworzenie odmiennych wrażeń, wywołujących konkretne nastroje i uczucia [3]. Unikalna wartość tych wrażeń leży w ich ulotnej niestałości.

## 2. ROZWIĄZANIA ZRÓWNOWAŻONE A RELACJE KOMPOZYCYJNE NA STYKU ARCHITEKTURY Z KRAJOBRAZEM

### 2.1. WPROWADZENIE

Dążenie do zespolenia z naturą, tendencja do zachowania środowiska naturalnego w jak najmniej przetworzonej formie, sprawiły, że poszukuje się nowego wymiaru estetyki w relacji architektury i natury. Formy elementów naturalnych, takich jak zieleń, czy też woda mogą stanowić substancję dla tworzenia każdego z elementów kompozycji wnętrza urbanistycznego lub architektonicznego. Przykłady europejskich realizacji ukazują różnorodność możliwych kompozycji z zastosowaniem elementów zrównoważonych oraz rozwiązań zrównoważonych podkreślając ich odmienny charakter. Wyznaczają one trendy dla kształtowania współczesnej architektury w relacji z naturą również w Polsce.

Budowle wzniesione w myśl współczesnych zasad zielonych technologii sprawiają wrażenie wyrzeźbionych w terenie, przenikających się z nim, co sprawia, że myślimy o architekturze jako o sekwencji wnętrz, a granica pomiędzy przestrzenią urbanistyczną i architektoniczną się zaciera. Pojęcie wnętrza staje się uniwersalne dla otaczającej nas przestrzeni.

### 2.2. AKUMULACJA CIEPŁA – RZEŹBIENIE W TERENIE

Przykładem przekształconego w myśl idei zrównoważenia krajobrazu miejskiego jest założenie towarzyszące terenom rekreacyjnym wewnątrz londyńskiego Parku Miles End. Architekci zespołu autorskiego Tibbalds TM2 zaprojektowali tam Pawilon Ekologii (rys. 1). Budynek usytuowany pomiędzy założeniami wodnymi i szuwarami jest konstrukcją zagłębioną w teren, sprawiającą wrażenie elementu architektury krajobrazu. Zaprojektowano go w maksymalnie energooszczędny sposób stosując między innymi technologię rozwiniętą w The Rocky Mountains Research Centre. Jest nią system akumulowania energii w skali roku (ang. *Passive Annual Heat Storage* – PAHS) polegający na wykorzystaniu dużej masy termicznej ziemi, którą okryta jest budowla, do akumulacji ciepła. Ogrzewanie następuje poprzez wymianę ciepła pomiędzy ścianami budowli a masą ziemną [8]. Jednoprzestrzenna forma wnętrza wspomaga konwekcję powietrza, równocześnie łącząc budowlę z otaczającym ją naturalnym krajobrazem. Staw nad brzegiem, którego zlokalizowano budowlę stał się elementem determinującym strefę wejściową budynku i stworzył malowniczą formę

przedpola dla jego przeszklonej na całej wysokości elewacji. Oprócz systemu wymiany ciepła poprzez masę ziemną okrywającą pawilon, budynek posiada zbiornik wodny, który wspomagając metodę akumulacji ciepła zapewnia naturalny system chłodzenia i nagrzewania odkrytej przeszklonej elewacji. Woda w zbiorniku pochodzi z dwóch studni głębinowych i jest używana także do nawadniania obszarów zielonych. W budynkach i przestrzeniach parku przewidziano również system odzyskiwania „szarej wody”. Jednym z jego elementów jest zielony dach pawilonu, który obok funkcji filtrującej wspomaga również pozyskiwanie energii słonecznej na potrzeby ogrzewania obiektu, tworząc okrywą ostatniej warstwy masy ziemnej chroniąc ją przed wypłukiwaniem. Kompozycyjnie integruje on zagłębiony budynek z terenem, zacierając granicę pomiędzy architekturą a otoczeniem. Zbiornik wodny sąsiadujący z pawilonem ma nie tylko funkcję retencyjną. Jest on również siedliskiem dla wielu rzadko spotykanych gatunków orchidei, nocnych motyli oraz pająków. Naturalna roślinność stanowi siedlisko dla ptaków wodnych oraz ważek. Przestrzeń parku, dzięki swobodnej aranżacji stała się przerwą w zwartej, gęsto zabudowanej tkance tej części Londynu. Elementy kompozycji wewnątrz architektonicznych i krajobrazowych wykonano naturalnymi materiałami, co pozwoliło jeszcze ściślej zintegrować obiekt z otoczeniem.



Rys. 1. Ecology Pavilion, Mile End Park, Tibbalds TM2, London 2000, fot. P. Haupt

### 2.3. BIOMASA – WSPÓŁCZESNA PRZESTRZEŃ REKREACJI

Nowe ogrody towarzyszące zespołowi parkowo-pałacowemu Schloss Dyck (rys. 2) stanowią niecodzienny przykład współczesnych przestrzeni rekreacyjnych. Zespół ten zrealizowano na wystawę ogrodniczą w 2002 roku w bezpośrednim sąsiedztwie histo-

rycznego założenia pochodzącego z lat 1656–1667. Zagospodarowano go nie jako klasyczne tereny ogrodowe, lecz kierując uwagę na potrzebę troski o środowisko naturalne, równocześnie inspirując się nadreńskim pejzażem rolniczym. Podłużny teren usytuowany wzdłuż Alei Kasztanowej łączącej pałac z Klasztorem Św. Mikołaja ma powierzchnię ok. 25 ha. O unikatowym charakterze wnętrza krajobrazowych zaprojektowanych przez niemieckiego architekta krajobrazu Stefana Lenzena zdecydował budulec. Motywem przewodnim tego założenia stały się plantacje energetycznej trzciny. Gatunek ten – *Miscanthus x giganteus*, o rocznym przyroście ok. 4 m. wykorzystywany jest w formie odnawialnego źródła biomasy. Dla uzyskania przewidzianej efektywności, a także ze względu na walory kompozycyjne, które stwarza możliwość uzyskania ścian na wysokość jednej kondygnacji. Plon zbierany jest, co roku na wiosnę. Wykorzystywany może być jako źródło ciepła stanowi alternatywę dla węgla brunatnego, wydobywanego w regionie Rhein-Kreis Neuss.



Rys. 2. Nowe ogrody Schloss Dyck, S. Lenzen, 2002, fot. P. Haupt

Pomiędzy łanami trzciny zakomponowano ponad 20 – raz ukrytych, raz odkrytych – ogrodowych wnętrz tematycznych o różnorodnej stylistyce zaprojektowanych przez czołowych światowych architektów krajobrazu. Przestrzeń współczesnego ogrodu oferuje setki zaskakujących rozwiązań, kadrów, skrawków przestrzeni przyjaznej dla widzów, ale powstałej w trosce o środowisko i naturalny krajobraz.

#### 2.4. BIORÓZNORODNOŚĆ – „OŻYWIONA” OŚ KOMPOZYCJI

Założeniem projektu Chiswick Park było stworzenie przestrzeni do pracy charakteryzującej się wysoką jakością zarówno użytkową jak i estetyczną, równocześnie kła-

dając szczególny nacisk na jakość środowiska przyrodniczego na tym obszarze. Pierwszy etap inwestycji, składający się z 6 budynków zgrupowanych wokół wnętrza zielonego o charakterze rekreacyjnym ukończono w 2002 roku (rys. 3). Powstał on na obrzeżach londyńskiej dzielnicy o tej samej nazwie, w bezpośrednim sąsiedztwie stacji metra Gunnersbury. Plan zagospodarowania przestrzennego tego obszaru obejmuje powstanie kolejnych etapów tego zespołu – docelowo ma się tam znaleźć 12 budynków o funkcji biurowej – enklawy transparentnych budowli ze stali i szkła przenikających się z naturalnym krajobrazem odtworzonym poprzez scalającą zabudowę wnętrza. Stanowi ono oś całego kompleksu, a jego dominantą jest system dwóch zbiorników wodnych połączonych 1,8 metrową kaskadą [7]. Brzegom nadano nieregularny kształt o płynnych, miękkich konturach wykończonych miejscowo naturalnymi materiałami podestów, kładek, ścieżek, ale w większości porośniętych roślinnością wodną.



Rys. 3. Chiswick Park, Richard Rogers Partnership, London 2000–2010, fot. P. Haupt

Przestrzeń ta jest strefą wejściową do biurowców, ale dedykowana jest głównie rekreacji. Z jednej strony stanowi tło widoczne z okien pomieszczeń pracy służące relaksacji i odprężeniu, z drugiej, poprzez wprowadzenie elementów stopni i podestów przeznaczona jest do odpoczynku, spacerów i gier zespołowych oraz spożywania posiłków na świeżym powietrzu. W ten sposób stworzono przyjazną przestrzeń społeczną sprzyjającą integracji i kontaktom pracowników.

Sposób zagospodarowania tego wnętrza wynikał jednak nie tylko z przesłanek estetycznych, czy też z troski o wysoką jakość środowiska pracy. Duży nacisk położono tutaj na rozwiązania zrównoważone w trosce o zachowanie cech rodzimego krajobrazu

i klimatu. Zespół przez większą część roku funkcjonuje autonomicznie w stosunku do miejskiej sieci wodno-kanalizacyjnej. Zbiorniki wodne na jego terenie zasilane są wodą opadową, która używana jest do nawadniania terenów zielonych. W razie niskiej ilości opadów uzupełnia się jej poziom wodą pochodzącą z własnego ujęcia. Poprzez parowanie chłodzą one elewacje budynków, a także wpływają na poprawę jakości powietrza w obrębie zespołu. Dobór roślinności – dużych drzew głównie sosnowych i magnolii oraz niskopiennych – lawendy oraz różnych gatunków trzcin pomaga utrzymać efekt klimatyczny podczas zmieniających się warunków atmosferycznych w ciągu roku. Założeniami projektantów architektury krajobrazu Charles Funke Associates było stworzenie „korytarza bioróżnorodności” – wprowadzenie cech naturalnego środowiska w tkankę miejską. Rezultatem stało się wykreowanie przestrzeni przyjaznej w rozumieniu miejsca pracy, ale także poszanowania środowiska naturalnego. Takie rozwiązanie stało się możliwe dzięki wykluczeniu ruchu kołowego z centralnej części zespołu. Cały transport kołowy zlokalizowano obwodowo, lokalizując miejsca postojowe na zewnątrz zespołu oraz w garażach podziemnych pod budynkami. Bliiskość stacji metra sprawia, że pomimo dużej liczby stanowisk (ok. 1700 dla 6 budynków) pracownicy korzystają z komunikacji zbiorowej.

#### 2.5. ZIELONA ELEWACJA – OCHRONA PRZED PROMIENIOWANIEM SŁONECZNYM

Budynek korporacji ubezpieczeniowej Swiss Re w podmiejskiej dzielnicy Monachium Unterföhring-Park (rys. 4) prezentuje niecodzienne rozwiązanie sposobu ochrony elewacji pomieszczeń biurowych przed nadmiernym przegrzewaniem się.

Zaprojektowany w roku 1998 przez niemieckie biuro BRT Architekten kompleks składa się z 16 pozornie odrębnych budynków zlokalizowanych pośród zieleni w obrębie pierścienia pionowej, zielonej elewacji. Ponakładane na siebie prostopadłościowe biurowców zakomponowane są wokół centralnego punktu – przestrzeni rekreacyjnej, a połączone są pod ziemią przestrzenią stopy mieszczącej podziemne garaże i archiwa. Całość tworzy zespół zielonych wnętrz sprzężonych o zmiennym charakterze z różnorodną roślinnością, elementami małej architektury i założeniami wodnymi. Podzielono ją na cztery pola o zróżnicowanej kolorystyce i wyrazie. Przestrzeń rekreacyjna w tym wypadku to forma krętego pasażu pomiędzy budynkami, zaskakująca kolejnymi kadrami o odrębnej stylistyce. Poprzez transparentny charakter budowli natura pozornie wnika do wnętrza biurowych podwyższając komfort pracy bez konieczności opuszczania jej stanowiska. Rozwiązania tutaj przyjęte podnoszą jakość powietrza poprzez redukcję emisji dwutlenku węgla pochłanianego przez roślinność, a także jego chłodzenie i nawilżenie dzięki procesowi parowania wody ze zbiornika wodnego stanowiącego centralny punkt kompozycji. Ponadto lekka konstrukcja zielonej fasady umożliwi przepływ powietrza, co powoduje łatwość przewietrzania przestrzeni pomiędzy budynkami. Stworzona tutaj przestrzeń przyjazna sprzyja efektywnej pracy

wewnątrz budynków, ale również bezpośrednim kontaktom społecznym we wnętrzach pomiędzy nimi.



Rys. 4. Swiss Re, BRT Architekten, 2001, fot. P. Haupt

## 2.6. MIKROKLIMAT – „ZIELONE SERCE”

Media Headquarters, budynek zaprojektowany przez zespół Ector Hoogstad Architecten, służy mediom – stacjom telewizyjnym AVRO, KRO i NCRV pozostając równocześnie w harmonii z krajobrazem holenderskiego miasta mediów. Zrealizowany w 2000 roku obiekt stanowi, według słów autora, próbę wpisania dużej kubatury w podmiejską parkowo-willową strefę Hilversum [6]. Około 35 tys. metrów kwadratowych powierzchni użytkowej budynku wpisano w rozczłonkowaną, czterokondygnacyjną bryłę, poprzedzianą wewnętrznymi dziedzińcami. Każdy z nich otwiera się szklaną fasadą na obszar parku, pozwalając wnikać krajobrazowi do wnętrza. Jednocześnie każde atrium posiada własny, wewnętrzny ogród zaprojektowany przez grupę architektów krajobrazu WEST 8. W geometrycznych pęknięciach w posadzce posadzono wysokie krzewy bambusowe, tworząc w nich tunelowe przejścia – zaciszne zakątki wewnątrz wypełnionego użytkownikami budynku. Stanowią one zarówno kontynuację natury przenikającej do wnętrza, jak i są częścią systemu podnoszącego jakość powietrza w całym obiekcie. Efekt kompozycji wnętrza okazał się tak atrakcyjny estetycznie, że część programów nadawana jest właśnie z zielonych wnętrz dziedzińców, a pracę reporterów można obserwować z galerii pierwszego piętra (rys. 5).



Rys. 5. Media Headquarters, Ector Hoogstad Architecten, Hilversum 2000, fot. Rook & Nagelkerke

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

#### 3.1. PODSUMOWANIE

Formy elementów naturalnych, takich jak zieleń, czy też woda mogą stanowić substancję dla tworzenia każdego z elementów kompozycji wnętrza architektonicznego lub urbanistycznego. Warto jednak podkreślić, że w każdym z pokazanych przypadków roli technologicznej i użytkowej towarzyszy efekt estetyczny kreujący kompozycję: przestrzeni pomiędzy budynkami, przedpola budowli; definiujący formę styku obiektu z krajobrazem czy charakter wnętrza architektonicznego.

Taki trend widoczny jest również w realizacjach polskich. Nowy sposób kształtowania krajobrazu miejskiego zapoczątkowała rozbudowa Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego przez zespół M. Budzyński, Z. Badowski z 1999 roku. Rozrzeźbienie terenu stało się motywem przewodnim w kolejnych obiektach użyteczności publicznej jak np. w budynku Geoparku w Kielcach zaprojektowanym przez grupę Palk Architekci. Współczesny obraz relacji architektury i natury można także odnaleźć w polskim budownictwie mieszkaniowym, np. w domu autorodzinym Roberta Koniecznego. Wymienione powyżej przykłady wskazują, że rozwiązania legislacyjne, a także wymiana informacji sprawiła, że rodzime realizacje sprawiają, że obraz polskich miast również zmienia się w myśl założeń „zielonej architektury”.



## 3.2. WNIOSKI KOŃCOWE

Parafrazując stwierdzenie Jamesa Winesa *The potential variations on green architecture are infinite...* [4] można stwierdzić, że różnorodność form zagospodarowania współczesnych wnętrz urbanistycznych i architektonicznych pozostających w ścisłym związku z przyrodą wydaje się być nieograniczona. Niektóre imitują naturę, inne współpracując z nią tworzą nową jakość środowiska życia człowieka, jeszcze inne zdają się być ukryte, nie zakłócając zastanego miejsca przesadną interwencją.

Cechą wspólną tych realizacji jest wykorzystanie elementów naturalnych jako budulca – materiału, w którym „wyrzeźbiony” zostaje zamierzony kształt przestrzenny wnętrza, przy równoczesnym wykorzystaniu ich właściwości. Dzięki wciąż rozwijającej się technologii możemy coraz efektywniej wykorzystać zielone i wodne posadzki, ściany oraz sklepienia do chłodzenia i podnoszenia jakości powietrza we wnętrzach równocześnie oszczędzając energię, gromadząc i powtórnie używając wodę opadową. Nie tylko ochrona zasobów, ale także ich produkcja staje się obecnie, dzięki zaostreniu przepisów – normą. Powoduje to rozwój trendu, w którym coraz więcej elementów tworzących środowisko życia człowieka to elementy naturalne.

## LITERATURA

- [1] SCHNEIDER-SKALSKA G., *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
- [2] TATARKIEWICZ W., *Dzieje sześciu pojęć: sztuka, piękno, forma, twórczość, odwrotność, przeżywanie estetyczne*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.
- [3] WEJCHERT K., *Elementy kompozycji urbanistycznej*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1984.
- [4] WINES J., *Architect's Statement*, Architecture and Urbanism, Vol. 12, No. 243, 1990.
- [5] ZUMTHOR P., *Thinking Architecture*, Berlin, Birkhauser 1999.
- [6] <http://www.ectorhoogstad.com/en/projects/dutch-broadcasting-company-headquarters-hilversum>, Dostęp 23.07.2013.
- [7] <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110118095356/http://www.cabe.org.uk/sustainable-places/examples/chiswick-business-park>, Dostęp 23.07.2013.
- [8] <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110118095356/http://www.cabe.org.uk/case-studies/mile-end-park/description>, Dostęp 23.07.2013.

THE RELATIONSHIP BETWEEN ARCHITECTURE AND NATURE  
IN CONTEMPORARY URBAN LANDSCAPE

The sustainability of architecture seems obvious nowadays. Subsequent legislation changes aimed at incorporating sustainable solutions into the design of buildings and the accompanying public spaces changed the image of contemporary environment. This process results in the need for a new approach to the relationship between architecture and nature. The elements of the natural world, so far considered mainly through their aesthetics, have now become useful elements, necessary for gaining energy, saving water, and improving air quality. However, they have not lost their aesthetic meaning. This article is an attempt to present the role of natural elements in shaping development and public spaces and addressing new, unified perception of architectural and urban space.

## ROZDZIAŁ IV

# UWARUNKOWANIA ENERGETYCZNE BUDYNKÓW TWORZĄCYCH ULICĘ MIEJSKĄ

Katarzyna ZIELONKO-JUNG\*

Większość ludzi na świecie zamieszkuje miasta, więc to one tworzą najczęściej kontekst współczesnej architektury. W otoczeniu miejskim czynniki klimatyczne, ulegają silnemu przekształceniu, co ma duże znaczenie dla budynków nakierowanych na oszczędność energii i pozyskiwanie jej ze źródeł naturalnych. Artykuł porusza problem związku kształtowania zabudowy miejskiej z warunkami mikroklimatu, jaki wytwarza się w jej sąsiedztwie. Rozważono podstawowe wewnątrz urbanistyczne, jakim jest ulica. Dokonano analizy, w jaki sposób w jej przestrzeni transformowane są: temperatura, nasłonecznienie, warunki aerodynamiczne. Podstawą przeprowadzonych rozważań są badania pochodzące z różnych źródeł literaturowych oraz własne, a także wybrane projekty budynków ekologicznych o charakterze miejskim. Celem analizy jest nakreślenie zależności pomiędzy geometrią zabudowy (proporcje ulic, formy budynków), a charakterem zjawisk występujących w jej otoczeniu. Zaprezentowano także ogólne wnioski dotyczące konsekwencji, jakie zależności te mają dla możliwości stosowania rozwiązań energooszczędnych w budynkach tworzących ulicę. Wyodrębniono kilka zasad dotyczących ich doboru i modyfikacji, które wydają się właściwą drogą kształtowania architektury energooszczędnej sytuowanej w miejskiej zabudowie ulicznej.

Słowa kluczowe: *architektura energooszczędna, rozwój zrównoważony, ekologiczne miasto*

### 1. ŚRODOWISKO MIEJSKIE JAKO OTOCZENIE BUDYNKÓW

Zasady dotyczące projektowania budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię i pozyskujących ją ze źródeł naturalnych w dużym stopniu opierają się na tworzeniu optymalnych relacji pomiędzy obiektem budowlanym a środowiskiem naturalnym. Obszary miejskie tworzą specyficzny kontekst środowiskowy. Charakteryzują się one między innymi: dużą intensywnością zabudowy, deficytem otwartej przestrzeni i terenów biologicznie czynnych, dużą emisją zanieczyszczeń i ciepła antropogenicznego. Naturalne czynniki klimatyczne ulegają transformacji. Nasuwa się, zatem pytanie o charakter relacji pomiędzy budynkiem a środowiskiem w przypadku otoczenia miejskiego.

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 55, 00-659 Warszawa.

Przedmiotem podjętych rozważań jest ulica, czyli podstawowe wnętrze urbanistyczne, rozpatrywane jako bezpośrednie otoczenie budynku. Jest ona obszarem zjawisk mikroklimatycznych, których skala ma charakter pośredni między zjawiskami obserwowanymi na większych obszarach (klimat lokalny w skali osiedli, fragmentów dzielnic o jednorodnej strukturze) a warunkami wewnątrz budynków. Ta strefa oddziaływania zjawisk klimatycznych nazywana jest sąsiedztwem budynku. Szacuje się, że jej zakres obejmuje promień ok. 1000 m [10]. Charakteryzuje ją duże zróżnicowanie warunków klimatycznych występujące w krótkim czasie, na małym obszarze. Zjawiska te nie są w pełni zbadane przez współczesną naukę. Wiadomo, że istnieją ściśle zależności między ich przebiegiem, a kształtem zabudowy oraz, że mają wyraźny wpływ na charakterystykę energetyczną budynków i jakość mikroklimatu ich wnętrza. Artykuł ten jest próbą przybliżenia tej rzadko podejmowanej problematyki i wykazania, że jej uwzględnienie jest niezbędne dla określenia drogi rozwoju budownictwa energooszczędnego, adekwatnego do uwarunkowań polskich miast.

Poniżej dokonano analizy zależności, jakie występują pomiędzy kształtem zabudowy a wybranymi elementami mikroklimatu, w skali jej bezpośredniego sąsiedztwa. Omówiono czynniki najsilniej wpływające na gospodarkę energetyczną budynków: nasłonecznienie, temperaturę i przepływ powietrza.

## 2. MIKROKLIMAT ULICY A KSZTAŁT ZABUDOWY

Charakterystyka mikroklimatu ulicy zależy od jej geometrii. Znaczący klimatologii posługują się pojęciem kanionu ulicznego. Charakteryzuje go współczynnik wyrażający proporcję wysokości budynków w stosunku do odległości między nimi:  $H/S$ .

### 2.1. WARUNKI NASŁONECZNIENIA I TEMPERATURA

Na terenach zabudowanych, w przeciwieństwie do terenów otwartych, jedynie część promieniowania słonecznego ulega odbiciu lub wypromieniowaniu do atmosfery. Pozostała część jest akumulowana w powierzchniach: utwardzonym podłożu oraz ścianach i dachach budynków. Rozkład energii słonecznej jest uzależniony od orientacji ulicy względem stron świata i współczynnika  $H/S$ .

Przykładowy rozkład promieniowania podaje Tim Oke, na podstawie analizy nasłonecznienia ulicy w Vancouver w Kanadzie, położonej na osi północ-południe, o współczynniku  $H/S = 0,9$  [9]. Według przytoczonych badań, ok. 60% promieniowania w godzinach południowych trafiło jako ciepło do przestrzeni w obrębie kanionu, 30% zostało zakumulowane w powierzchniach, a 10% zostało zniwelowane przez parowanie powierzchni. Największa część energii cieplnej trafiła na podłogę oraz do górnych stref przestrzeni, mniejsza na ściany budynków. Ściana wschodnia została poddana najintensywniejszemu promieniowaniu w godzinach porannych. Zauważalny,

choć mniejszy wzrost odnotowano popołudniu. Spowodowany był promieniowaniem odbitym od przeciwległej ściany. Na ścianie zachodniej rozkład był analogiczny, ale w odwrotnych porach dnia. Na podłożu i w górnej warstwie powietrza szczyt promieniowania nastąpił w godzinach południowych.

Rozkład energii promieniowania słonecznego jest ściśle uzależniony od głębokości kanionu ulicznego. Im głębszy kanion, tym bardziej nierównomiernie jest ona dystrybuowana. Zależności te analizował Anthony J. Arnfield. Porównał on wartości promieniowania docierające do różnych stref kanionu ulicznego w zależności od parametru  $H/S$  (uwzględnił wartości  $H/S = 0,25, 0,5, 1, 2, 3$  i  $4$ ), orientacji ulicy (na osi północ–południe i wschód–zachód) oraz szerokości geograficznej [2].

Z punktu widzenia gospodarki energetycznej budynków, najbardziej interesujące są zależności dotyczące promieniowania padającego na ich ściany. Generalnie, im głębszy kanion uliczny, tym mniej promieniowania do nich dociera. Według Arnfielda dla szerokości geograficznej Polski, w czerwcu, ściany ulicy o współczynniku  $H/S = 0,25$  położonej na osi północ–południe, otrzymują czterokrotnie więcej promieniowania niż ściany ulicy przy  $H/S = 4$ . Dla prostopadłej ulicy różnica jest około dwukrotna. Im głębszy profil, tym mniejsze znaczenie ma orientacja ulicy. Dla  $H/S$  o wartości 2, 3 i 4 promieniowanie jest zbliżone dla obu rozważanych orientacji. Płytse kaniony ( $H/S \leq 1$ ) są bardziej „wrażliwe” na zmianę orientacji. Ściany eksponowane na wschód i zachód przyjmują sumarycznie więcej energii promieniowania słonecznego niż ściany ulicy prostopadłej. Zimą orientacja ulicy nie wpływa wyraźnie na insolację ścian dla wszystkich badanych profili kanionu.

Rozkład promieniowania słonecznego w przestrzeni ulicy wpływa na jej charakterystykę termiczną. Latem temperatura panująca wewnątrz kanionu ulicznego jest wyraźnie wyższa niż w strefie ponad dachami. Największe różnice występują nocą w głębokich kanionach, gdy ciepło zakumulowane w powierzchniach oddawane jest do atmosfery. Zimą różnice są nieznaczne.

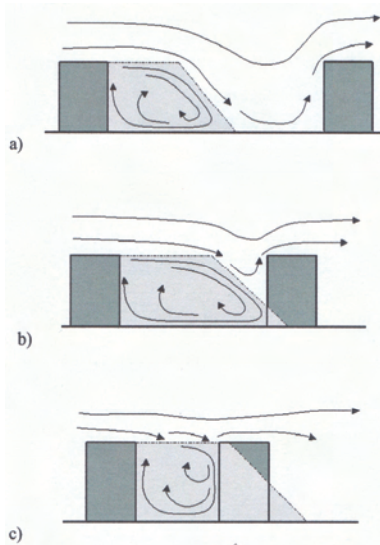
Przestrzeń ulicy podlega także zróżnicowaniu termicznemu w tym samym czasie. W przypadku nasłonecznionych ulic występują różnice temperatur powietrza i powierzchni. Temperatura powierzchni poddawanej bezpośredniemu promieniowaniu może być nawet do  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  wyższa niż powietrza, podczas gdy ściana zacieniona może być o kilka stopni od niego chłodniejsza. W przypadku głębokich kanionów ulicznych znacznemu zróżnicowaniu podlega temperatura ścian przeciwległych (nawet do  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , przy orientacji ulicy wschód–zachód) oraz stref dolnych i górnych tej samej ściany, poza północną [1].

## 2.2. PRZEPIY W IATRU

Cyrkulacja powietrza w przestrzeni ulicy ma znaczenie zarówno dla komfortu jej użytkowników, jak i charakterystyki energetycznej budynków. Istotne jest, by wiatr pozwalał na wymianę powietrza w kanionie ulicznym i chronił go przed letnim prze-

grzewaniem. Jednak jego prędkość nie powinna być zbyt duża, zwłaszcza w okresach zimnych, ze względu na dyskomfort przechodniów i zwiększanie potrzeb grzewczych budynków. Według Katarzyny Klemm, niewystarczająca wentylacja występuje przy temperaturze 25 °C i prędkości poniżej 3 m/s, zaś potrzeba ochrony przed wiatrem, gdy temperatura jest niższa niż -5 °C, a prędkość przekracza 1 m/s [8].

Proces wymiany powietrza w obszarze kanionu ulicznego, podobnie jak w przypadku nasłonecznienia, zależy od parametru  $H/S$ , szczególnie, gdy wiatr wieje prostopadle do osi ulicy. Jej przestrzeń można podzielić na dwie strefy cyrkulacji: strefę recyrkulacji i wentylacji [3, 6]. Ta pierwsza znajduje się przy zawietrznej ścianie budynku, w strefie podciśnienia. W jej obrębie powietrze wiruje w sposób pokazany na rys. 1. Strefa wentylacji znajduje się przy ścianie nawietrznej przeciwległego budynku. Powietrze z górnych stref wnika do kanionu, by unieść się ku górze (rys. 1a). W miarę zmniejszania szerokości ulicy, obszar wentylacji zmniejsza się (rys. 1b). Poniżej pewnej wartości krytycznej następuje całkowity brak wentylacji, a powietrze podlega zamkniętemu ruchowi wirowemu (rys. 1c). Wówczas w przestrzeni ulicy zalega zanieczyszczone, nagrzane powietrze, tworzy się mgła. Wentylowanie naturalne budynków jest nieskuteczne.



Rys. 1. Schemat cyrkulacji powietrza w przestrzeni ulicy przy wiatrach prostopadłych; strefa recyrkulacji zaznaczona kolorem szarym, oprac. własne na podstawie [3, 6]

Precyzyjne określenie optymalnych proporcji wymiarów przekroju ulicy ze względu na warunki aerodynamiczne, nie jest możliwe, gdyż kształt zabudowy w dalszym otoczeniu – unikatowy dla każdej sytuacji – zmienia charakterystykę wiatru. Szacunkowe przedziały wskazanych wartości  $H/S$ , podawane przez poszczególnych autorów

nie pokrywają się, ale analizując je można przyjąć, że gdy współczynnik ten jest mniejszy niż 0,37, przy wiatrach prostopadłych do ulicy występuje intensywna wymiana powietrza, a gdy jest większy niż 0,74, powietrze nie ulega wymianie [11].

Ważne są także inne cechy przestrzenne zabudowy, np. zróżnicowanie wysokości budynków, ciągłość pierzei elewacyjnych, bramy i podcięcia, formy dachów. Na przykład „szczelnie” zabudowane ulice o współczynniku  $H/S \geq 0,33$  tworzą kanały zasysające strumienie powietrza (efekt wąskiego kanału). Przewężenia ulicy powodują gwałtowne przyspieszenia wiatru (efekt dyszy). Pojedyncze obiekty o znacznie większej wysokości niż zabudowa sąsiednia, wywołują z kolei pionowy ruch powietrza (efekt wiru spływającego) [4]. Choć zjawiska te bywają uciążliwe dla przechodniów, mogą korzystnie intensyfikować wymianę powietrza w strefach zastoju.

### 3. ROZWIĄZANIA OBNIŻAJĄCE ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ W BUDYNKACH TWORZĄCYCH ULICĘ

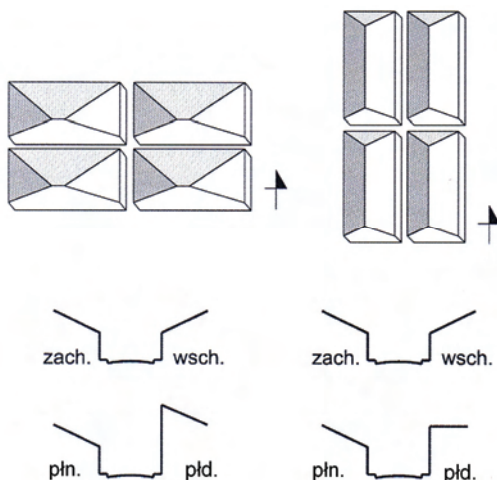
W porównaniu z terenem otwartym, przestrzeń ulicy ogranicza możliwości stosowania rozwiązań nakierowanych na oszczędność energii i pozyskiwanie jej ze źródeł naturalnych. Do najpoważniejszych problemów zaliczyć można samozacienianie zabudowy, trudność jej optymalnego orientowania względem słońca, ograniczenie naturalnego wentylowania przestrzeni miejskich i budynków, tendencje do przegrzewania latem.

Powszechnie znane, „podręcznikowe” zasady kształtowania budynków energooszczędnych dotyczą sytuacji, w których kontekst otoczenia nie wpływa zasadniczo na uwarunkowania mikroklimatyczne. W przypadku zwartych ulic miejskich istnieje konieczność selektywnego wyboru znanych rozwiązań bądź ich modyfikowania tak, by odpowiadały indywidualnym możliwościom danej działki oraz potrzebom budynków i przestrzeni miejskich. Zakres tego opracowania nie pozwala na obszerną analizę w tym zakresie. Omówiono jednak pewne kierunki, które wydają się właściwą drogą dochodzenia do rozwiązań przestrzennych dostosowanych do uwarunkowań mikroklimatycznych ulicy.

#### 3.1. PROFIL ULICY

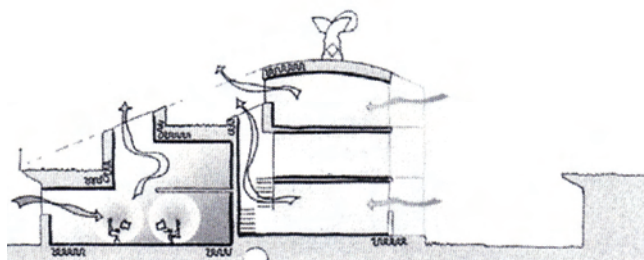
Podstawowym zaleceniem dla budynków energooszczędnych jest dążenie do zwartości formy oraz wyeksponowania jej na zyski słoneczne. Układ ulicy sprzyja formom zwartym. Trudniejsze jest jednak dążenie do pasywnego pozyskiwania energii cieplnej ze słońca. W przypadku głębokich kanionów ulicznych dolne partie budynków czerpią ze słońca w niewielkim stopniu, nawet przy orientacji południowej. Trudno także wykorzystać możliwości formowania planu budynku tak, by otwierał się na ekspozycję południową, a elewacja północna została zminimalizowana (zasada tzw. koperty słonecznej). Podczas projektowania warto jednak rozważyć możliwości

ukształtowania profilu pionowego ulicy w sposób zgodny z tą zasadą. Przykładowe rozwiązania pokazano na rys. 2 [1].



Rys. 2. Schematyczne przykłady różnicowania wysokości zabudowy w układzie ulicy prowadzącego do maksymalizacji zysków słonecznych i minimalizacji strat ciepła, opracowanie własne na podstawie [1]

Korzystne może okazać się wprowadzenie asymetrii profilu ulicznego, płaszczyzn skośnych lub zaokrąglonych. Dzięki temu można „otworzyć” nawet niezbyt szeroką ulicę na słońce oraz zróżnicować powierzchnie elewacji dobrze i słabo nasłonecznionych na korzyść tych pierwszych (rys. 3). Powierzchnie nachylone mogą zaś posłużyć do sytuowania instalacji aktywnie pozyskujących energię słoneczną. Podobne zasady kształtowania profilu ulicy mają także znaczenie dla cyrkulacji powietrza. Rozszerzanie ulic w górnych strefach może ograniczyć opisywane w rozdziale 2.2 trudności wentylowania wąskich ulic przy wiatrach prostopadłych.



Rys. 3. Osiedle mieszkaniowe BedZED w Londynie (proj. ZEDfactory). Przekrój budynku układowego w kształcie koperty słonecznej w układzie pionowym, oprac. własne na podstawie [7]

### 3.2. STREFOWANIE WERTYKALNE

Wytyczne do projektowania energooszczędnych budynków zalecają grupowanie pomieszczeń wg potrzeb termicznych i świetlnych, czyli tzw. strefowanie funkcji. I tak, pomieszczenia o dużym zapotrzebowaniu na ciepło i światło (np. strefy dzienne mieszkań) o dużych rozmiarach, powinny zajmować strefy lepiej eksponowane na słońce (południowe, zachodnie), a pomieszczenia o mniejszym zapotrzebowaniu, generujące ciepło i niewielkie, strefy gorzej nasłonecznione. W przestrzeni ulicy, zastosowanie typowego strefowania funkcji nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza, gdy proporcje profilu ulicy powodują zacienienie dolnej strefy przez znaczną część dnia. W tej sytuacji rozważać można różnicowanie funkcji budynków w pionie, w zależności od warunków nasłonecznienia. Dolne kondygnacje powinny mieścić funkcje niewymagające bezpośredniego dostępu promieniowania oraz o dużym obciążeniu termicznym. Górne kondygnacje, o znacznie większych możliwościach w zakresie pasywnego pozyskiwania energii słonecznej, powinny mieścić funkcje związane ze stałym przebywaniem ludzi i dużych potrzebach w zakresie bezpośredniego oświetlenia światłem dziennym.

Podobna zamiana układu horyzontalnego na wertykalny dotyczyć może zasad rozmieszczania elementów przeszklonych, ukierunkowanych na pasywne pozyskiwanie energii słonecznej. W niezacienianych budynkach wolnostojących należy umieszczać duże okna i struktury szklarniowe od południa. Od wschodu i zachodu udział przeszkleń względem ścian pełnych powinien być mniejszy, a od północy powinno być ich jak najmniej. Tak, więc różnicowanie wielkości przeszkleń odbywa się na obwodzie budynku. W przypadku ulic różnicowanie to może przebiegać wertykalnie, czyli dolne strefy powinny mieć mniej okien niż górne, lepiej nasłonecznione. Analogicznie, zewnętrzne elementy ochrony przeciwsłonecznej (np. wysunięte części elewacji, okiennice, żaluzje, rolety) mogą być potrzebne jedynie w górnych pasach ścian.

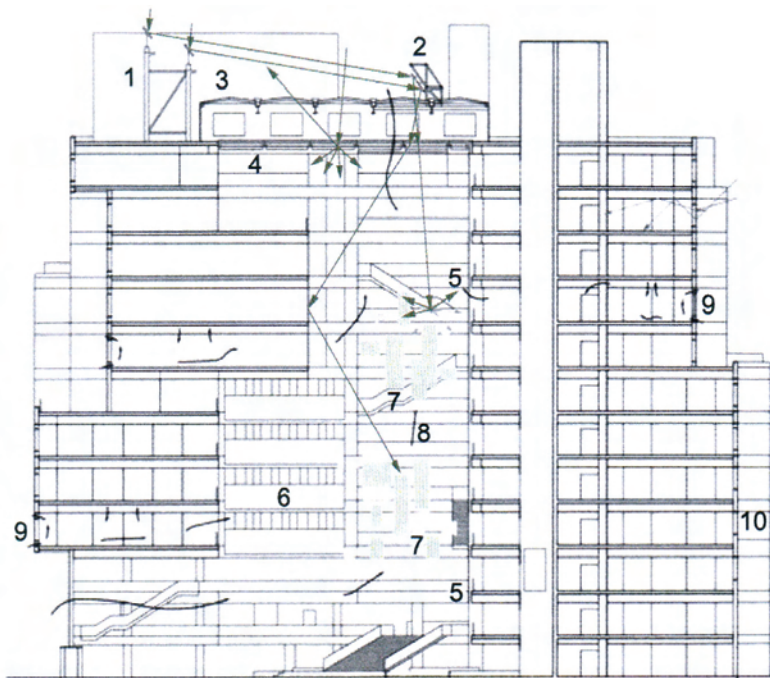
### 3.3. NIEZALEŻNOŚĆ OD ORIENTACJI

Dla budynków tworzących zwarte ulice najwłaściwsze mogą się okazać rozwiązania prowadzące do oszczędności energii, które nie wymagają określonej orientacji względem stron świata. Należą do nich te, które wykorzystują płaszczyznę dachu, a nie elewacje. W zabudowie miejskiej to właśnie dachy tworzą najkorzystniejszą płaszczyznę do sytuowania instalacji aktywnie pozyskujących energię. Są, bowiem mniej narażone na zacienianie i przesłanianie niż ściany budynków. Dachy mają także znaczenie dla możliwości stosowania elementów przestrzennych pozyskujących energię z sposób pasywny i regulujących mikroklimat wewnątrz budynków np. przestrzeni atrialnych i elementów kominowych. O ile prawidłowe zastosowanie atrium z przeszkloną elewacją w budynku tworzącym ulicę jest możliwe jedynie przy właściwej orientacji względem słońca i braku zacieniania przez sąsiednią zabudowę, o tyle atrium wewnętrzne jest rozwiązaniem uniwersalnym (rys. 4).



Orientacja budynku i stopień zacielenia jego ścian nie wpływa zasadniczo na sposób działania takiego atrium. Pozwala ono także na poprawę warunków oświetlenia wnętrza światłem dziennym, które w przypadku głębokich kanionów ulicznych mogą być niezadowalające.

Korzystne mogą się także okazać mało popularne w Polsce, kominy słoneczne i wieże wiatrowe. Pod względem bioklimatycznym działają podobnie jak atria, ale mają charakter zdecentralizowany, przez co mniej wpływają na układ przestrzenny budynku. Dzięki nim budynki o głębokich traktach mogą osiągnąć komfortowe warunki mikroklimatu wnętrza (równomierne oświetlenie światłem dziennym, naturalna wymiana powietrza) i funkcjonalną elastyczność.



Rys. 4. Przekrój przez budynek biurowy w Cambridge, (USA, proj. Behnisch & Partner) ze schematem wentylacji i oświetlenia budynku światłem dziennym (instalacja heliostatyczna na dachu i w atrium); strzałkami szarymi zaznaczono drogę pozyskiwania słonecznego promieniowania świetlnego, czarnymi – wentylację naturalną; heliostat (1), zwierciadło (2), przeszklenie dachu atrium (3), żaluzje ruchome (4), „ściana świetlna” z żaluzjami odbijającymi światło (5), panele stalowe (6), system płytek odbijających światło (7), naturalny ruch powietrza zużytego (8), ściana dwupowłokowa z otworami wentylacyjnymi (9), elewacje z otwieranymi oknami (10), oprac. własne na podstawie [7]

Dachy są także możliwością dla ekspansji roślinności. Wprowadzanie jej na płaszczynny dachowe w zwartej zabudowie jest bardziej uzasadnione niż na terenach otwartych, bogatych w tereny biologicznie czynne. Oprócz wielu innych zalet, zieleni

dachowa korzystnie wpływa na warunki termiczne budynku izolując go przed zimmem i chroniąc przed przegrzewaniem.

### 3.4. TECHNOLOGIA I MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA ENERGII

Trudności ze swobodą orientowania budynków w układzie ulicy i ich słaba ekspozycja na słońce ogranicza możliwości stosowania pasywnych metod pozyskiwania energii i racjonalnego nią gospodarowania. Proste, tradycyjne zasady związane z formowaniem budynków, kształtowaniem ich układu przestrzenno-funkcjonalnego, rozwiązywaniem elewacji, zdecydowanie łatwiej wykorzystać w budynkach wolnostojących. W układzie ulic, zwłaszcza intensywnie zabudowanych, konieczne jest ich przekształcanie oraz uzupełnianie rozwiązaniami technologicznymi.

O ile wykorzystanie energii cieplnej słońca jest utrudnione w przestrzeniach miejskich, o tyle stanowią one unikatowy potencjał dla wykorzystania energii wiatru. Aktualny stan wiedzy i dostępne technologie nie pozwalają go w pełni wykorzystać, ale jest to z pewnością obszar rozwojowy. Przejawem zainteresowania tą formą energii są pierwsze realizacje obiektów wysokościowych z turbinami wiatrowymi (np. Bahrain World Trade Center w Manamie, proj. Atkins; Pearl River Tower w Guangzhou, proj. SOM; Castle House w Londynie, proj. Hamiltons Architects). Podejmowane są także próby integrowania drobnych nieuciążliwych elementów pozyskujących wiatr (np. turbiny o pionowej osi obrotu, elementy z materiałów piezoelektrycznych) z budynkami o niewielkiej skali.

## 4. PROJEKTOWANIE ENERGOOSZCZĘDNE W PRZESTRZENI ULICY

Analizując uwarunkowania mikroklimatyczne danej przestrzeni, można określić jej energetyczny potencjał, a także rozpoznać problemy wymagające rozwiązania. Istotne jest, by widzieć projektowany budynek lub zespół budynków, nie jako wartość jednostkową, ale jako element większego fragmentu zabudowy. Taki sposób myślenia tworzy nową wartość dla rozważań nad kierunkami rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenach zurbanizowanych. Tkanka miejska, projektowana całościowo lub uzupełniana, powinna tworzyć harmonijny układ – nie tylko ze względu na uwarunkowania urbanistyczne, ale także mikroklimatyczne i energetyczne. Wprowadzenie nowej zabudowy wymaga rozważań, w jaki sposób należy ją kształtować, by nie pogorszyć warunków istniejących, i czy w sytuacjach problematycznych, możliwa jest ich poprawa. Dotyczy to szczególnie zjawisk aerodynamicznych, których badania dowodzą, że konsekwencje wprowadzenia nowego budynku mogą być odczuwalne dalej niż tylko w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Zarysowana w tym opracowaniu charakterystyka uwarunkowań mikroklimatycznych przestrzeni ulic miejskich pokazuje, z jak złożonymi zagadnieniami mamy do

czynienia. Stan wiedzy na ich temat nie jest wystarczający i wymaga pogłębienia. Uwidacznia się szczególnie rola badań interdyscyplinarnych, które podjęte we wczesnym etapie projektu, mogą znacząco wpłynąć na logikę tworzenia i dobierania rozwiązań energooszczędnych.

#### LITERATURA

- [1] ALI-TOUDERT F., *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry climate*, 2005, [www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078/pdf/diss\\_freidok\\_ali\\_toudert\\_fazia.pdf](http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078/pdf/diss_freidok_ali_toudert_fazia.pdf). Dostęp 15.03.2012.
- [2] ARNFIELD A.J., *Street Design And Urban Canyon Solar Acces*, Energy and Building, Vol. 14, 1990, 117–131.
- [3] DANIELS K., *The Technology Of Ecological Building*, Birkhauser, Berlin 1997.
- [4] FLAGA A., *Inżynieria wiatrowa*, Arkady, Warszawa 2008.
- [5] GIVONI B., *Climate Considerations In Building And Urban Design*, Willey & Sons, Nowy Jork 1998.
- [6] HARMAN I.N., *The Energy Balance of Urban Areas*, praca doktorska na Wydziale Meteorologii Uniwersytetu w Reading, 2003.
- [7] HEGGER M., FUCHS M., STARK T., ZEUMER M., *Energy Manual, Sustainable Architecture*, Birkhauser, Berlin 2008.
- [8] KLEMM K., *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych*, Sekcja Fizyki Budowli, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Studia z Zakresu Inżynierii nr 75, Warszawa 2011.
- [9] OKE T.R., *Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observation*, International Journal of Climatology, Vol. 1, 1981, 237–254.
- [10] RATTI C., DI SABATINO S., BRITTER R., *Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques: Winds and Dispersion*, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 84, 2006, 77–90.
- [11] ZIELONKO-JUNG K., *Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.

#### CITY STREET AS SPECIFIC ENVIRONMENT OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

The bulk of the world's population lives in the cities, which most often serve as the background for contemporary architecture. In the urban setting, natural environment, including climate, is greatly transformed. Its characteristics have a strong impact on energy-efficient buildings that seek to regain energy from natural sources.

The article deals with the shaping of urban surroundings in relation to the microclimate in their vicinity. It starts with the analysis of the street as a cornerstone of urban structure. This street transforms natural climatic components, such as temperature, amount of sunshine and wind. Drawing from a body of literature and research findings (including the author's own research), a number of environmentally friendly urban projects are analysed and discussed. The objective of this analysis is to outline interrelations between the geometry of urban structure (proportions between streets and form of the buildings) and the climatic phenomena emergent in their proximity.

This allows drawing general conclusions on what consequences these interrelations may have for the use of energy-efficient mechanisms and designs applied to buildings on that street. Several general guidelines for their selection and modification were named, respecting which seems to be the right way to shape energy-efficient architecture in the street urban context.

## ROZDZIAŁ V

# ZIELONE BUDYNKI ADMINISTRACJI PUBLICZNEJ

Barbara WIDERA\*

Projektowanie architektury z odpowiedzialnością wobec przyrody, a także obecnych i przyszłych pokoleń, opiera się na kilku procesach. Właściwe zrozumienie holistycznego podejścia do projektowania wspomaga architektów w tworzeniu systemów, które z czasem całkowicie odmieniają postrzeganie środowiska zbudowanego. Zielone budynki, funkcjonujące jako współczesne przedłużenie środowiska naturalnego, zapewniają poprawę komfortu użytkownika, a w konsekwencji również podniesienie jakości życia w skali najbliższej okolicy oraz w skali miasta. Zrównoważona architektura staje się przykładem nowego sposobu myślenia: budynek wytwarza energię zamiast ją konsumować. Warunki ekonomiczne, środowiskowe i społeczne, podobnie jak aspekty kulturowe, są analizowane wspólnie. Takie podejście powinno stać się typowe dla XXI wieku, szczególnie w obiektach, które są dedykowane potrzebom większych grup społecznych. Podwyższenie efektywności energetycznej i wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii w sektorze publicznym pomaga ustanowić wzór do popularyzowania i naśladowania wśród społeczności lokalnej. Aby pokazać działanie tych idei w praktyce, przeprowadzono analizę dwóch obiektów, zaprojektowanych i zrealizowanych przez Mario Cucinella Architects (MCA).

Słowa kluczowe: *projektowanie holistyczne, zielona architektura, architektura zrównoważonego rozwoju, środowisko zbudowane*

### 1. ARCHITEKTURA A ODPOWIEDZIALNOŚĆ WOBEC ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Jedną z ważnych cech architektury współczesnej jest jej powiązanie z naturą. Pionierzy nowoczesnej architektury organicznej, tacy jak Louis Sullivan, już pod koniec XIX wieku odchodzili od inspiracji nurtami historycznymi na rzecz czerpania wzorców z przyrody. *Sullivan zwrócił się do żywych form. Jego głównym źródłem był organizm, ponieważ oferował podstawowe zasady kontrolowania wzrostu, prawa, które ściśle wiązały kształt rzeczy z wewnętrzną naturą i z adaptacją do śro-*

---

\* Wydział Architektury, IHAST (I-12), Politechnika Wrocławska, ul. Bolesława Prusa 53/55, Wrocław.

*dowiska* [3, s. 8]. Dla Sullivana zasady budowy oraz sposób funkcjonowania organizmów żywych były nadrzędne nawet w stosunku do ładu geometrycznego, kulturowanego od czasów antyku i stanowiącego jedną z podstaw ideologii modernizmu<sup>1</sup>.

Idee Sullivana znalazły kontynuację w dziełach Franka Lloyd Wrighta, który także głosił konieczność powiązania architektury z naturą. Wright interpretował środowisko człowieka jako prawidłowe zrównoważenie trzech elementów: „Czasu, Miejsca i Człowieka” [10]. Projektując słynny Dom nad Wodospadem (Fallingwater, dom Edgara Kaufmanna w Bear Run w Pensylwanii, USA, 1936) dążył do ukazania idealnej harmonii pomiędzy ludzkimi możliwościami i potrzebami<sup>2</sup>, uwarunkowaniami wynikającymi z umieszczenia budynku nad wodospadem, w rezerwacie przyrody, a także aktualną wiedzą i stopniem rozwoju architektury.

Na przełomie XX i XXI wieku do tak postrzeganego projektowania spójnego z naturą doszedł czwarty czynnik. Jest nim troska o przetrwanie środowiska naturalnego i zachowanie jego walorów dla następnych pokoleń.

Od lat 80. XX wieku, kiedy to na podstawie badań Światowej Komisji do Spraw Środowiska i Rozwoju, powołanej przez ONZ w 1983 roku, sporządzono w 1987 roku pierwszą spójną wizję zrównoważonego rozwoju zawartą w raporcie „Nasza wspólna przyszłość” [2], również w architekturze zaczęto stopniowo propagować koncepcję projektowania zrównoważonego [1]. Program zrównoważonego rozwoju opiera się na kontroli i zmianie jakości procesów wzrostu<sup>3</sup>, zaspokajaniu podstawowych ludzkich potrzeb, ochronie i świadomym wykorzystaniu bazy zasobów naturalnych a także na reorientacji technologii z uwzględnieniem korzyści i zagrożeń dla środowiska [2].

Realizacja polityki zrównoważonego rozwoju w architekturze wymaga wdrożenia nowych metod projektowych. Są one związane z poszerzonym spektrum zagadnień, ujmowanych w fazie przygotowania i realizacji projektu, a następnie w całym cyklu eksploatacji budynku aż do jego rozbiórki i recyklingu materiałów budowlanych. Ostatnią fazą procesu jest ponowne wykorzystanie, bądź przywrócenie działki do środowiska naturalnego. Niezwykle ważne jest przy tym minimalizowanie śladów, pozostawianych w tym środowisku na skutek działalności człowieka. W praktyce projektowej, w celu stworzenia wysokiej jakości środowiska zbudowanego, spełniającego wymagania zrównoważonego rozwoju, niezbędne staje się wprowadzenie metod holistycznych.

---

<sup>1</sup> Harmonia geometryczna jako nadrzędna wartość porządkująca stanowiła podstawę prac między innymi Le Corbusiera czy Ludwiga Mies van der Rohe.

<sup>2</sup> Reprezentowanymi przez współczesną technologię oraz projektowanie w oparciu o naturalną dla człowieka skalę, tj. jego wymiary, percepcję przestrzeni itd.

<sup>3</sup> W tym procesów wzrostu w skali architektonicznej i urbanistycznej.

## 2. HOLISTYCZNY PROCES PROJEKTOWANIA

W XXI wieku, wobec licznych zagrożeń dla środowiska naturalnego, tworzenie środowiska zbudowanego z odpowiedzialnością wobec przyrody, a także obecnych i przyszłych pokoleń, wymaga zastosowania holistycznego podejścia do projektowania. Proces holistyczny pozwala wygenerować nowe rozwiązania, których wartość jest czymś więcej niż tylko sumą części składowych. W przypadku architektury warunki ekonomiczne, środowiskowe i społeczne, podobnie jak aspekty kulturowe, są analizowane wspólnie w celu uzyskania nowej jakości. Polega ona na wzniesieniu budynku (lub zespołu budynków) reprezentującego wysoki poziom rozwiązań funkcjonalnych, estetycznych i technologicznych, w połączeniu z czytelnym przesłaniem edukacyjnym. Idea tego przesłania powinna być związana między innymi z kształtowaniem postaw wobec przyrody.

Nowe budynki, funkcjonujące jako współczesne przedłużenie środowiska naturalnego, zapewniają poprawę komfortu użytkownika, a w konsekwencji również poprawę jakości życia w skali najbliższej okolicy oraz w skali miasta. Właściwe zrozumienie holistycznego podejścia do projektowania wspomaga architektów w tworzeniu systemów, które radykalnie zmieniają postrzeganie środowiska zbudowanego. Zrównoważona architektura staje się przykładem nowego sposobu myślenia: budynek wytwarza energię zamiast ją konsumować.

Holistyczne podejście do projektowania jest rozwinięciem ideologii Wrighta. W powstających współcześnie obiektach architektury zrównoważonej często stosowana jest propagowana przez niego metoda, polegająca na projektowaniu budynku jako kompleksowej „odpowiedzi na miejsce”<sup>4</sup> [4]. Jednak do zapoczątkowanej przez Wrighta koncepcji budownictwa organicznego dołączyć dziś trzeba wiele wątków. Proces powstawania nowego obiektu obejmuje szereg badań, począwszy od zagadnień „wewnętrznych”, tj. materiałów, konstrukcji, funkcji i formy, poprzez zagadnienia zewnętrzne w skali lokalnej, ściśle powiązane z usytuowaniem budynku, aż po skalę globalną. W tym ostatnim aspekcie zawarte są takie kwestie jak wpływ środowiska zbudowanego na ewentualne trwałe zmiany w środowisku naturalnym. Szczególnie istotne są zmiany klimatyczne oraz wyczerpywanie zasobów naturalnych.

Tematyka budownictwa niskoenergetycznego, domów pasywnych, wykorzystania energii słonecznej czy też wysokowydajnych systemów izolacyjnych znajduje się obecnie wśród najbardziej aktualnych tematów poruszanych w literaturze dotyczącej architektury współczesnej. Jednak, jak stwierdza Torben Dahl, tylko w bardzo niewielu przypadkach realizowane projekty bazują na autentycznej analizie lokalnych

---

<sup>4</sup> Yenna Chan w książce „Sustainable Environments” prezentuje grupę obiektów realizujących podobną filozofię w rozdziale „Response to Place”. Należy podkreślić, że Chan używa sformułowania „Response to Place” w znaczeniu zarówno „specyfiki miejsca”, jak i troski o „konserwację miejsca”.

uwarunkowań klimatycznych oraz na próbie zrozumienia przekazywanej z pokolenia na pokolenie wiedzy o tradycyjnych sposobach adaptacji architektury do klimatu [8].

W raporcie „Nasza wspólna przyszłość” poruszano temat oszczędnego i racjonalnego gospodarowania zasobami nieodnawialnymi oraz zwrócono uwagę na konieczność ukierunkowania różnych dziedzin działalności ludzkiej na umiejętne wykorzystanie zasobów i źródeł odnawialnych. Sformułowano wówczas hasło „produce more with less”<sup>5</sup> [2, s. 46]. Tę samą zasadę przyjął w projektowaniu architektonicznym Mario Cucinella, propagator idei tworzenia dobrych wzorców w architekturze, która ma służyć nie tylko indywidualnym użytkownikom, ale także całym społecznościom.



Rys. 1. Siedziba Rady Miejskiej w Bolonii (2008), projekt: Mario Cucinella Architects. Nowy obiekt zastąpił funkcjonalnie 21 budowli, rozrzuconych w różnych częściach miasta. Budynek jest dobrze połączony z siecią komunikacyjną, zaś decyzja o jego lokalizacji wpłynęła na poprawę standardu dzielnicy Bolognina, fot. B. Widera

### 3. TWORZENIE DOBRZYCH WZORCÓW W ARCHITEKTURZE

W budynkach projektowanych przez pracownię Mario Cucinella Architects widoczne jest dążenie do uzyskania równowagi pomiędzy trzema kluczowymi elementami: architekturą, energią i środowiskiem [7]. Powstające współcześnie budowle administracyjne powinny z zasady promować architekturę zrównoważoną. Podwyższenie efektywności energetycznej i wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii w sektorze publicznym jest szczególnie istotne, ponieważ pomaga ustanowić wzór do naśladowania i popularyzowania wśród społeczności lokalnej. Także decy-

---

<sup>5</sup> W znaczeniu: “Produkować więcej, zużywając mniej” – tłum. autorki.

zja o wyborze lokalizacji obiektów użyteczności publicznej, najważniejszych dla mieszkańców danego obszaru, może pozytywnie wpłynąć na poprawę jakości życia w okolicy. Przykładem skutecznej realizacji tych postulatów jest nowa siedziba Rady Miejskiej w Bolonii (rys. 1).

### 3.1. SIEDZIBA RADY MIEJSKIEJ W BOLONII

Zaprojektowany przez Mario Cucinella Architects zespół budynków Rady Miejskiej w Bolonii (Municipalità di Bologna, 2008) zastąpił funkcjonalnie 21 obiektów, rozrzuconych w różnych częściach miasta i zatrudniających 1100 pracowników. Zarówno dla osób zatrudnionych w strukturach rady miejskiej, jak i dla wszystkich odwiedzających ten urząd, duże znaczenie miało dobre połączenie nowej siedziby z siecią komunikacyjną. Wpłynęło to na lokalizację budowli w dzielnicy Bolognina, w bezpośrednim sąsiedztwie głównego dworca kolejowego, tuż poza obrębem historycznego centrum i w zasięgu wielu linii autobusowych. Siedziba Rady Miejskiej w Bolonii została usytuowana w miejscu dawnego targu owocowo – warzywnego. Okolica nie wydawała się interesująca dla potencjalnych inwestorów i jej ranga stopniowo spadała. Podjęta w 2004 roku decyzja władz miasta o wzniesieniu w tym miejscu nowych obiektów administracji publicznej znacząco wpłynęła na ponowne połączenie dzielnicy z centrum miasta oraz poprawę jej standardu [5]. Widać to nie tylko po zwiększonej liczbie osób przyjeżdżających do Bologniny ale także po kolejnych inwestycjach realizowanych obecnie w sąsiedztwie siedziby Rady Miejskiej.

Nowy obiekt ma powierzchnię 33000 m<sup>2</sup>, z czego 27000 m<sup>2</sup> zajmują biura a 6000 m<sup>2</sup> przeznaczono na usługi. W zespole trzech budynków, o wysokości 8, 10 i 12 kondygnacji znalazło się miejsce dla sklepów (minimarket, drogeria, apteka), kawiarni i usług (biuro podróży, bank, poczta, fryzjer, klub fitness, plac zabaw, punkt opieki nad dziećmi).

Orientacja północ–południe uwzględnia dominujący kierunek wiatrów i umożliwia wykorzystanie pasywnych zysków solarnych zimą oraz systemu chłodzenia za pomocą przepływu powietrza latem. Koncepcja budynku opiera się na podzieleniu jego masy na trzy elementy, powiązane z różnymi funkcjami [7]. Dzięki kombinacji otwartych i zamkniętych stref wykreowano nową przestrzeń publiczną. Przecinające się ciągi komunikacji pieszej znajdują kontynuację we wnętrzach. Od strony zachodniej umieszczono otwarty, dobrze przewietrzany i zacieniony skwer, służący jako miejsce spotkań i wypoczynku. Jednocześnie jest to wspólna strefa wejściowa do poszczególnych części gmachu (rys. 2). Do podlewania roślin i zasilania fontanny wykorzystywana jest odzyskiwana i filtrowana w budynku woda deszczowa.

W części południowej ulokowano zespół parkingów (9000 miejsc) z panelami fotowoltaicznymi (1000 m<sup>2</sup>), umieszczonymi w strukturze dachu. Pozyskiwana dzięki nim energia słoneczna jest przetwarzana na energię elektryczną, zasilającą budynek Rady Miejskiej. Dodatkowo fotoogniwa zaciniają najwyższą kondygnację parkingu.

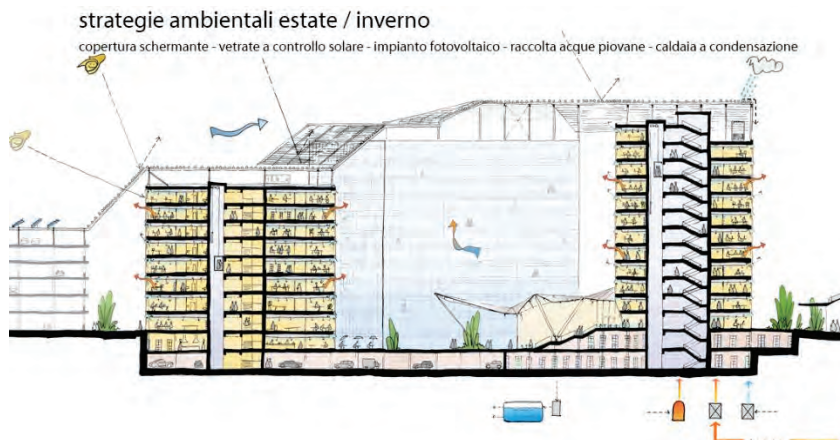




Rys. 2. Siedziba Rady Miejskiej w Bolonii (2008), projekt: Mario Cucinella Architects. Umieszczony od strony zachodniej, dobrze przewietrzany i zacieniony skwer, służy jako miejsce spotkań i wypoczynku. Jednocześnie jest to wspólna strefa wejściowa do poszczególnych części budynku, fot. B. Widera

Materiały do wykończenia elewacji dobrano w zależności od ekspozycji na promieniowanie słoneczne. Fasadę wschodnią i zachodnią wyposażono w system zewnętrznych żaluzji z piaskowanego szkła. Cały obiekt ocieniono przy pomocy przezroczystej struktury, wygiętej pod różnymi kątami i porównywanej do orgiami [7]. Szklany dach pełni podwójną funkcję: spaja trzy fragmenty budowli w jedną całość a latem, dzięki zastosowaniu wysokiej jakości szkła selektywnego, chroni obiekt przed nadmierną insolacją i przegrzewaniem (rys. 3). Zimą, gdy kąt padania promieni słonecznych jest mniejszy, przeszklone powierzchnie umożliwiają dobre doświetlenie wnętrza światłem dziennym. Dodatkowo elementy konstrukcyjne dachu powodują rozpraszanie światła, pełniąc rolę podobną do zewnętrznych żaluzji poziomych. Dzięki wykorzystaniu dynamicznego efektu zgniecenia dach uzyskał niepowtarzalny kształt i stał się najbardziej charakterystycznym, łatwo rozpoznawalnym elementem nowej siedziby Rady Miejskiej (rys. 4). Uniesienie osłony przeciwsłonecznej ponad tarasem panoramicznym wymusza przepływ powietrza i poprawia system wentylacji całego budynku.

Prawidłowa temperatura w obiekcie, zarówno latem jak i zimą, jest uzyskiwana dzięki specjalnie zaprojektowanemu systemowi wymiany powietrza. Powietrze wchodzące do budynku przechodzi przez jednostkę regulującą poziom nawilżenia. Dystrybucja przygotowanego powietrza odbywa się za pomocą układu kanałów wentylacyjnych, wykonanych z blachy ocynkowanej. Następnie powietrze jest wpuszczane do pomieszczeń poprzez porowate płyty promieniujące, umieszczone w sufitach biur.



Rys. 3. Siedziba Rady Miejskiej, Bolonia (2008), projekt: Mario Cucinella Architects, jako przykład projektowania holistycznego. Schemat przedstawia zastosowane strategie środowiskowe: wentylacja naturalna w strefach publicznych oraz system indywidualnie regulowanego nawiewu w biurach, kontrola nasłonecznienia i temperatury przez zastosowanie szkła selektywnego oraz poziomych elementów konstrukcji dachu, pełniących jednocześnie rolę osłon rozpraszających światło, fotowoltaika, odzyskiwanie wody deszczowej i ekonomiczne gospodarowanie wodą, opracowanie © Mario Cucinella Architects



Rys. 4. Siedziba Rady Miejskiej w Bolonii (2008), projekt: Mario Cucinella Architects. Fragment elewacji i szklanego zadaszenia, chroniącego przed nadmierną insolacją i spajającego trzy części obiektu w jedną całość. Uniesienie osłony przeciwsłonecznej ponad tarasem panoramicznym wymusza przepływ powietrza i poprawia wentylację całego budynku. Fot. B. Widera

System pozwala na niezależne chłodzenie lub ogrzewanie każdej kondygnacji, co jest istotne ze względu na zróżnicowanie funkcjonalne poszczególnych stref oraz

możliwość zmiany ich przeznaczenia w zależności od aktualnych potrzeb. Ponadto użytkownicy mogą indywidualnie regulować temperaturę i siłę nawiewu przy swoim stanowisku pracy.

### 3.2. SIEDZIBA STAROSTWA POWIATOWEGO W RIMINI

Projekt siedziby Starostwa Powiatowego Forum w Rimini (Centro Direzionale Forum, Rimini, 2007), podobnie jak w przypadku siedziby Rady Miejskiej w Bolonii, miał w zamierzeniach doprowadzić do podniesienia rangi południowej części miasta i podwyższenia jakości życia w dzielnicy. Wpłynęło to na decyzję o lokalizacji u zbiegu dwóch głównych dróg na tym obszarze: Via Flaminia i Viale della Repubblica. Aby powstający obiekt od początku stał się przydatny społeczności lokalnej, biura starostwa umieszczono na górnych kondygnacjach, pozostawiając na parterze strefę komercyjną. Forma budynku wynika z połączenia części wewnętrznej, w kształcie litery L, oraz zewnętrznego łuku, z wejściem umieszczonym pośrodku. Strefa wejściowa została zaakcentowana *pęknięciem*<sup>6</sup> [6], poprowadzonym przez całą wysokość elewacji. Aby zachować ciągłość komunikacji w budynku obie jego części połączone otwartymi balkonami, umieszczonymi na trzech poziomach.



Rys. 5. Siedziba Starostwa Powiatowego Forum w Rimini, projekt: Mario Cucinella Architects (2007). Elewacja porośnięta jaśminem. Balkony łączą obie części budynku w trzech poziomach, fot. B. Widera

Ideą biura Mario Cucinella Architects było stworzenie budowli, która wprowadzi do otoczenia zieleni i wykreuje nową, przyjazną przestrzeń publiczną, oddzieloną od

---

<sup>6</sup> Termin *pęknięcie* został przez autorów użyty celowo i odnosi się do teorii katastrof.

skrzyżowania [6]. Aby podkreślić nieformalny charakter skweru utworzonego za budynkiem, elewację w tej części wykończono drewnem. Główna fasada, wychodząca na węzeł komunikacyjny, podobnie jak boczne ściany na zakończeniach obu skrzydeł, obrazują ekologiczne przesłanie budynku i są porośnięte zielenią (rys. 5.). Konstrukcję wertykalnego ogrodu tworzy siatka kwadratów, o boku 60×60 cm, wykonana ze stali nierdzewnej (rys. 6.). Na każdej kondygnacji umieszczono wpuszczane w strop donice, w których zasadzone zostały kwitnące pnącza. Wybrany do obsadzenia elewacji jaśmin gwiaździsty (*Jasminum officinale*) charakteryzuje się pięknym odcieniem liści, wonnymi kwiatami oraz szybkim procesem wzrostu.<sup>7</sup> Otwarta siatka przepuszcza powietrze i filtruje światło a zacienione galerie tworzą bufor termiczny i wentylowaną strefę komunikacyjną. Dostęp na wyższe piętra odbywa się za pomocą przeszklonej klatki schodowej oraz windy, przystosowanej do obsługi osób o ograniczonej sprawności ruchowej.



Rys. 6. Siedziba Starostwa Powiatowego Forum w Rimini, projekt: Mario Cucinella Architects (2007). Symetryczne skrzydła budynku oddzielają nowo utworzony skwer od skrzyżowania. Konstrukcję wertykalnego ogrodu tworzy siatka kwadratów, o boku 60 × 60 cm, wykonana ze stali nierdzewnej. Fot. B. Widera

## 2.1. PODSUMOWANIE

W poziomie terenu ulokowano 293 m<sup>2</sup> przestrzeni komercyjnej oraz 100 m<sup>2</sup> garaży. Na wyższych piętrach, obok pomieszczeń starostwa, przewidziano miejsce dla innych, powiązanych funkcjonalnie biur. W obrębie dwóch symetrycznych skrzydeł, można uzyskać otwartą przestrzeń albo wydzielić mniejsze biura o powierzchni 47, 57 lub 70 m<sup>2</sup>. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu przekształcalności budynek wyposażono w pionowe serwisy, zapewniające niezależne zespoły instalacyjne i higie-

---

<sup>7</sup> Jaśmin gwiaździsty w łagodnym klimacie rośnie około 2 metrów w ciągu roku.

niczno-sanitarne dla każdego biura. Wszystkie pomieszczenia mają wyjścia na balkony z widokiem na ogród, co wpływa na podniesienie komfortu pracy.

Zaprezentowane budynki można uznać za wzorcowe przykłady architektury projektowanej ze świadomością ograniczeń środowiska naturalnego i z troską o jego przetrwanie. Jako obiekty użyteczności publicznej są ważne dla lokalnych społeczności. Wpływając na poprawę jakości życia i podwyższenie standardu dzielnicy ilustrują pozytywne zmiany, które można uzyskać dzięki odpowiedniemu projektowaniu środowiska zbudowanego. Edukacyjna rola architektury jest czytelna i oddziałuje na użytkowników, pomagając kształtować postawy w stosunku do środowiska. Propagowanie wykorzystania czystej energii, naturalnych systemów chłodzenia i ogrzewania, czy też oszczędnego gospodarowania zasobami wody pitnej, rozpoczyna się od obiektów centralnych, istotnych dla funkcjonowania większych struktur urbanistycznych. Dalszym krokiem powinno być rozprzestrzenianie prawidłowych działań na bliższą i dalszą okolicę.

#### LITERATURA

- [1] BARANOWSKI A., *Projektowanie zrównoważone w architekturze*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1998.
- [2] BRUNDTLAND G.H., The World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, United Nations, New York 1987, 46–58.
- [3] BUSH-BROWN A., *Louis Sullivan*, George Braziller Inc., New York 1960, 8.
- [4] CHAN Y., *Sustainable Environments*, Rockport Publishers Inc., Gloucester, Massachusetts 2007, 14–15.
- [5] COLOMBO C., *Alla scoperta del project financing. Intervista a Rita Finzi, presidente di Duc Bologna*, [w:] *More with Less*, Issue 1, Bologna 2008, 30–33.
- [6] CUCINELLA M., *Il verde sui muri*, [w:] *More with Less*, Issue 1, Bologna 2008, 54–55.
- [7] CUCINELLA M., *Una città in Comune*, [w:] *More with Less*, Issue 1, Bologna 2008, 30–33.
- [8] DAHL T., *Climate and Architecture*, Taylor & Francis Group, Routledge, The Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Architecture Publishers, Kopenhaga 2010.
- [9] GIORGI A., *Mario Cucinella*, Edilstampa srl., Roma 2006.
- [10] WRIGHT F.L., *An Autobiography*, Pomegranate Communications, New York 2005, 72.

#### GREEN BUILDINGS FOR PUBLIC ADMINISTRATION

Architecture, designed with responsibility towards the nature as well as the present and future generations, is based on several processes. With the proper understanding of holistic design, architects can create systems that will totally change the perception of the built environment. High quality buildings, acting and perceived as the contemporary continuation of the natural environment, provide the improvement of the user comfort and consequently also the improvement of quality of the neighborhood and the city. Sustainable architecture becomes a perfect example of the new way of thinking: the building produces energy instead of consuming it. Economic, environmental, social and cultural aspects are analyzed together. Such an approach should become typical for 21-st century. Its application is especially important in the buildings that are representative for bigger communities. Increased energy efficiency and the usage of renewable sources in public sector helps setting the pattern to follow and to popularize among the local society.

## ROZDZIAŁ VI

# WYKORZYSTANIE SCHEMATÓW ENERGETYCZNYCH W PROJEKTOWANIU BUDYNKÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH

Joanna BIEDROŃSKA\*, Jarosław FIGASZEWSKI\*

Schematy energetyczne ujawniają wyraźny związek między kształtowaniem przestrzennym a gospodarowaniem energią w budynku. Zależność ta ma wpływ na sprawność energetyczną i mikroklimat wnętrza budynku. Artykuł przybliży sposoby opracowywania schematów energetycznych pod kątem ich przydatności w praktyce projektowej. Wskazuje miejsca, gdzie energia termiczna może odgrywać istotną rolę w kształtowaniu struktury budynku, jak również przy doborze rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych i systemów addytywnych, podporządkowanych wymogom energetycznym.

Słowa kluczowe: *budownictwo energooszczędne, budownictwo niskoenergetyczne, schematy energetyczne budynków*

## 1. WPROWADZENIE

Nowe krajowe regulacje prawne, implementujące postanowienia dyrektywy europejskiej 2010/31/EU odnośnie charakterystyki energetycznej budynku, mają na celu stopniowe ograniczenie zapotrzebowania na ciepło i zwiększenie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Osiąganie takich zamierzeń nie może odbywać się na podstawie przyjętych w sposób arbitralny decyzji odnośnie rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych i estetycznych obiektu. Imperatyw energooszczędności w budownictwie wymaga czegoś więcej, oznacza włączenie zagadnień energetycznych do procesu projektowania już na etapie kształtowania formy i struktury. Niezbędna jest do tego wiedza na temat konsekwencji podjętych decyzji w zakresie efektów energetycznych. Między kształtowaniem przestrzennym a gospodarowaniem energią istnieje, bowiem wyraźny związek, który przekłada się na sprawność energetyczną i mikroklimat wnętrza budynku. Zależność tę ujawniają koncepcje energetyczne, opracowane w postaci

---

\* Wydział Architektury, Katedra Strategii Projektowania i Nowych Technologii w Architekturze, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice.

rysunkowej (schematy energetyczne) lub przestrzennej (wizualizacje lub makiety). Przedstawiają one w graficzny sposób metody gospodarowania energią w obiekcie przy użyciu elementów struktury budynku (tzw. pasywne systemy). Dzięki temu mogą być one pomocnym narzędziem optymalizacji energetycznej rozwiązań projektowych.

## 2. STRATEGIE GOSPODAROWANIA ENERGIĄ W BUDYNKU

Właściwe gospodarowanie energią w budynku pozwala znacząco zmniejszyć jego koszty eksploatacyjne. Wymaga to stosowania energooszczędnych zasad w poszczególnych cyklach obiegu energii. Obejmują one pobór, odzysk i zachowanie energii w ilościach odpowiadających zapotrzebowaniu. Względy ekonomiczne skłaniają do kompleksowości działań w tym zakresie.

W myśl energooszczędności pobór energii powinien być realizowany w oparciu o rozproszone, powszechnie dostępne źródła odnawialne. Wśród nich najczęściej wykorzystuje się promieniowanie słoneczne, ponieważ każdy budynek znajduje się pod wpływem jego oddziaływania. W zależności od jego natężenia i zastosowanych w obiekcie rozwiązań dostarcza ono energii użytecznej o zróżnicowanej jakości. Największą efektywność daje wykorzystanie insolacji do celów grzewczych w sposób bezpośredni, bez uciekania się do systemów mechanicznych. Ze względu na fakt, że potrzeby grzewcze budynku nie są zbieżne w czasie ze stopniem nasłonecznienia i wielkością możliwych do uzyskania zysków ciepłych, istnieje potrzeba kontrolowanego poboru energii. Wymaga to uwzględniania na etapie kształtowania przestrzennego trzech współzależnych strategii: ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia dziennego. Pierwsza z nich określa sposoby pozyskania energii, jej magazynowania i rozprowadzenia we wnętrzu obiektu. Uczestnikami wszystkich zachodzących procesów są m.in. podstawowe elementy struktury budynku, zyskujące w ten sposób dodatkową funkcję - energetyczną. Strategia chłodzenia, stosowana w okresie letnim, polega na ograniczeniu zysków energetycznych i pozbyciu się nadmiaru ciepła z obiektu wskutek właściwej dystrybucji powietrza wentylowanego. Natomiast koncepcja oświetlenia naturalnego obejmuje zagadnienia doświetlenia wnętrz i zależna jest od sposobu użytkowania pomieszczeń. Wchodzi ona w zakres problematyki energetycznej w związku z wyborem dla poszczególnych pomieszczeń rodzaju oświetlenia: naturalnego lub sztucznego. Każda z trzech wyszczególnionych strategii ma odmienne cele, przez co zachodzi możliwość konfliktu funkcjonalnego, któremu należy przeciwdziałać poprzez dobór odpowiednich rozwiązań [1].

Strategie zachowania i odzysku energii dotyczą wszystkich działań ograniczających zapotrzebowanie na energię ciepłą w trakcie eksploatacji obiektu. Dotyczą one zwiększania termoizolacyjności i zapewnienia szczelności przegród zewnętrznych, uwzględniają także odzysk ciepła z układów wentylacyjnych i ścieków. Zmierzają one do zmniejszenia wskaźnika energochłonności eksploatacyjnej.

W budynku stosuje się także inne metody oszczędnego gospodarowania energią, polegające na strefowaniu termicznym lub kaskadzie energetycznej. Pierwsza z nich zakłada grupowanie pomieszczeń o podobnym standardzie cieplnym. Druga z metod dotyczy optymalizacji obiegu energii w budynku i polega na pełnym zagospodarowaniu energii odpadowej. W tym celu tworzy szereg użytkowania energii, w którym jedne zachodzące w budynku procesy korzystają z ciepłej energii odpadowej innych procesów [6].

### 3. ODDZIAŁYWANIE ZAGADNIENÍ ENERGETYCZNYCH NA KSZTAŁTOWANIE PRZESTRZENNE BUDYNKU

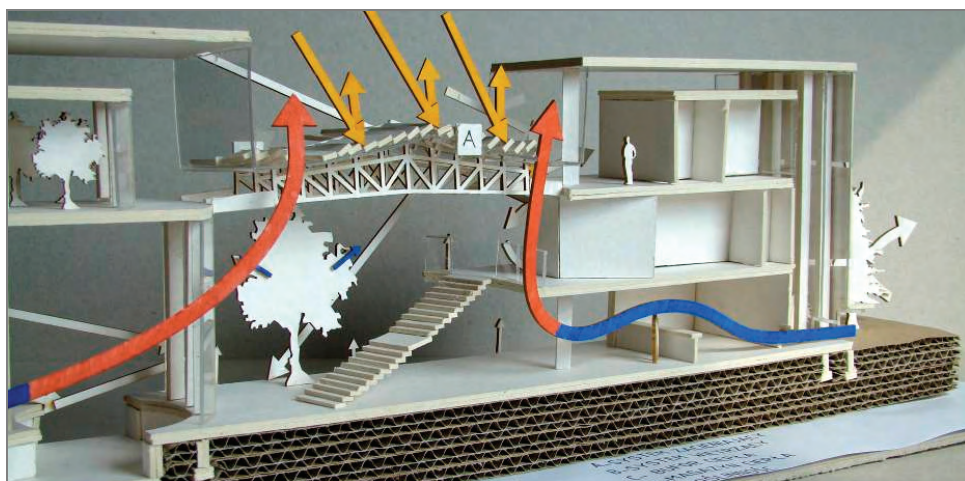
Koncepcja wykorzystania energii słonecznej powiązana z ograniczeniem zużycia energii w budynkach znajduje odzwierciedlenie w pasywnych rozwiązaniach architektonicznych. Ich dobór w projekcie ma charakter indywidualny i zależy od licznych uwarunkowań: urbanistycznych, klimatycznych, fizjograficznych terenu, funkcjonalnych projektowanego obiektu oraz ekonomicznych.

Oddziaływanie zagadnień energetycznych na kształtowanie architektury uwidacznia się w następujących cechach:

- Geometria budynku – Zminimalizowanie strat ciepła poprzez ukształtowanie zwartej bryły, aby uzyskać korzystny stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury ( $A/V$ ). Odpowiednie uformowanie bryły oraz fasady pozwala regulować klimat wnętrza, chroniąc pomieszczenia przed przegrzewaniem w okresach letnich;
- Orientacja budynku względem stron świata – Optymalne zorientowanie budynku względem stron świata w zależności od potrzeb funkcjonalnych i energetycznych, dotyczących wykorzystania ciepła i światła słonecznego. Ma to istotny wpływ na kształtowanie stref funkcjonalnych, przestrzeni pośrednich (struktury szklarniowe), rozmieszczenia elementów przegród akumulacyjnych, przeziernych i innych rozwiązań technicznych, mających ostateczny wpływ na formę budynku. Decyduje o przestrzenności wewnątrz po stronie nasłonecznionej i zagęszczeniu wewnętrznej struktury budynku po stronie zimnej, północnej;
- Strefowanie pomieszczeń w zależności od ich funkcji i czasu użytkowania – Strefowanie termiczne polega na optymalnym wykorzystaniu ciepła, w tym pozyskiwaniu ciepła słonecznego w sposób ograniczający wymagania grzewcze w przestrzeni wewnętrznej od strony nasłonecznionej. Strefowanie termiczne i świetlne wymaga hierarchizacji elementów funkcji użytkowej budynku według potrzeb grzewczych, a także zapewnienia znacznego udziału światła naturalnego w przestrzeni przeznaczonej na stały pobyt ludzi;
- Sezonowa zmienność podziałów termicznych – Struktura wnętrza, umożliwiająca ograniczenie powierzchni użytkowej o wysokim standardzie cieplnym zimą, a zwiększenie jej latem;



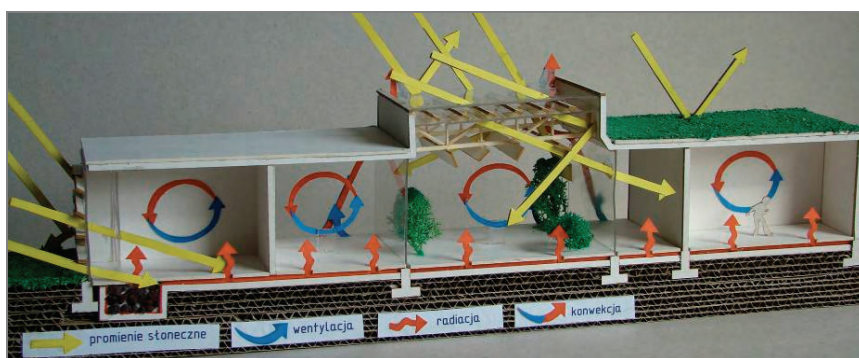
- Perforacja rzutu – Wykorzystanie przekrytych szkłem przestrzeni atrialnych do poprawy warunków oświetleniowych i cieplnych wnętrza;
- Stopień przeszklecia elewacji w odniesieniu do orientacji – Z uwagi na zyski słoneczne maksymalne przeszklecie powinno być zadysponowane od strony południowej, a z uwagi na straty ciepła – minimalne od strony północnej;
- Stosowanie przestrzeni termobuforowych – Tworzą je wydzielone przestrzenie szklarniowe, znajdujące się zarówno po stronie nasłonecznionej, jak również zacienionej, do których nie dopływa bezpośrednio promieniowanie słoneczne. Stanowią bufor termiczny pomiędzy środowiskiem zewnętrznym a mikroklimatem wnętrza, powodując np. ograniczenie strat nagromadzonego ciepła w okresie zimy;
- Helioaktywność rozwiązań strukturalnych, będąca wynikiem ukształtowania budynku pod kątem maksymalnych zysków słonecznych, zapewniająca efektywność energetyczną systemu pasywnego ogrzewania słonecznego części budynku.



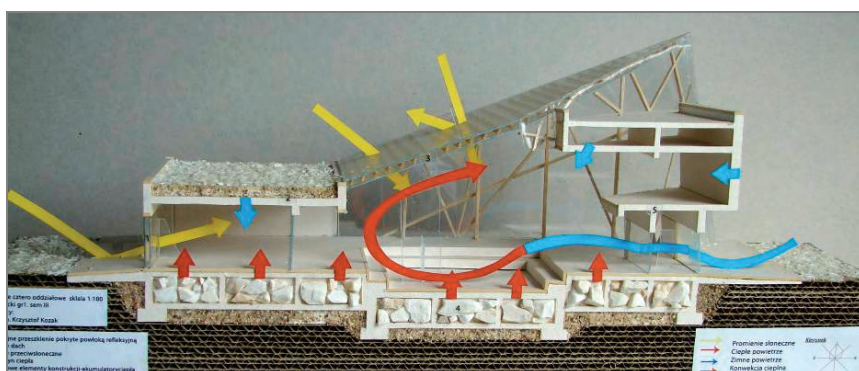
Rys. 1. Atrium wewnętrzne. Praca stud. Edyty Wiśniewskiej, wykonana w ramach przedmiotu „Projektowanie architektury energooszczędnej” na III sem. (r.ak. 2011/2012), fot. J. Figaszewski

Pożądanee efekty energetyczne mogą być osiągnięte dzięki wykorzystaniu zjawisk fizycznych zachodzących w budynku i jego sąsiedztwie, przy udziale podstawowych elementów struktury obiektu i komponentów addytywnych (zamocowanych do struktury budynku przy pomocy konstrukcji wyłącznie im przypisanych), w pełni podporządkowanych wymogom energetycznym. Poszczególnym elementom przypisuje się role w strategii pasywnego ogrzewania i chłodzenia, które nabierają znaczenia zależnie od pór roku:

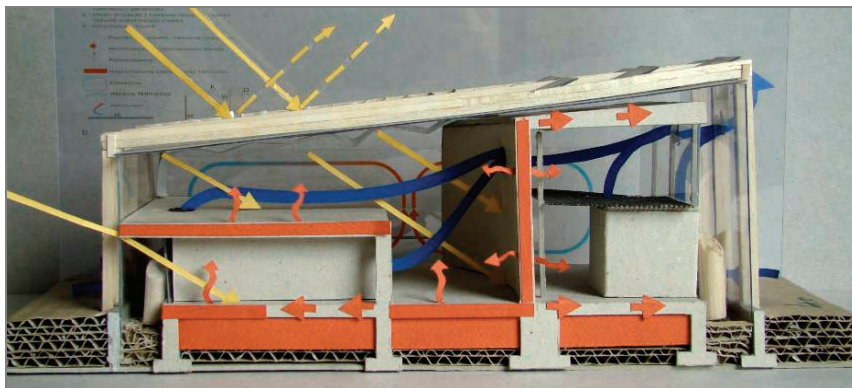
- a. architektoniczne osłony przezroczyste i przeświecające, odpowiedzialne za pozyskanie energii promieniowania słonecznego dla celów grzewczych oraz dające całoroczny dostęp światła dziennego. Zakres rozwiązań obejmuje: okna, przeszklone perforacje przegród, przeszklone fasady (rys. 5), struktury szklane przekryć dachowych, świetliki z regulacją stopnia zacienienia, czerpnie słoneczne (specjalna postać uwydatnionych w obudowie świetlików, ukierunkowanych na maksymalne zyski słoneczne, ang. *sunscoops*), przegrody transparentno-izolujące, a w ujęciu przestrzennym: atria wewnętrzne (rys. 1 i rys. 2), pasáže, przeszklone przestrzenie buforowe i ogrody zimowe. W celu zwiększenia efektywności pozyskania energii stosuje się powierzchnie refleksyjne (rys. 5). Przy 60% przezroczystości fasady zachowany jest zrównoważony stosunek pomiędzy otrzymywaną energią słoneczną w zimie i wykorzystaniem światła a ograniczeniem przegrzania w miesiącach letnich;



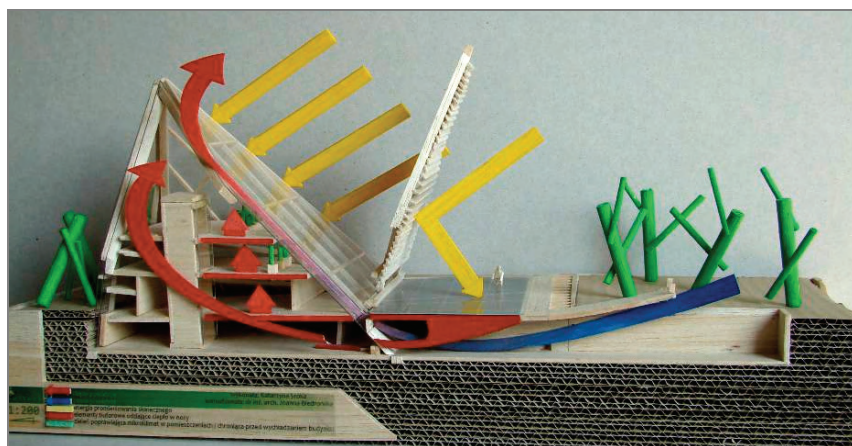
Rys. 2. Atrium wewnętrzne. Praca stud. Ewy Piszczek, wykonana w ramach przedmiotu „Projektowanie architektury energooszczędnej” na III sem. (r.ak. 2011/2012), fot. J. Figaszewski



Rys. 3. Elementy izolujące: ściany buforowe i zielony dach. Praca stud. Piotra Nowickiego, wykonana w ramach „Projektowania architektury energooszczędnej” na III sem. (r.ak.2010/2011), fot. J. Figaszewski



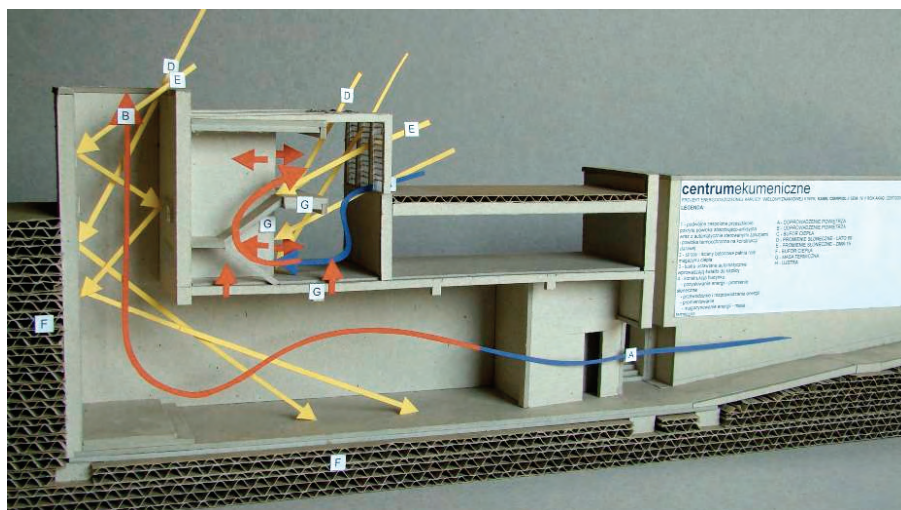
Rys. 4. Magazyny ciepła w budynku. Praca stud. Bartosza Bernackiego, wykonana w ramach przedmiotu „Projektowanie architektury energooszczędnej” na IV sem. (r.ak. 2007/2008), fot. J. Figaszewski



Rys. 5. Zaznaczenie w strukturze budynku systemów odpowiedzialnych za pozyskanie energii. Praca stud. Katarzyny Sroki, wykonana w ramach przedmiotu „Projektowanie architektury energooszczędnej” na III sem. (r.ak. 2010/2011), fot. J. Figaszewski

- b. architektoniczne elementy izolujące, zabezpieczające budynek przed stratami ciepła w zimie i zyskami w lecie. Należą do nich: zielone dachy i elewacje (rys. 3), ściany i przestrzenie buforowe umieszczone od północy, zagłębienia części budynku w gruncie (rys. 6), stałe lub ruchome elementy zacięniające (np. żaluzje, markizy, rolety, brise-soleil), regulowane osłony termiczne (np. współczesne formy okiennic, ciepłochronne kotary, folie mikroperforowane, obrotowe lamele termoizolacyjne), zestawy szklane wypełnione izolacją transparentną, szkło o ograniczonej stałej lub zmiennej przepuszczalności promieniowania słonecznego;

- c. architektoniczne elementy o dużej pojemności cieplnej, akumulujące energię do celów grzewczych. Do tej grupy rozwiązań należą: masywne, nie izolowane termicznie przegrody wewnętrzne budynku, w tym stropy, podłogi i ściany wykonane z tradycyjnych materiałów (np. ceramika, beton, kamień), a także lekkie przegrody zawierające materiały zmienno fazowe, ponadto zbiorniki wodne i ziemia w szklarniach, podziemne magazyny ciepła (rys. 3 i rys. 4);
- d. architektoniczne elementy przeznaczone do rozprzodzenia energii termicznej w sezonie grzewczym, a także służące wentylacji naturalnej, mającej na celu pozbycie się nadmiaru ciepła w okresie letnim. Ta grupa rozwiązań obejmuje: system kanałów w przegrodach do transportu ciepła, kłapy regulujące przepływ powietrza, podwójne wentylowane fasady (rys. 5), przestrzenie buforowe w postaci dodanej szklarni. Ważną rolę pełnią przeszklone atria wewnętrzne spełniające rolę komina wentylacyjnego, gdzie w każdym przypadku cyrkulacja powietrza odbywa się przez otwory nawiewne umieszczone w dolnych partiach szklanych ścian i wywiewne w górnych partiach lub dachu, warunkując wentylację wyporową lub wentylację poprzeczną (rys. 6).



Rys. 6. Uwydatnienie w strukturze budynku komina wentylacyjnego.

Praca stud. Kamila Cierpioła, wykonana w ramach przedmiotu „Projektowanie architektury energooszczędnej” na IV sem. (r.ak. 2007/2008), fot. J. Figaszewski

Wyszczególnione komponenty energetyczne, składające się na systemy przeszkleń, magazynowania, rozprzodzenia i regulacji przepływu energii, a także systemy ochrony termicznej i przeciwsłonecznej, ujawniają się w różnych częściach budynku i współtworzą jeden organizm, odpowiedzialny za prawidłowy przebieg zachodzących w budynku procesów heliologicznych.

## 4. ZNACZENIE SCHEMATÓW ENERGETYCZNYCH

Zaprezentowane w poprzednim rozdziale makiety z koncepcjami energetycznymi, będące ilustracją omawianych zagadnień, ujawniają wyraźny związek między kształtowaniem przestrzennym budynku a gospodarowaniem energią w trakcie jego eksploatacji. Wskazują one miejsca, gdzie zagadnienia energetyczne determinują przyjęcie określonych rozwiązań projektowych, a energia termiczna przyjmuje funkcję formotwórczą. Przyjęło się opracowywać takie przestrzenne modele lub znacznie częściej rysunki w postaci uproszczonych schematów głównie dla potrzeb budynków, wykorzystujących energię promieniowania słonecznego w celach grzewczych. Ich podstawowym celem jest zobrazowanie metod gospodarowania nią w ramach strategii ogrzewania i chłodzenia przy użyciu systemów pasywnych. Zasady sporządzania takich schematów omówione są w innej publikacji [1], a przykładów dostarczają liczne źródła bibliograficzne [2, 4, 5]. Zastosowanie ich ma wymiar praktyczny i przynosi w trakcie procesu projektowego wiele korzyści.

### 4.1. SCHEMATY JAKO SPOSÓB EKSPONOWANIA ZAGADNIEŃ ENERGETYCZNYCH W PROJEKCIE

Dzięki schematom w projekcie nabierają znaczenia zagadnienia energetyczne. Schematy lub ich przestrzenne odwzorowania służą artykulacji tych treści, podkreślając specyfikę budownictwa energooszczędnego. Towarzysząc metodom obliczeniowym, mogą być one pomocnym narzędziem w udokumentowaniu energooszczędności budynku. Uwzględniając pozytywne skutki oszczędnego gospodarowania energią dla środowiska (redukcja szkodliwego oddziaływania budynku na środowisko, mniejsze zapotrzebowanie na paliwa kopalne), są one także graficznym sposobem wyrażania proekologicznego zaangażowania projektu.

### 4.2. SCHEMATY JAKO WYRAZ INTEGRACJI KSZTAŁTOWANIA FUNKCJONALNO-PRZESTRZENNEGO Z ZAGADNIENIAMI ENERGETYKI CIEPLNEJ BUDYNKÓW

Sporządzanie schematów pozwala zintegrować kształtowanie funkcjonalno-przestrzenne obiektów z zagadnieniami energetyki cieplnej. Budynek traktowany jest obecnie nie tylko jako obiekt architektoniczno-budowlany, ale również jako system energetyczny, odpowiedzialny za gospodarowanie w nim energią [3]. Schematy ujawniają wszystkie zależności, procesy i komponenty, wynikające z lokalnych warunków klimatycznych, które decydują o funkcjonowaniu budynku jako całości i wpływają na jego bilans cieplny. Substancja budowlana, ujęta w sferze materiałowej i strukturalnej, otrzymuje funkcje energetyczne. W przypadku rozwiązań bardziej zaawansowanych technologicznie uzyskuje ona wsparcie ze strony urządzeń i instalacji.

#### 4.3. SCHEMATY JAKO NARZĄDZIE ANALIZ EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

Schematy służą optymalizacji rozwiązań projektowych. Są one narzędziem analiz efektywności energetycznej budynku pomocnym już na wstępnym etapie projektowania architektonicznego. Warunkują orientację obiektu, kształtowanie funkcjonalno-przestrzenne, dobór rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, addytywnych systemów technicznych i instalacyjnych. Analizy schematów opracowanych na bazie przekroju lub rzutu mogą dostarczyć wskazówek odnośnie zmian układu przestrzennego, konstrukcji, przegród, w celu zapewnienia lepszej dystrybucji pozyskanego ciepła lub/i powietrza wentylowanego. Z uwagi na przyjęcie zunifikowanego kodu graficznego dla określenia zjawisk i komponentów energetycznych we wszystkich schematach, możliwa staje się analiza porównawcza poszczególnych wariantów rozwiązań, jak również zgoła odmiennych koncepcji.

Rezultat działań projektowych w dużym stopniu zależy od wiedzy projektanta i jego umiejętności korzystania z narzędzi, jakie oferuje i wymaga budownictwo energooszczędne. Korzystając ze schematów energetycznych, dobiera on w sposób bardziej świadomy rozwiązania, zwiększające sprawność energetyczną budynku.

#### 4.4. SCHEMAT ENERGETYCZNY JAKO NOŚNIK INFORMACJI SPECJALISTYCZNEJ

Schematy pełnią funkcję informacyjną. Przyjmując czytelny kod wizualny oznaczeń, wyjaśniają one zakres działań zwiększających sprawność energetyczną budynku oraz prezentują, przyjęte pod tym kątem, rozwiązania funkcjonalne, formalne i techniczne. Stanowią one graficzną wypowiedź projektanta, który w czytelny sposób stara się przybliżyć koncepcję gospodarowania energią w budynku i tym sposobem uzasadnia podjęte decyzje projektowe. Schematy mogą być podstawą do dyskusji podczas prac w zespole interdyscyplinarnym, stając się przez to płaszczyzną porozumienia wszystkich uczestników procesu projektowego [2]. Mogą mieć również znaczenie podczas rozmów z inwestorem. Dzięki klarowności graficznego przekazu treści energetycznych w schematach, zaproponowana koncepcja budynku może być bardziej przekonująca.

### 5. PODSUMOWANIE

W budownictwie energooszczędnym i niskoenergetycznym zagadnienia energetyczne odgrywają pierwszoplanową rolę w procesie projektowym. Na polskim rynku ich znaczenie również powoli wzrasta w budownictwie powszechnym za sprawą konieczności sporządzania świadectw energetycznych dla wszystkich nowo oddanych do użytku obiektów. W swojej pracy projektanci jednak zwykle ograniczają się do działań zmierzających do minimalizacji strat ciepła w budynku, pomijając jakże istotną rolę pasywnego pozyskania energii słonecznej dla pokrycia zapotrzebowania na ener-

gię cieplną. Tłumaczy to znikomą obecność w naszej rzeczywistości schematów energetycznych w praktyce projektowej jako narzędzia optymalizacji rozwiązań architektonicznych, ponieważ są one zwykle utożsamiane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii w architekturze. Aby połączyć obie strategie (minimalizację strat ciepłych i maksymalizację zysków słonecznych) i zachować między nimi właściwą relację należy rozpatrywać projekt budynku, wykonanie i jego późniejszą eksploatację w kategoriach takich rozstrzygnięć, które będą przydatne właściwej gospodarce energetycznej. W takim przypadku pomocne stają się schematy energetyczne. Budynki są inwestycjami długoterminowymi i muszą uwzględniać przyszłościowe warunki ograniczające zależność od paliw kopalnych jako źródła energii do ogrzania, oświetlenia, chłodzenia na rzecz wykorzystania energii słońca. Z pewnością starają się to realizować projekty poparte schematami energetycznymi, wpisując się w światopogląd zrównoważonego rozwoju współczesnego budownictwa.

#### LITERATURA

- [1] BIEDROŃSKA J., FIGASZEWSKI J., *Graficzna interpretacja metod gospodarowania energią w budynkach bioklimatycznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59, nr 2/2012/II, Rzeszów 2012, 69–78.
- [2] CELADYN W., *Koncepcje energetyczne budynków – metody prezentacji*, Czasopismo Techniczne, Architektura 2-A/2/2011, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011, 15–25.
- [3] CHWIEDUK D., *Energetyka słoneczna budynku*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2011.
- [4] DE GARRIDO L., *Artificial nature architecture*, Instituto Monsa de Ediciones, Barcelona 2011.
- [5] LA ROCHE P., *Carbon-neutral architectural design*, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York 2012.
- [6] *Odnawialne źródła energii w architekturze*, A. Lisik (red.), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.

#### SPATIAL DESIGN AND DEVELOPMENT OF BUILDINGS USING THE ENERGY APPROACH

The energy diagrams reveal a clear link between the development of the spatial design and energy management in buildings. This relationship has an impact on energy efficiency and the microclimate of the given building. The paper presents ways to develop energy diagrams in terms of their applicability in design practice. This approach indicates where the thermal energy can play an important role in shaping the structure of the building, as well as in the selection of approaches, construction methods and materials as well as additive systems, organized according to the energy requirements.

## ROZDZIAŁ VII

# KOSZTY BUDOWY A ZUŻYCIE ENERGII – ENERGIA WBUDOWANA W PIENIĄDZ

Krzysztof CEBRAT\*

Zużywamy energię, żeby ją zaoszczędzić. Paradoks? A jednak – powoli przebija się do świadomości użytkowników i projektantów fakt, że każdy materiał niesie ze sobą określoną energię wbudowaną. Im bardziej przetworzony, im dalej od budowy produkowany, im więcej surowców zużywający – tym większą. Dotyczy to również materiałów termoizolacyjnych oraz urządzeń i technologii pozwalających pozyskiwać energię ze źródeł odnawialnych.

To czego w owym bilansie jeszcze brakuje, z czego mało kto zdaje sobie sprawę, to fakt, że pieniądź – to również energia. Jest to częściowo wyrażone we wskaźnikach zrównoważonego rozwoju opracowanych przez GUS (wskaźnik energochłonności produktu krajowego).

Jakie są więc rzeczywiste związki pomiędzy kosztami budowy a zużyciem energii w budynku?

Czy w związku z tym do zwiększenia energooszczędności i odnawialnych źródeł energii należy dążyć „za wszelką cenę”?

Na to pytanie autor stara się odpowiedzieć w niniejszym referacie, przedstawiając autorski wskaźnik energii wbudowanej w pieniądź, mając nadzieję, że postawione tezy pozwolą spojrzeć z innej perspektywy na aspekty zrównoważenia również w codziennym życiu.

Słowa kluczowe: *energia wbudowana, architektura energooszczędna, wskaźniki zrównoważenia*

### 1. DLACZEGO ARCHITEKTURA ENERGOOSZCZĘDNA MUSI BYĆ TANIA?

Architektura energooszczędna, aspirując do miana architektury zrównoważonej (bądź ekologicznej – te sformułowania będą używane zamiennie) musi być tania z dwóch powodów.

Pierwszy wydaje się oczywisty: żeby poprawa jakości środowiska była zauważalna, musi nastąpić ograniczenie wpływu nań działalności człowieka na dużą skalę.

Ażeby ograniczyć negatywny wpływ działalności człowieka na stan środowiska na dużą skalę, rozwiązania technologiczne, które temu służą, muszą być powszechnie

---

\* Wydział Architektury, Zakład Kształtowania Środowiska, Politechnika Wrocławska, ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław, krzysztof.cebrat@pwr.wroc.pl



dostępne i stosowane, co jest niemożliwe, jeżeli będą one poza ekonomicznym zasięgiem zbyt wielu ludzi.

Ponieważ zaś sektor budowlany (budowa, eksploatacja i utrzymanie budynków oraz ich rozbiórka) odpowiada według różnych szacunków za zużycie w skali globalnej około 50% surowców, 40% energii<sup>1</sup> i 16% wody [8]. Wydaje się więc słusznym uznanie tej sfery działalności człowieka za istotną z punktu widzenia wpływu na środowisko naturalne, i że poprawa jakości w niej dokonana również w sposób istotny wpłynie na jakość środowiska.

Architektura tania na ogół rozumiana jest jako ta, której budowa mało kosztuje inwestora. Rzadziej, choć coraz częściej – również oszczędna w użytkowaniu. Najrzadziej – jako architektura, której niskie koszty budowy i eksploatacji dotyczą nie tylko kieszeni inwestora czy użytkownika, ale również i otoczenia – środowiska. Wówczas do całkowitych kosztów wliczyć trzeba również, między innymi, wpływ produkcji i transportu materiałów, czy też uwzględnić, co z owymi materiałami się stanie, gdy budynek trzeba będzie rozebrać.

Dla dalszych rozważań niezwykle istotne jest, aby koszty, choćby te najszerszej rozumiane, zacząć postrzegać poprzez pryzmat ich historii. Należy dostrzec, że pieniądź ma zarówno swoje pochodzenie, jak i potencjał do wykorzystania w przyszłości. W ten sposób zrozumiałby się drugi powód, dla którego architektura energooszczędna musi być tania, mianowicie: relacja wartości ekonomicznej inwestycji do wielkości zużycia energii. Innymi słowy: energia wbudowana w pieniądź.

#### 1.1. WSKAŹNIKI ENERGOCHŁONNOŚCI GOSPODARKI I ENERGII WBUDOWANEJ W PIENIĄDZ

Wiele narodowych instytucji zajmujących się statystyką, w tym również Główny Urząd Statystyczny (GUS), w publikowanych danych zawiera wskaźnik obrazujący energochłonność gospodarki: [...] *Energochłonność gospodarki jest relacją krajowego zużycia brutto energii do wartości produktu krajowego brutto (w cenach stałych z 2000 r., przeliczonej na euro według kursu wymiany z 2000 r.). Wskaźnik określa ilość energii zużytej do wytworzenia jednostki produktu krajowego brutto [PKB] (wyrażonej w kilogramach ekwiwalentu ropy naftowej na 1000 euro).*

*Krajowe zużycie brutto energii obejmuje zużycie węgla, energii elektrycznej, ropy naftowej, gazu ziemnego i energii ze źródeł odnawialnych. [...] Według GUS wskaźnik ten [...] służy do oceny skuteczności zrównoważonej polityki energetycznej prowadzonej z uwzględnieniem poszanowania energii i zagadnień ochrony środowiska. Zmniejszenie energochłonności gospodarki oznacza, że mniej energii potrzeba do*

---

<sup>1</sup> Według IEA (*International Energy Agency*), w Polsce zużycie energii w budynkach to 40,59% całkowitego zużycia energii w kraju – więcej niż w przemyśle lub transporcie. [http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY\\_CODE=PL](http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=PL), Dostęp 15.10.2012.

wyprodukowania tej samej wielkości PKB i wiąże się ze wzrostem efektywności energetycznej [2, s. 81].

Dla Polski wskaźnik energochłonności gospodarki wyniósł w 2009 roku 363,72 kgoe/1000 euro 00, przy średniej wartości dla UE, w tym samym czasie, wynoszącej 165,20 kgoe/1000 euro 00 [2].

Wartości te podawane są w cenach stałych z 2000 r., przeliczonych na euro według kursu wymiany z 2000 roku, zaś sam wskaźnik energochłonności gospodarki określa ilość energii wyrażonej w kilogramach ekwiwalentu ropy naftowej na 1000 euro, zużytej do wytworzenia jednostki PKB.

W cenach bieżących (a więc trudnych do porównania, jeżeli chodzi o zmiany w czasie) wg danych z 2011 roku (PKB = 39 665 zł/osobę [10] i zużycie energii pierwotnej 114 GJ/osobę [1]) wytworzenie jednej złotówki PKB pochłonęło **0,79 kWh** energii pierwotnej.

Uprawnione zatem wydaje się twierdzenie, że w 2011 roku, wskaźnik energii wbudowanej w pieniądź (dalej oznaczany jako  $E_{wp}$ ) wyniósł w Polsce 0,79 kWh/zł.  $E_{wp}$  rozumiany jako ilość energii pierwotnej koniecznej do wytworzenia jednostki produktu krajowego brutto w cenach bieżących, wyrażonych w walucie krajowej, jest wskaźnikiem autorskim, zastosowanym po raz pierwszy na potrzeby tej pracy i dalszych badań i posiada duży potencjał badawczy. W dalszej części pracy zostanie wyjaśnione, dlaczego ten wskaźnik uważa się za ważny i jakie są ograniczenia w jego stosowaniu.

## 1.2. UWAGI WSTĘPNE DO WSKAŹNIKA ENERGII WBUDOWANEJ W PIENIĄDZ

Zacząć należy od dwóch spostrzeżeń istotnych w dalszych rozważaniach. Pierwsze dotyczy faktu, iż wskaźnika energii wbudowanej w pieniądź [ $E_{wp}$ ] nie da się w łatwy sposób porównać rok do roku, ani też pomiędzy poszczególnymi regionami/krajami. Jego wartość jest zmienna i zależna od wielu wartości również zmiennych w czasie, np. wielkości produktu krajowego brutto przypadającego na jednego mieszkańca, efektywności energetycznej gospodarki i wartości inflacji. Wartość  $E_{wp}$  jest także zależna od innych czynników, takich jak struktura stosowanych źródeł energii (węgiel, energia atomowa itp.) czy klimatu i powierzchni danego państwa/regionu, które wpływają na całkowite zużycie energii w gospodarce.

W przeciwieństwie jednak do innych wskaźników,  $E_{wp}$  ma za zadanie zobrazowanie ilości energii włożonej w daną chwilę w daną inwestycję (na przykład budynek).

Druga uwaga dotyczy relacji wskaźnika  $E_{wp}$  do wartości wyjściowej energii wbudowanej w budynek  $E_{ww}$ , rozumianej jako suma energii potrzebnej do pozyskania surowca, transportu do zakładu i na budowę, obróbki i montażu [5]. Otóż te dwie wartości (całkowita ilość wyjściowej energii wbudowanej w materiały, z których budynek powstał oraz ilość energii wbudowanej w wartość ekonomiczną (kosztorysową) budynku) nie sumują się – jedna (wyjściowa energia wbudowana) zawiera się w drugiej (energia wbudowana w pieniądź).

Żeby to wyjaśnić skonstruowany został uproszczony schemat funkcjonowania rynku (tabela nr 1) z pokazaniem wyłącznie zużycia zasobów, energii i pochodzenia kosztów.

Tabela 1. Uproszczony schemat funkcjonowania rynku, oprac. własne

wartość sprzedaży: poddostawca 1/ pośredni usługodawca	wartość sprzedaży: dostawca/ bezpośredni usługodawca	koszty ponoszone: inwestor
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">energia (E1)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">surowce (S1)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">praca/inne (I1)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">dochód (D1)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;">E1+S1+I1+D1=KP1</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><math>\Sigma KP=KP1+KP2+\dots+KPn</math></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">energia (E3)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">surowce (S3)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">praca/inne (I3)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">dochód (D3)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;">KD=<math>\Sigma KP+E3+S3+I3+D3</math></div>	wyjściowa energia wbudowana Eww=E1+E2+E3  koszty Ki=KD
wartość sprzedaży poddostawca 2 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">energia (E2)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">surowce (S2)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">praca/inne (I2)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">dochód (D2)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;">E2+S2+I2+D2=KP2</div>		

Schemat pokazuje tylko wycinek „rynku”: bowiem każdy inwestor jest też dostawcą (usługodawcą bezpośrednim dla kogoś), każdy dostawca (usługodawca) – in-

westorem. Na potrzeby artykułu „wyjęty” został fragment przedstawiający liniowy proces inwestycji. Ostateczny efekt w postaci budynku, składa się z elementów, z których każdy wnosi pewną wartość ekonomiczną, za którą stoi konkretne zużycie zasobów, energii oraz inne koszty poniesione przez poddostawców i dostawców (kolor niebieski), jak również ich dochód.

## 2. PKB, ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ, TEORIA PIENIĄDZA

Należy w tym miejscu wyjaśnić, co rozumie się pod pojęciem PKB, czym dzisiaj jest pieniądź, i dlaczego jest to tak istotne z punktu widzenia energooszczędności. Uzasadni to wagę przywiązywaną do wskaźnika  $E_{wp}$ .

Produkt Krajowy Brutto (PKB) można rozpatrywać trojako [9]: od strony produkcyjnej (jako suma wartości dodanych wytwarzanych przez wszystkie podmioty gospodarcze w kraju), od strony popytowej (jako suma wydatków: na konsumpcję, inwestycje prywatne, rządowych – oprócz tzw. płatności transferowych, bilansu importu i eksportu), lub od strony dochodowej (jako suma dochodu ze wszystkich źródeł: z pracy i kapitału).

Pierwszy i trzeci sposób są zbliżone i w tabeli nr 1 odpowiadałyby sumie  $D1 + D2 + D3$ . Sposób drugi wskazywałby na sumę wydatków (kosztów) poniesionych przez inwestora (KD) oraz wydatków (kosztów) ponoszonych przez poddostawców i dostawców.

Ze względu na dostępność danych statystycznych, stosunkowo najłatwiej oszacować PKB jako sumę wszystkich wydatków, jednak każda z metod powinna dawać zbliżone wyniki.

Stanowiąca element kosztów energia ( $E1 + E2 + E3$ ) umożliwia wytworzenie dochodu poddostawcom i dostawcom i to właśnie stosunek zużytej energii do wytworzonego dochodu „opomiarowany” jest wskaźnikiem energochłonności gospodarki obliczanym przez GUS.

Znając wskaźnik energochłonności gospodarki można obliczyć  $E_{wp}$ , a znając wartość  $E_{wp}$  w momencie powstania inwestycji oraz znając jej koszty, można oszacować energię potrzebną do jej zrealizowania, bez konieczności poznawania szczegółów cyklu życia poszczególnych materiałów i komponentów.

W analogiczny sposób można również oszacować zużycie materiałów (wskaźnik wydajności zasobów) czy wody (wskaźnik wodochłonności gospodarki). Związki pomiędzy wartością ekonomiczną i zużyciem zasobów są również opisywane w teoriach dotyczących pieniądza, których choć jest bardzo wiele, to wspólne dla nich jest założenie, że pieniądź jest zamiennikiem wartości (towaru, usługi). Jedną z akceptowanych teorii – austriacka teoria pieniądza [5] zakłada, że pieniądź pojawił się, gdy ludzie zauważyli, że wymiana barterowa jest zbyt kosztowna, generuje wysokie koszty transakcyjne – w związku z czym wynaleźli zamiennik, który jest trwały, stabilny jeżeli chodzi o wartość, łatwo się dzieli i oczywiście – łatwo wymienia.

A to znaczy, że pieniądź jako zamiennik wartości materialnej, jest tym samym zamiennikiem zasoby środowiska. Im więcej go wydajemy, tym bardziej uszczuplamy zasoby środowiska.

## 2.1. ZALETY I OGRANICZENIA WSKAŹNIKA ENERGII WBUDOWANEJ W PIENIĄDZ

Wskaźnik energii wbudowanej w pieniądź [ $E_{wp}$ ] powinien dać nam lepsze przybliżenie zużycia energii, niż wyjściowa energia wbudowana w materiały [ $E_{ww}$ ], określana na podstawie dostępnych baz danych. Jest to możliwe, ponieważ  $E_{wp}$  uwzględnia wydatek energii konieczny do funkcjonowania jednostek wytwarzających dochód, a nie tylko związany bezpośrednio z wytworzeniem, transportem i montażem elementu [7].

Jeżeli to prawda,  $E_{wp}$  powinna być wyższa niż  $E_{ww}$ . Porównania takiego trudno jednak dokonać z dwóch powodów.

Pierwszym jest fakt, iż niewiele krajów dysponuje danymi na temat energii wbudowanej w materiały (w ilości danych przodują Wielka Brytania, Australia, Kanada oraz Niemcy).

Problem drugi wynika z faktu, iż zwykle w opracowaniach zbiorczych energia wbudowana jest podawana już jako suma  $E_{ww}$  i energii wbudowanej rekurencyjnej (czyli tej, która wynika z konieczności utrzymania materiałów i komponentów we właściwym stanie w trakcie 50 lat użytkowania budynku) [5].

Osiągalne dane [3, 4, 7], wskazywały, że całkowita energia wbudowana w budynek zwykle osiąga wartość około 5300 MJ/m<sup>2</sup>, czyli około 1500 kWh/m<sup>2</sup>. Z danych statystycznych dla Wielkiej Brytanii z 2012 roku [11], (PKB/osobę = 38 589 \$<sup>2</sup>, zużycie energii na poziomie 37 630 kWh/osobę) wynika iż wytworzenie jednego dolara PKB pochłonęło 0,97 kWh.

Z porównania ze średnią ceną mieszkań 4712 \$/m<sup>2</sup>, wynika znaczna choć przewidywana różnica w wartości  $E_{wp} = 4570 \text{ kWh/m}^2 > E_{ww} = 1500 \text{ kWh/m}^2$ .

Przyjmując standardy europejskie w zakresie energii wbudowanej, w Polsce (w 2011 roku) ta relacja wyglądałaby następująco<sup>3</sup>:  $E_{wp} = 2999 \text{ kWh/m}^2 > E_{ww} = 1500 \text{ kWh/m}^2$ .

Badania nad relacją  $E_{wp}$  do  $E_{ww}$  należy prowadzić dalej w miarę dostępności danych statystycznych. Mogą one bowiem stanowić podstawę ciekawych rozważań dotyczących np. zależności zasobności, konsumpcji i zużycia energii (a także innych zasobów środowiska).

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na charakterystyczną cechę  $E_{wp}$ . Otóż ponieważ jest on oparty o wskaźnik PKB, można stwierdzić, że w skład wartości  $E_{wp}$  wchodzi zarówno koszty poniesione, jak i koszty potencjalne – wydatki (energetycz-

---

<sup>2</sup> Światowe dane ekonomiczne zwykle podawane są w dolarach amerykańskich. Aby uniknąć błędu wynikającego z różnicy kursów, w tym porównaniu nie dokonano przeliczenia na walutę krajową.

<sup>3</sup> Za: GUS – Średnia cena 1m<sup>2</sup> mieszkania w 2011 roku wyniosła 3797 zł.

ne) jakie poddostawcy i dostawcy wskazani w tabeli 1 dopiero poniosą, korzystając z osiągniętego przez nich dochodu. Dlatego  $E_{wp}$  można uznać za wskaźnik w bardziej pełny sposób oddający wpływ inwestycji na zużycie energii.

Z drugiej jednak strony należy zauważyć, że  $E_{ww}$ , zastrzegając wszelkie ograniczenia stosowania [4, 7] jest lepszym narzędziem, jeżeli chodzi o podejmowanie decyzji projektowych przez architekta. Mając bowiem do dyspozycji bazę danych dotyczących energii wbudowanych w różne materiały budowlane, projektant może podejmować na bieżąco decyzje o ich zastosowaniu, porównując szerszy zakres ich właściwości.

$E_{wp}$  jest dzięki swojej ogólności wskaźnikiem, który z kolei uzupełnia szacowanie wpływu inwestycji na środowisko o aspekty do tej pory nie brane pod uwagę.

Jego wspomniana „potencjalność” może być brana niesłusznie za wadę (argumentem przeciw może być brak pewności, co poszczególne jednostki zrobią ze swoim dochodem). Jest to jednak do wyjaśnienia za pomocą wniosków płynących z analiz teorii pochodzenia pieniądza (sam fakt istnienia pieniądza świadczy o zużyciu zasobu środowiska).

Nie do przecenienia jest też fakt, że na podstawie danych stosunkowo łatwo dostępnych, w prosty sposób można oszacować zużycie energii podczas (na przykład) inwestycji budowlanej. Pokazują to przytoczone dalej przykłady.

Jednak za najważniejszą zaletę  $E_{wp}$  uznać należy fakt powiązania w jedno, wartości ekonomicznej inwestycji z jej wpływem na środowisko. Nie są znane systemy certyfikacji budynków, które uwzględniałyby ten aspekt, tymczasem z konstrukcji wskaźnika wynika jasno, że im mniej pieniędzy wydamy na budowę, tym lepiej dla środowiska.

### 3. ENERGIA KONTRA ENERGIA

Zadziwić może fakt, że mimo powszechnej dostępności danych, i wieloletniego funkcjonowania teorii pieniądza, kwestie związku pomiędzy wartością ekonomiczną a zużyciem zasobów środowiska nie przebiły się do tej pory do świadomości większego grona osób. Trudno podejrzewać, że z rozmysłem były podejmowane działania, które miały temu zapobiec, tym bardziej, że jak wskazują trzy przytoczone poniżej obliczenia, wyniki nie zawsze prowadzą do jednoznacznych wniosków, a jak opisano wcześniej, bardzo zależą od chwilowych i miejscowych uwarunkowań.

Dlaczego więc w praktyce nie uwzględnia się tych – jakże ważnych – kosztów ponoszonych przez środowisko, rozważając ekonomikę i zrównoważenie jakichkolwiek inwestycji? Pytanie pozostaje otwarte.

Proponowany wskaźnik  $E_{wp}$  upraszcza rozważania na temat opłacalności zastosowania takich, czy innych rozwiązań proekologicznych. Z jednym zastrzeżeniem: że nie określa opłacalności ekonomicznej a bardziej – przybliża do oszacowania efektu

ekologicznego. Jako taki,  $E_{wp}$  nie powinien być więc uważany za jedyną podstawę podejmowania decyzji inwestycyjnych, ale jako znaczące uzupełnienie zestawu czynników, które na owe decyzje wpływają – tym bardziej, że jak pokazano dalej – zwykle ów wskaźnik stoi w opozycji do opłacalności ekonomicznej.

Za pierwszy przykład obrano porównanie zastosowania w polskich warunkach klimatycznych i ekonomicznych różnych systemów wytwarzania energii elektrycznej.

Według raportu wykonanego przez Ernst & Young we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Energetyki Wiatrowej i European Wind Energy Association [6] szacunkowe jednostkowe koszty wytworzenia energii elektrycznej wynoszą dla różnych źródeł (nowobudowanych), w kolejności od najniższych do najwyższych:

- elektrownie konwencjonalne (węgiel kamienny): 282 zł/MWh,
- elektrownia na gaz: 314 zł/MWh,
- elektrownia wiatrowa: 466 zł/MWh,
- elektrownia wodna: 470 zł/MWh,
- biomasa: 487 zł/MWh,
- fotowoltaika: 1091 zł/MWh.

Odnosząc do powyższych danych koszt „energetyczny” jednej złotówki obliczony w rozdziale 1.2., stwierdzić można, że w 2011 roku, wytworzenie jednej MWh energii w elektrowni węglowej pochłonęłoby 223 kWh (czyli 22,3%) energii, a wytworzenie jednej MWh energii w elektrowni fotowoltaicznej – 862 kWh (czyli ponad 86%) energii – będąc bardzo blisko progu opłacalności.

Za drugi przykład posłużą kolektory słoneczne i ich zastosowanie w domach jednorodzinnych. Zakładając sprawną (50%) instalację i kolektory płaskie o powierzchni absorbera 4,6 m<sup>2</sup>, możliwy uzysk energii słonecznej na potrzeby ciepłej wody użytkowej wyniósłby w skali roku około 2 300 kWh. Koszt zestawu to obecnie około 10 000 zł, a w przeliczeniu za pomocą  $E_{wp}$  na energię: 7 900 kWh – co oznacza, że już po niecałych 4 latach bilans energetyczny instalacji będzie dodatni (czego w tym przypadku nie można powiedzieć o bilansie ekonomicznym).

Dzięki zastosowaniu  $E_{wp}$  można przybliżyć się do odpowiedzi na pytanie o opłacalność inwestowania w izolację cieplną budynku.

Wymagania stawiane domom jednorodzinny, które ubiegają się o dopłatę z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, określają maksymalną wartość dla współczynnika  $U$  przenikania ciepła dla ścian dla domów w strefie klimatycznej I-III, w standardzie NF40, na poziomie 0,15 W/m<sup>2</sup>K, a dla domów w standardzie NF15 – 0,10 W/m<sup>2</sup>K.

W pierwszym przypadku, zakładając normatywne opory przejmowania ciepła oraz opór cieplny warstw nośnych o wartości 0,20 m<sup>2</sup>K/W, oznacza to konieczność izolowania ściany na przykład styropianem grubości 25 cm przy przewodności cieplnej tego materiału na poziomie 0,040 W/mK. Zmiana standardu z NF40 na NF 15 wiązałaby się w tym przypadku ze wzrostem grubości izolacji o 12 cm. Przy obec-

nych cenach styropianu o wyżej wymienionych właściwościach, będzie to dodatkowy wydatek rzędu  $20 \text{ zł/m}^2$  – czyli  $15,8 \text{ kWh/m}^2$ . Tymczasem roczna oszczędność energetyczna na  $1 \text{ m}^2$  (względem rozwiązania w standardzie NF 40) wyniesie około  $4,33 \text{ kWh/m}^2$ . Prosty czas zwrotu wyniesie więc około 3,5 roku<sup>4</sup>.

Powyższe porównania pokazują z jednej strony na ogół wątpliwe – pod względem opłacalności ekonomicznej – inwestycje, z drugiej zaś, efekt ekologiczny nie budzący wątpliwości. Co więcej, znając wartość wskaźnika  $E_{wp}$  można również oszacować, ile może inwestycja kosztować, by nadal, z punktu widzenia środowiska była opłacalna.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wskaźnik PKB doczekał się już niejednej krytyki, jako miara nie oddająca w pełni obrazu dobrobytu społeczeństwa poszczególnych krajów (do czego został stworzony): nie uwzględnia wartości wytworzonych w szarej strefie oraz przez wolontariuszy, nie pokazuje rozkładu dochodu, wpływu produkcji np. na środowisko itp.. Krytyka ta, jak się wydaje, ze wszech miar słuszna, nie ma jednak wpływu na jego przydatność do szacowania wpływu, jaki każde inwestowanie i każda konsumpcja ma na zużycie zasobów naturalnych. Na potrzeby niniejszego opracowania – wykazania ścisłego związku wartości ekonomicznej i wielkości zużytej energii jest on bardzo pomocny.

Proponowanego wskaźnika  $E_{wp}$ : energii wbudowanej w pieniądź, należy jednak używać ostrożnie. Jest bowiem jedną z wielu możliwych miar, za pomocą których można określić stopień zrównoważenia, czy to budynku, czy jakiegokolwiek innej inwestycji. I, podobnie jak energia wbudowana w materiały, nie może być jedynym wyznacznikiem „ekologiczności”. Z samej definicji zrównoważenia wynika bowiem, że, poza ładem środowiskowym i ekonomicznym (które w tym wskaźniku znajdują powiązanie), elementem który trzeba brać pod uwagę, jest aspekt społeczny.

Proponowane holistyczne podejście do „kosztów” architektury za pomocą wskaźnika  $E_{wp}$  przybliży nas do odpowiedzi jak powinna wyglądać „tania architektura” – lecz tej odpowiedzi nie da, dopóki nie uwzględnimy zasadniczego składnika tej sumy: faktycznych potrzeb użytkownika.

---

<sup>4</sup> Obliczono na podstawie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej, a także za pomocą programu Arcadia Termo 4.3.



## LITERATURA

- [1] Główny Urząd Statystyczny. *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2010–2011*, Warszawa 2012.
- [2] Główny Urząd Statystyczny. *Wskaźniki zrównoważenia*, Katowice 2011.
- [3] HAMMOND G.P., JONES C.I. *Embodied energy and carbon in construction materials*, [w:] Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy, 161 (2), 2008.
- [4] HEGGER M., FUCHS M., STARK T., ZEUMER M., *Energy manual. Sustainable architecture*, Birkhauser Verlag AG. Basel, Boston, Berlin 2008.
- [5] ROTHBARD M.N., *The Austrian Theory of Money*, <http://www.mises.org/rothbard/money.pdf>, Dostęp 10.07.2013.
- [6] *Wpływ energetyki wiatrowej na wzrost gospodarczy w Polsce*, Raport przygotowany przez Ernst & Young we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Energetyki Wiatrowej oraz European Wind Energy Association Marzec 2012; <http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/pl/publikacje/raporty>, Dostęp 15.07.2013.
- [7] [http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives\\_sustainability/measures\\_of\\_sustainability/measures\\_of\\_sustainability\\_embodied.htm](http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measures_of_sustainability/measures_of_sustainability_embodied.htm), Dostęp 18.07.2013.
- [8] [http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY\\_CODE=PL](http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=PL), Dostęp 15.10.2012.
- [9] <http://www.nbportal.pl/pl/np/animacje>, Dostęp 02.07.2013.
- [10] [http://www.stat.gov.pl/gus/wskazniki\\_makroekon\\_PLK\\_HTML.htm](http://www.stat.gov.pl/gus/wskazniki_makroekon_PLK_HTML.htm), Dostęp 18.07.2013.
- [11] [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/65898/5942-uk-energy-in-brief-2012.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65898/5942-uk-energy-in-brief-2012.pdf), Dostęp 18.07.2013.

CONSTRUCTION COSTS AND ENERGY USE  
– ENERGY EMBODIED IN ECONOMIC VALUE

We use energy to preserve it. A paradox? And yet – the awareness slowly raises that any material carries a specific embodied energy. The more processed, the farther from the building produced, the more resources consuming – the more energy is being built up. This also applies to insulating materials, equipment and technologies to obtain energy from renewable sources.

What we still miss in this balance, of which few people realize, is that the money is also energy. This is partly expressed by sustainable development indicators developed by the Central Statistical Office (ratio of energy consumption domestic product).

So: what are the real relationships between construction costs and energy consumption in the building? Are we to increase energy efficiency and use RES “at all costs”? The paper tries to answer this question, presenting the author's own indicator of energy built into economic value, hoping his thesis will enable a another look at aspects of sustainability in everyday life.

## ROZDZIAŁ VIII

# WYBRANE PROBLEMY WPROWADZANIA PASYWNYCH ROZWIĄZAŃ ENERGOOSZCZĘDNYCH W MIEJSKICH BUDYNKACH WIELORODZINNYCH

Janusz MARCHWIŃSKI\*

W referacie omówiono wybrane problemy związane z wprowadzaniem pasywnych rozwiązań energooszczędnych w miejskich budynkach wielorodzinnych. Zaliczono do nich rozwiązania przestrzenne i materiałowe, które w założeniu wpływają korzystnie na gospodarkę termiczną budynku i w rezultacie przyczyniają się do redukcji zużycia energii operacyjnej. Przyjrano się rozwiązaniom, których rola polega na zachowaniu energii cieplnej w budynku oraz rozwiązaniom ukierunkowanym w stronę optymalnego wykorzystania energii słonecznej przez pasywne ogrzewanie i chłodzenie przestrzeni wewnętrznej.

Potencjalne rozwiązania energooszczędne skonfrontowano z wymogami narzuconymi przez miejski kontekst urbanistyczny oraz z architektonicznymi założeniami, cechującymi projektowanie budynków wielorodzinnych, m.in. w zakresie funkcjonalno-użytkowym i estetycznym.

Spostrzeżenia są wynikiem uczestnictwa autora w interdyscyplinarnych badaniach nad budynkiem wielorodzinnym z usługami, zlokalizowanym na terenach zurbanizowanych w Warszawie. Badania, mające na celu wypracowanie standardów proekologicznych w ramach projektu badawczo-rozwojowego „Miejski Budynek Jutra 2030”, wydołyby ograniczenia, które towarzyszą w tym zakresie projektowaniu architektonicznemu budynków wielorodzinnych w mieście.

Słowa kluczowe: *budownictwo energooszczędne, architektura energooszczędna, rozwiązania pasywne, budynki wielorodzinne*

### 1. PASYWNE ROZWIĄZANIA ENERGOOSZCZĘDNE

Termin „pasywne rozwiązania energooszczędne” jest nazwą potoczną, określającą rozwiązania bazujące na wykorzystaniu naturalnych zjawisk i procesów fizycznych, które ukierunkowane są w stronę zmniejszenia zużycia energii użytkowej. Rozpoznanie problemów związanych z ich wprowadzaniem jest istotne dla prawidłowego zdefiniowania kierunków rozwoju budownictwa mieszkaniowego w Polsce.

---

\* Wydział Architektury, Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie.

Do zasadniczych działań zmniejszających energochłonność budynku należą:

- ochrona cieplna budynku: wpływa bezpośrednio na zmniejszenie potrzeb grzewczych w wyniku wyziębienia się przestrzeni wewnętrznej; w klimatach ciepłych rośnie ponadto jej znaczenie jako elementu ochrony przed nadmierną temperaturą powietrza zewnętrznego;
- ochrona przeciwsłoneczna budynku: zapobiega efektowi przegrzewania pomieszczeń wskutek nadmiernego oddziaływania promieniowania słonecznego i w konsekwencji odciąża pracę mechanicznych urządzeń lub systemów chłodzących.

Wyróżnić można dwie zasadnicze grupy pasywnych rozwiązań energooszczędnych, które mogą przyczynić się do ochrony termicznej i przeciwsłonecznej budynku. Są to rozwiązania przestrzenne oraz rozwiązania materiałowo-budowlane.

### 1.1. ROZWIĄZANIA PRZESTRZENNE

Do rozwiązań przestrzennych należy zaliczyć: usytuowanie i formę budynku, ukształtowanie obudowy zewnętrznej budynku i układ przestrzeni wewnętrznych.

Istotną cechą usytuowania budynku jest jego orientacja słoneczna. W naszych warunkach geograficznych, maksymalne zyski słoneczne zapewnia orientacja południowa z dopuszczalnym odchyleniem od tego kierunku, równym  $15^\circ$ . W aspekcie ochrony cieplnej oznacza to najmniejsze potencjalne straty ciepła w okresie grzewczym. Na przeciwnym biegunie plasują się elewacje północne, które, spośród wszystkich przegród pionowych, uznaje się za największe potencjalne źródło strat ciepła. Nasłonecznione elewacje południowe, mimo iż są pozornie niekorzystne w sensie ochrony przeciw przegrzewaniu pomieszczeń, z uwagi na wysoko padające promienie słoneczne, stwarzają mniejsze ryzyko przegrzewania pomieszczeń, niż elewacje wschodnie i zachodnie. Szczególne zagrożenie stwarza orientacja zachodnia. Ukształtowanie budynku ściśle wiąże się z charakterystyką przenikania ciepła na zewnątrz jak i energii słonecznej do wnętrza. Uznaje się, że zwarte formy (o tzw. niskim współczynniku  $A/V$ ) zapewniają lepszą ochronę przed utratą ciepła niż formy rozczłonkowane. Analogicznie, formy te są korzystniejsze z punktu widzenia ochrony przeciwsłonecznej, niemniej umożliwiają mniejsze pasywne zyski energetyczne ze słońca [3].

W aspekcie ochrony przed przegrzewaniem, istotnym elementem kształtowania przestrzennego jest nachylenie przegród zewnętrznych. Przegrody, tworzące kąt prosty z kierunkiem napływu promieni słonecznych są poddawane najsilniejszemu ich oddziaływaniu. A zatem, w celu ochrony przeciwsłonecznej, przegrody należy nachylać tak, by w okresie letnim, kąt ten był jak najbardziej odchylony od kąta prostego.

Rolę zacieniającą pełnić mogą poziome elementy architektoniczne, takie jak balkony, loggie, daszki, wysunięte gzymsy czy okapy, oraz inne występy i uskoki architektoniczne, tworzące tzw. profil elewacji.

Do przestrzennych rozwiązań energooszczędnych należy zaliczyć metodę strefowania termicznego. W budynkach mieszkalnych strefę lepiej nasłonecznioną (głównie

południową, a potem zachodnią) i w rezultacie najmniej podatną na odczuwalne stary ciepła, ale i silniej narażoną na przegrzewanie, powinny zajmować strefy dzienne, bądź ogólnie – strefy mieszkalne. Strefy tymczasowego przebywania ludzi lub nie przeznaczone na ich pobyt mogą zajmować miejsce bardziej podatne na straty ciepła, tworząc przestrzeń termobuforową. Przestrzeń taką mogą tworzyć też struktury szklarniowe, np. w postaci oranżerii oraz elewacyjnych ścian dwupowłokowych.

## 1.2. ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWO-BUDOWLANE

Przez rozwiązania materiałowo-budowlane należy rozumieć zastosowanie materiałów i wyrobów budowlanych, przystosowanych do ochrony termicznej i ochrony przed przegrzewaniem pomieszczeń w skutek bezpośredniej insolacji i jej skutków.

Do podstawowych rozwiązań należy stosowanie materiałów, wyrobów i technologii budowlanych redukujących współczynnik  $U$  pełnych przegród zewnętrznych (izolacji pełnych, technologii eliminujących mostki termiczne). Istotnym elementem ochrony termicznej budynku jest technologia szklenia. Do szkieł termoizolacyjnych należą szyby z powłoką niskoemisyjną oraz zestawy dwu- i trzyszybowe wypełnione osuszonym powietrzem lub gazem izolacyjnym (argonem lub kryptonem). Rolę izolatora termicznego mogą pełnić niektóre osłony przegród szklanych, które zapobiegają wychładzaniu się pomieszczeń (m.in. grube zasłony tkaninowe, rolety i folie wewnętrzne), a także osłony zewnętrzne (m.in. okiennice pełne i rolety termoizolacyjne).

Wśród istotnych elementów ochrony cieplnej należy wymienić również ziemię jako materiał budowlany, wykorzystywaną m.in. w postaci tzw. zielonych dachów oraz do formowania nasypów elewacyjnych.

Do elementów ochrony przed przegrzewaniem na skutek oddziaływania energii słonecznej można zaliczyć elementy bezpośredniej ochrony przeciwsłonecznej (zacieniające) oraz elementy umożliwiające niwelację wartości temperaturowych wywołanych ciepłem z nasłonecznienia [2, 7]. Do pierwszej z grup należą elementy materiałowe, tj. głównie szklenie przeciwsłoneczne oraz przestrzenne elementy zacieniające. Do technologii szklenia przeciwsłonecznego należy zaliczyć m.in. szkła refleksyjne, barwione w masie, drukowane, rozpraszające oraz selektywne, należące również do grupy szklenia termoizolacyjnego, a także najbardziej zaawansowane technologicznie, szkła typu „smart” – o zmiennych parametrach optycznych. Kolejną grupę stanowią zewnętrzne, przestrzenne elementy zacieniające, do których należy zaliczyć m.in. żaluzje, rolety, markizy i markizolety, różnorodne formy półek przeciwsłonecznych oraz okiennice. Pośrednio są to również wszystkie elementy o niskiej refleksyjności, które redukują ilość promieniowania słonecznego padającego na przegrody zewnętrzne. Do grupy materiałów służących niwelacji wartości temperaturowych, czyli materiałów pasywnego chłodzenia należą materiały predysponowane do roli masy termicznej (masywne przegrody, ziemia, woda, kamień) oraz zieleń elewacyjna i dachowa, przy czym zieleń zacieniająca należy do obydwu grup jednocześnie.

## 2. PREZENTACJA BUDYNKU

Siedmiokondygnacyjny budynek mieszkalny wielorodzinny z usługami w zabudowie miejskiej przy ul. Krasieńskiego i Burakowskiej w Warszawie (arch. Galicki Sypniewski Architekci, proj. 2010-2012). Budynek z dachem płaskim, na planie zbliżonym do litery „U”. Obiekt mieści 70 lokali mieszkalnych i 6 lokali usługowych.



Rys. 1. Budynek mieszkalny: a) plan sytuacyjny, b) wizualizacja – widok od strony pd., c) wizualizacja – widok od strony pn., d) rzut typowej kondygnacji mieszkalnej [8]

Budynek demonstracyjny realizowany przez firmę deweloperską, objęty badaniami dotyczącymi możliwości implementacji rozwiązań proekologicznych w miejskim budownictwie mieszkaniowym w ramach programu „Miejski Budynek Jutra 2030” (2010–2014). Autor jest członkiem zespołu badawczego, zajmującym się zagadnieniami natury architektoniczno-energetycznej.

## 3. ROZWIĄZANIA ENERGOOSZCZĘDNE WOBEC KONCEPCJI ARCHITEKTONICZNEJ BUDYNKU

Do badań nad możliwościami wprowadzenia rozwiązań proekologicznych, a w węższym rozumieniu rozwiązań energooszczędnych przystąpiono w momencie, gdy projekt budynku był na etapie zaawansowanej koncepcji, a lokalizacja została już ściśle określona. Nieregularny kształt działki, wymogi i ograniczenia prawno-pla-

nistyczne, ulice i pobliska zabudowa, przebieg infrastruktury technicznej określiły, optymalny w sensie architektonicznym i użytkowym, plan budynku, jego usytuowanie na działce oraz w konsekwencji ekspozycję ścian elewacyjnych (rys. 1a). Gdy przystąpiono do analizy koncepcji architektonicznej pod kątem energooszczędnych rozwiązań przestrzennych, pojawiły się obszary konfliktowe pomiędzy istniejącą koncepcją a ogólnymi zasadami kształtowania budynków energooszczędnych.

### 3.1. ROZWIĄZANIA ENERGOOSZCZĘDNE A FORMA PRZESTRZENNA BUDYNKU

Obiekt cechuje się dość znacznym rozczłonkowaniem bryły, co nie sprzyja zachowaniu ciepła w budynku. Ideę zwiększenia jej zwartości uznano jednak za nieracjonalną z uwagi na ograniczenie możliwości zapewnienia dostępu światła naturalnego do mieszkań oraz negatywny wpływ na efektywność wykorzystania działki.

Zmniejszony poziom ochrony cieplnej rekompensuje wysoka izolacyjność przegród zewnętrznych, z zastosowaniem m.in. styropianu grafitowego ( $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$ ) gr. 16 cm dla ścian i min. 20 cm dla stropodachu. Wprowadzono stropodach odwrócony pokryty żwirem. W rezultacie osiągnięto wartość współczynnika  $U$  dla przegród zewnętrznych ok. 30% mniejszą od wymaganą przepisami [5].

Za niekorzystny w sensie ochrony cieplnej i możliwości pasywnych zysków słonecznych należy uznać wpływ pięciokondygnacyjnego skrzydła południowego (krótszego) budynku. Jego bryła odcina okresowo dostęp promieni słonecznej do lokali mieszkalnych, które zaprojektowano na niższych kondygnacjach po stronie południowo-wschodniej, w głębi dziedzińca. Wzajemne zacienienie ścian budynku w tej części jest ogólnie niekorzystne dla wszystkich mieszkań zlokalizowanych od strony dziedzińca, zarówno w sensie wykorzystania ciepła jak i światła słonecznego.

W aspekcie energetycznym, eliminację lub redukcję kubatury skrzydła południowego należałoby, zatem uznać za uzasadnioną. Przesłanki te okazują się jednak niewystraszające wobec korzyści, jakie wiążą się z zachowaniem omawianej części budynku. Poza częściowo wymiernymi korzyściami natury kompozycyjno-estetycznej, głównym argumentem stają się przesłanki funkcjonalno-użytkowe i efektywność wykorzystania działki. Każda kondygnacja skrzydła południowego mieści 2 trzypokojowe lokale mieszkalne o łącznej powierzchni ok.  $145 \text{ m}^2$  oraz lokal usługowy w parterze.

Poszukiwania rozwiązania problemu zacienienia dziedzińca ukierunkowano w stronę doboru materiałów elewacyjnych. Zaproponowano jasne, refleksyjne elementy, które pozwoliłyby na doprowadzenie światła odbitego w głąb dziedzińca. Elewacje w dużej mierze pokryto białym tynkiem i zastosowano szklane balustrady balkonów, niemniej całościowa koncepcja estetyczna elewacji wymusiła pozostawienie, niekorzystnych w omawianym sensie, ciemnych płyt włókno-cementowych (rys. 1b).

### 3.2. ROZWIĄZANIA ENERGOOSZCZĘDNE A ORIENTACJA I PRZESZKLENIE ELEWACJI

Dążenie do minimalizacji powierzchni ścian północnych na rzecz elewacji południowych okazało się niewykonalne z uwagi na zorientowanie istniejącej działki. Tym samym budynek cechuje się porównywalną, w stosunku do pozostałych, powierzchnią ściany północnej, jako najbardziej narażonej na wychładzanie. Dyskusje wywołały duże przeszklenia pionowych pasów na elewacjach od strony ulicy Burakowskiej i Krasieńskiego (strona pn. i pn.-wsch.) oraz przeszklenie narożnika od strony skrzyżowania tych ulic (rys. 1c). Przeszklenia te odpowiednio akcentują przebieg klatek schodowych oraz, co szczególnie naraża na odczuwalne efekty strat ciepła, stanowią rodzaj portfenetrów pokoi dziennych w mieszkaniach narożnikowych. W zderzeniu priorytetów energetycznych i kompozycyjno-użytkowych, te pierwsze okazały się nie dość silne. Przeszklenia wzdłuż ulic, z uwagi na ich duże kompozycyjne znaczenie, zostały jedynie nieznacznie zmniejszone, a rozwiązanie narożnika, z tego samego powodu, a także z uwagi na korzyści użytkowe płynące z zastosowania dużych powierzchni szklenia (m.in. atrakcyjny widok na zewnątrz, przepełnione światłem naturalnym wewnątrz), pozostawiono bez zmian [6]. Dla zredukowania negatywnych efektów zaistniałego konfliktu, na elewacjach pn.-zach. i pn.-wsch. przewiduje się szklenie o podwyższonych właściwościach termoizolacyjnych ( $U < 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

### 3.3. ROZWIĄZANIA ENERGOOSZCZĘDNE A UFORMOWANIE PRZESTRZENNE ELEWACJI

W budynku wprowadzono balkony, które najliczniej znalazły się na elewacjach pd.-wsch. i pd. i pd.-zach. Pozostałe elewacje cechują się mniejszym stopniem artykulacji. Rozwiązanie to znalazło uzasadnienie w rozkładzie mieszkań. Jest również racjonalne z punktu widzenia energetycznego. W elewacjach wsch. i pn., jako słabiej nasłonecznionych, wprowadzanie balkonów ograniczających dostęp światła, nie byłoby korzystne. Z kolei wprowadzone balkony od strony nasłonecznionej, w okresie letnim mogą pełnić rolę ochrony przeciwsłonecznej pomieszczeń znajdujących się pod nimi, zapobiegając przegrzewaniu. Ich skuteczność jest jednak ograniczona z dwóch powodów. Po pierwsze, wysięg płyt balkonowych, wynoszący 180 cm, nie jest dostatecznie duży, by o każdej porze dnia i dla całej powierzchni okna zacienianego był wystarczający. Po drugie, balkony zajmują fragment elewacji i światłocien przez nie rzucany nie obejmuje wszystkich okien na kondygnacjach poniżej. Rozważania na temat możliwości zwiększenia wysięgu i długości balkonów prowadzą do wniosku, iż w celu zapewnienia skutecznej ochrony przeciwsłonecznej, balkony musiałyby być nieracjonalnie długie i głębokie, co wpłynęłoby m.in. na ograniczenie dostępu światła naturalnego do mieszkań oraz zmieniło zasadniczo koncepcję estetyczną budynku.

Główną rolę ochrony przeciwsłonecznej okien balkonowych oraz portfenetrów na elewacjach pd.-wsch. i pd.-zach. pełnią okiennice (żaluzje) systemowe przesuwne

aluminiowe. Ponadto przewiduje się zastosowanie poziomych półek przeciwsłonecznych typu „łamacze światła”, umieszczonych w obrębie przeszkleń lokali usługowych. Inne przestrzenne elementy ochrony przeciwsłonecznej (m.in. żaluzje fasadowe, rolety, markizy i markizolety) zostały poddane pod rozwałę architektom, lecz okazały się nieadekwatne w kontekście estetycznym albo użytkowym. Zrezygnowano z zastosowania elementów wewnętrznych (żaluzji, rolet, zasłon systemowych), jako zbyt ingerujących w indywidualne wymagania przyszłych użytkowników lokali mieszkalnych. Zastosowane rozwiązania cechują się ograniczeniami z uwagi na konieczność zachowania kontaktu wzrokowego z otoczeniem i dopływu światła słonecznego. Z tego powodu zrezygnowano również ze szklenia przeciwsłonecznego, powodującego redukcję transmisji światła i zafałszowanie jego barwy. Dobrano szklenie transparentne neutralne o wysokim współczynniku przepuszczalności światła  $L_t$ , lecz racjonalnie obniżonym współczynniku przepuszczalności całkowitej energii słonecznej  $g$  (parametry te zróżnicowano w zależności od orientacji okien, np. dla okien o ekspozycji pd.-wsch.  $L_t \geq 75\%$   $g = 60$ , a dla pd.-zach.  $L_t \geq 75\%$   $g = 40-45\%$ ).

#### 3.4. ROZWIĄZANIA ENERGOOSZCZĘDNE A UKŁAD FUNKCJONALNO-PRZESTRZENNY

Budynek zaprojektowano w układzie korytarzowo-klatkowym dwutraktowym z mieszkaniami po obwodzie rzutu. Biorąc pod uwagę plan budynku, układ ten pozwala na optymalne, w sensie użytkowym, rozmieszczenie lokali mieszkalnych. Jako taki, uniemożliwia jednak zachowanie modelowej zasady strefowania termicznego, w której strefy podatne na wychładzanie zajmowane są przez pomieszczenia pomocnicze, a strefy przebywania (głównie stałego) ludzi zlokalizowane od strony najlepiej nasłonecznionej. Zasadę tę udało się uwzględnić jedynie w ograniczonym stopniu, lecz jest ona czytelna, zarówno w projekcie lokali mieszkalnych jak i w skali całej kondygnacji. Większość lokali mieszkalnych cechuje się podziałem na tzw. strefę dzienną i nocną, przy czym strefa dzienna zlokalizowana jest od strony lepiej nasłonecznionej. Klatki schodowe, usytuowano przy ścianach elewacyjnych od strony pn.-wsch. i pn.-zach., predestynując je tym samym do roli przestrzeni termobuforowych (rys. 1d).

Z układem funkcjonalno-przestrzennym wiąże się podział przestrzeni wewnętrznej przegrodami pionowymi i poziomymi, a co za tym idzie, potencjalna możliwość wykorzystania ich jako masy termicznej. W budynku zastosowano żelbetowe stropy monolityczne o gr. 30 cm oraz ściany z bloczków silikatowych gr. 18 cm. Wystarczająca w sensie konstrukcyjnym i użytkowym (m.in. akustycznym), lecz stosunkowo mała grubość ścian zmniejsza ich przydatność w omawianym względzie. Wprowadzone rozwiązania uzasadnione są przez względy użytkowo-ekonomiczne (m.in. większy metraż mieszkań). Rezygnację z wykorzystania przegród poziomych, jako masy termicznej, uzasadnia czynnik nieprzewidywalności wykończenia posadzek w lokalach mieszkalnych, co może skutkować zmniejszeniem powierzchni czynnej masy termicz-



nej, a w konsekwencji jej efektywności. Z analogicznego powodu wątpliwe jest wykorzystanie w tej roli ścian, niemniej w części ogólnodostępnej, z uwagi na zadawalającą ich grubość i budulec, może być to brane pod uwagę.

#### 4. WYBRANE OBSZARY PROBLEMOWE WPROWADZANIA PASYWNYCH ROZWIĄZAŃ ENERGOOSZCZĘDNYCH

W tabeli 1 dokonano syntezy problemów dotyczących wprowadzania pasywnych rozwiązań energooszczędnych w miejskich budynkach wielorodzinnych, wskazując na

Tabela 1. Obszary problemowe wprowadzania pasywnych rozwiązań energooszczędnych, oprac. własne

<b>Kontekst urbanistyczny lokalizacji budynku</b>	<b>Specyfika funkcjonalno-przestrzenna i użytkowa budynków wielorodzinnych</b>	<b>Koncepcja estetyczna</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kształt, wielkość i ekspozycja działki wymuszające tworzenie budynków o głębokich planach lub rozczłonkowanych z niekorzystnie eksponowanymi elewacjami (relatywnie duże elewacje pn.) oraz redukujące możliwości zagospodarowania przestrzennego otoczenia jako elementu strategii energetycznej (np. nasypy jako bufor termiczny),</li> <li>• funkcjonalny i kompozycyjny kontekst urbanistyczny narzucający lub uzasadniający tworzenie planu budynku i jego elewacji niezgodnych z zasadami budownictwa energooszczędnego,</li> <li>• inne ograniczenia (planistyczne, prawne, techniczne, przestrzenne) powodujące skutki jak wyżej.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• układy funkcjonalno-przestrzenne ograniczające możliwość strefowania termicznego, choć racjonalne z punktu widzenia wykorzystania powierzchni budynku i wzajemnych powiązań funkcjonalnych (m.in. układy dwutraktowe z mieszkaniami po czterech stronach rzutu),</li> <li>• dążenie do zapewnienia komfortowych warunków środowiska wizualnego (m.in. kontakt wzrokowy z otoczeniem, wysoka jakość oświetlenia naturalnego) przez wprowadzanie elewacyjnych przeszkleń kosztem pogorszenia ochrony termicznej (m.in. duże przeszklenia północne); zawężenie palety materiałowo-budowlanych rozwiązań przeciwsłonecznych (np. szkło barwione w masie niekorzystnie zmniejsza natężenie światła w pomieszczeniu i zakłóca jego barwę, spośród przestrzennych elementów zaciemniających, do ochrony mieszkań niewskazane są elementy nieregulowane i na stałe zakłócające kontakt wzrokowy z otoczeniem),</li> <li>• specyfika funkcjonowania lokali mieszkalnych, jako prywatnych jednostek użytkowych: praktycznie niemożliwa realizacja strategii kontrolowanej ochrony termicznej i przeciwsłonecznej, rozumianej jako systemowe rozwiązanie regulacji zbiorczej, nieprzewidywalność stosowania i eksploatacji wewnętrznych elementów ochrony przeciwsłonecznej w mieszkaniach oraz wykorzystania przegród w roli masy termicznej (elementy te pozostają poza zasięgiem wpływu projektantów).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rozwiązania bryłowe i elewacyjne nie korespondujące z koncepcją energetyczną (np. stosowanie ciemnych okładzin elewacyjnych lub wprowadzanie nawisów architektonicznych w sytuacji utrudnionego dostępu promieni słonecznych w okresie grzewczym, estetyczne ograniczenia stosowania zewnętrznych elementów zaciemniających, tworzenie nieracjonalnie, z punktu widzenia energetycznego, dużych przeszkleń elewacyjnych),</li> <li>• preferencje mieszkańców dotyczące aranżacji i wykończenia mieszkań (np. stosowanie pokryć przegród wewnętrznych i wyburzanie ścian redukujące ich zdolności jako masy termicznej, rezygnacja z wewnętrznych osłon okiennych jako izolatora termicznego okien).</li> </ul>

trzy zasadnicze obszary problemowe. Spostrzeżenia oparto m.in. na doświadczeniach związanych z badaniami opisanego budynku. Pominięto m.in. zagadnienia ekonomiczne i techniczno-eksploatacyjne, jako wykraczające poza obszar badań.

## 5. MOŻLIWOŚCI ELIMINACJI LUB ŁAGODZENIA OBSZARÓW PROBLEMOWYCH

Powyższe spostrzeżenia prowadzą do wniosku, że środowisko zurbanizowane jest zasadniczo środowiskiem nieprzyjaznym dla wprowadzania pasywnych rozwiązań energooszczędnych w złożonych strukturach budowlanych, jakimi są budynki wielorodzinne. Odnosi się to głównie do rozwiązań przestrzennych. Rozwiązania materiałowo-budowlane mogą stanowić uzupełnienie lub w pewnym stopniu działania rekompensacyjne, niemniej nie powinny być traktowane jako alternatywa. Wydaje się, że dopiero jedno i drugie, połączone w system obopólnie korzystnego sprzężenia zwrotnego, mogą przynosić pożądane rezultaty.

Eliminacji lub złagodzenia omówionych obszarów problemowych należy upatrywać w zintegrowanym procesie projektowym [1]. Proces ten opiera się na ścisłej współpracy interdyscyplinarnej zespołu specjalistów wielu branż, która rozpoczyna się już od studiów wstępnych. Etap ten ma fundamentalne znaczenie dla całej inwestycji. Istotą studiów jest odpowiedź na pytanie, jaki budynek jest celem projektu (parametry energetyczne, trwałość, priorytety użytkowe, nakłady ekonomiczne itp.).

Projektowanie budynków energooszczędnych powinno obejmować konsultacje z inwestorem już na etapie doboru działki. Jeśli lokalizacja jest już określona, studia wstępne służą określeniu potencjału miejsca, w którym ma powstać budynek (np. analiza możliwości wprowadzania rozwiązań słonecznych, problemy natury akustycznej czy aerodynamicznej).

Uniknięciu konfliktów natury estetycznej sprzyja możliwie szybkie zdefiniowanie rozwiązań architektonicznych, głównie w zakresie rozwiązań elewacyjnych. Określenie koloru okładzin, rodzaju zewnętrznych elementów ochrony przeciwsłonecznej itd. jest postrzegane jako domena projektu budowlanego bądź wykonawczego, tymczasem działania te powinny być już podejmowane na etapie koncepcji, a poszczególne elementy elewacyjne stać się integralnym składnikiem idei architektonicznej.

Istotnym elementem procesu projektowego jest dialog z potencjalnymi użytkownikami. Wypracowaniu konstruktywnych wskazówek i wniosków służą opracowane w ostatnich latach metody badań jakościowego budynków, np. metoda BPE (*Building Performance Evaluation*) [4]. Wzorem krajów rozwiniętych, konieczne jest promowanie wiedzy energetyczno-ekologicznej zarówno wśród uczestników procesu inwestycyjnego (m.in. inwestorów i projektantów), jak i użytkowników budynku, oraz uświadamianie tych ostatnich w zakresie zachowań służących oszczędności energii.

## LITERATURA

- [1] HEGGER M., FUCHS M., STARK T., ZEUMER M., *Energy Manual. Sustainable Architecture*, Birkhäuser, Basel–Boston–Berlin 2008, 186–189.
- [2] MARCHWIŃSKI J., *Wybrane pasywne metody ochrony przeciwsłonecznej i problemy ich skutecznej implementacji w budynkach wielorodzinnych*, [w:] Materiały z V Konferencji Naukowej – Zakopane 3–6.09.2012, 167–169.
- [3] MARCHWIŃSKI J., ZIELONKO-JUNG K., *Ochrona przeciwsłoneczna w budynkach wielorodzinnych*, Manuskrypt, w trakcie publikacji, Warszawa 2013.
- [4] NIEZABITOWSKA E., MASŁY D. (red.), *Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007, 158–163.
- [5] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. (z późniejszymi zmianami) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Załącznik nr 2. Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii*.
- [6] ZIELONKO-JUNG K., *Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013, 125–126.
- [7] ZIELONKO-JUNG K., MARCHWIŃSKI J., *Opis wytycznych materiałowych dla budynków wielorodzinnych wynikających z zastosowania pasywnych rozwiązań architektonicznych dla budynku wielorodzinnego*, Raport nr 7.3.1 opracowany dla Mostostal-Warszawa w ramach projektu celowego *Miejski Budynek Jutra 2030*, współfinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (nr 6 ZR6 2009 C/07319), Warszawa, 30.05.2011.
- [8] GALICKI SYPNIEWSKI ARCHITEKCI, materiały archiwalne dostępne w biurze architektonicznym, Warszawa 2013.

SELECTED PROBLEMS OF THE IMPLEMENTATION OF ENERGY-SAVING MEASURES  
IN CITY MULTIFAMILY BUILDINGS

The paper discusses selected problems relating to the implementation of passive energy-saving measures in city multifamily buildings. The measures combine spatial and material solutions that positively affect buildings thermal behavior and consequently contribute to the reduction of energy consumption. Both thermal protection and passive solar measures have been considered.

Energy saving measures have been confronted with the requirements imposed by urban context and the architectural objectives, specific for multifamily buildings, especially their functional performance and aesthetics. Insights are the result of the author's participation in multidisciplinary research on the multifamily building located in dense urban area in Warsaw. The research aimed at the development of sustainable standards within R&D project entitled "City Building of tomorrow 2030" has highlighted the limits that accompany the architectural design of such buildings.

## ROZDZIAŁ IX

# WPŁYW ORIENTACJI I LOKALIZACJI BUDYNKU NISKOENERGETYCZNEGO NA ZMIANĘ ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII

Monika NAJDER\*, Karolina KURTZ-ORECKA\*

Efektywność energetyczna budynku kształtowana jest w trakcie jego cyklu życia, jednak szczególnie istotnym jest etap projektowy. Praca omawia wpływ zmian związanych z lokalizacją i orientacją budynku na zapotrzebowanie energii na pokrycie jego potrzeb cieplnych. Na podstawie analizy przyjętego niskoenergetycznego budynku jednorodzinnego, rozpatrywanego w 61 położeniach na terenie kraju oraz 8 orientacjach względem stron świata, wykazano istotne zmiany w szacowanych dla obiektu wartościach wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji.

Słowa kluczowe: *budownictwo niskoenergetyczne, potrzeby cieplne, zyski słoneczne, orientacja budynku, lokalizacja budynku, warunki klimatu zewnętrznego*

### 1. WSTĘP

W obliczu malejącej dostępności kopalnych nośników energii budownictwo o zredukowanym zapotrzebowaniu na energię stanowi jeden z kluczowych kierunków zrównoważonego rozwoju. Ewolucja tego sektora znalazła odzwierciedlenie w nowelizacji dyrektywy Parlamentu Europejskiego w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (2010), która z końcem drugiej dekady XXI wieku dla budynków nowych – początkowo użyteczności publicznej a następnie wszystkich, wprowadza obligatoryjny, zero-energetyczny standard zużycia energii.

O możliwości uzyskania niskiego zapotrzebowania na energię obiektu decyduje wiele czynników, które można podzielić na te związane z funkcją i układem funkcjonalno-użytkowym, składowe opisujące cechy konstrukcyjno-materiałowe, czy systemy techniczne oraz zewnętrzne – jak usytuowanie w terenie oraz lokalizacja i wynikające z niej parametry klimatu zewnętrznego. Wrażliwość na wskazane czynniki jest

---

\* Wydział Budownictwa i Architektury, ZUT w Szczecinie, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin.

dla każdego budynku indywidualna. Same składowe zapotrzebowania na energię kształtowane są w trakcie całego cyklu życia budynku, jednak skutki decyzji, podjętych na etapie projektowania i realizacji obiektu mogą na tyle zdeterminować jego jakość energetyczną, że wstępnie prognozowane niskie zapotrzebowanie na nośniki energii jest trudne do osiągnięcia.

W bilansie zapotrzebowania na ciepło budynku niskoenergetycznego istotne jest m.in. wykorzystanie promieniowania słonecznego docierającego do jego wnętrza w celu jak największej kompensacji strat ciepła. Znajduje to odzwierciedlenie w charakterystycznym układzie przegród szklanych i ich dużej koncentracji głównie na elewacji południowej [2, 4, 7]. Sztandarowym przykładem budynku o optymalnej orientacji jest, wzniesiony w 1994 roku w Freiburgu, Heliotrope [5]. Unikalna konstrukcja tego plus-energetycznego obiektu, wsparta na ruchomym trzpieniu, umożliwia stały obrót i dostosowanie jego orientacji do zmiennej pozycji Słońca. Pozwala to na maksymalne wykorzystanie promieniowania słonecznego do pozyskiwania energii. Rozwiązanie zastosowane w Freiburgu jest jednak bardzo kosztowne i nie może być realizowane w dowolnych warunkach przestrzennych, stąd nie znajduje powszechnego naśladownictwa w rozwijającym się budownictwie niskoenergetycznym, w którym dominuje, często zmodyfikowane, jednak nadal tradycyjne – stałe powiązanie budynku z gruntem. W konsekwencji sytuacja ta wymaga bardzo precyzyjnej orientacji obiektu względem stron świata. Jak wskazuje Idczak [3], zmiana azymutu mocno przeszklonej fasady południowej prowadzi do znacznego pogorszenia efektywności energetycznej budynku<sup>1</sup>.

Dostępne na rynku katalogi powtarzalnych projektów domów niskoenergetycznych i pasywnych oferują gotową dokumentację budowlaną, która opracowana została dla przyjętych warunków lokalnych. Określone zapotrzebowanie na energię tych budynków ma odniesienie bezpośrednio do przyjętych danych. Adaptacja zaproponowanych rozwiązań do warunków lokalnych może jednak znacząco zmienić pierwotnie wyznaczone wskaźniki energetyczne. Ma to miejsce głównie z uwagi na dwa czynniki – odmienną lokalizację budynku w odniesieniu do wariantu projektowego<sup>2</sup> oraz zmianę orientacji wynikającą z uwarunkowań dostępnego na realizację inwestycji terenu.

Przyczynkiem do podjęcia tematu była wykonana w 2009 roku ocena charakterystyki energetycznej powtarzalnego budynku mieszkalnego, pierwotnie projektowanego jako obiekt niskoenergetyczny. Na skutek błędnej lokalizacji obiektu na działce (pierwotna elewacja południowa uzyskała orientację północno-wschodnią) oraz z uwagi na odmienne warunki klimatyczne, projektowane wskaźniki zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji zostały przekroczone ponad dwukrotnie, prawdopodobnie bez wiedzy inwestora.

---

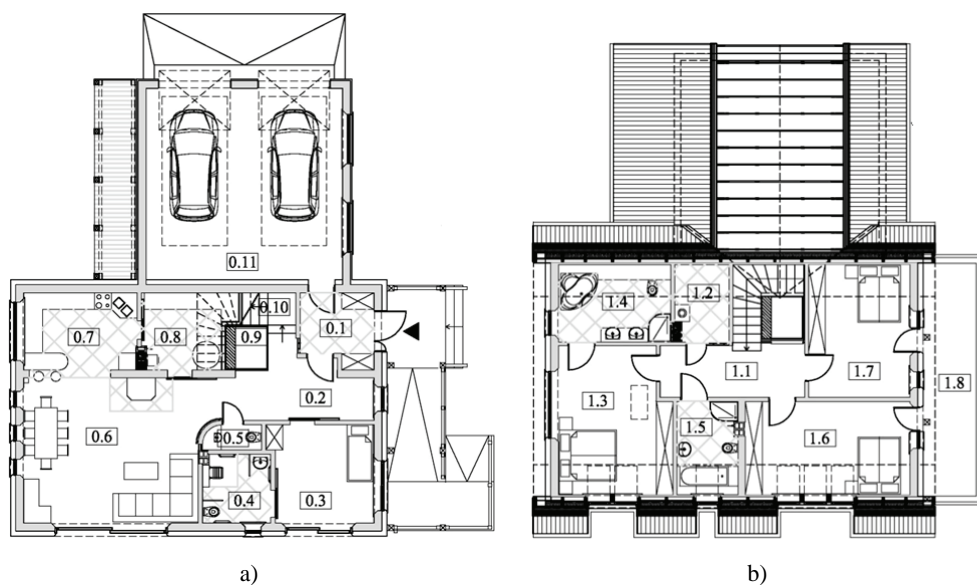
<sup>1</sup> Prowadzone przez Idczaka analizy [3] odnosiły się do lokalizacji budynku na terenie Wrocławia.

<sup>2</sup> Dotyczy zmiany stacji meteorologicznej odniesienia a w konsekwencji parametrów klimatu wewnętrznego.

Podjęte w temacie oszacowanie wpływu odmiennej, niż pierwotnie przyjęto, lokalizacji budynku oraz jego wrażliwości na zmianę azymutu elewacji południowej w zależności od usytuowania na terenie kraju, przeprowadzono na podstawie modelu niskoenergetycznego budynku jednorodzinnego [6].

## 2. CHARAKTERYSTYKA BUDYNKU

Analizowany budynek mieszkalny zaprojektowano jako wolnostojący, połączony funkcjonalnie z garażem. Oś domu opisana została na kierunku wschód–zachód. Obiekt został w pełni dostosowany do potrzeb osób niepełnosprawnych zapewniając swobodny dostęp do wszystkich pomieszczeń za wyjątkiem wydzielonego ustępu na parterze. Powierzchnia użytkowa, z pominięciem nieogrzewanego garażu, wynosi 161 m<sup>2</sup>. Rozwiązania architektoniczne przedstawiono na rysunkach 1 i 2 (projekt M. Najder) [6].



Rys. 1. Układ funkcjonalno-użytkowy analizowanego domu, oprac. własne [6],  
a) parter, b) piętro

Przy uwzględnieniu lokalizacji budynku w Szczecinie oraz orientacji głównej przeszklonej fasady w kierunku południowym, projektowane zapotrzebowanie na energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji, wyznaczone zgodnie z metodyką określoną w [8], wyniosło 24,5 kWh/(m<sup>2</sup> rok). Wartość tą uzyskano dzięki dobrej izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych (tab. 1) oraz uwzględnieniu wentylacji mechanicz-

nej z założoną sprawnością odzysku ciepła z powietrza usuwanego na poziomie 75%. Istotny w bilansie potrzeb cieplnych współczynnik przepuszczalności całkowitej promieniowania słonecznego przegród szklanych, przyjęto jak dla szyby zespolonej bez powłok niskoemisyjnych (0,75).



Rys. 2. Wizualizacje analizowanego domu, oprac. własne [6];

a) widok z południowego zachodu, b) widok na elewację północną i wschodnią

Tabela 1. Izolacyjność przegród zewnętrznych analizowanego budynku, oprac. własne [6]

Przegroda	Ściany zewnętrzne	Dach	Podłoga na gruncie	Okna	Okna połaciowe	Drzwi zewnętrzne
Współczynnik przenikania ciepła $U$ , $W/(m^2K)$	0,17	0,14	0,10	1,1 <sup>3</sup>	1,4	1,5

### 3. WPŁYW ZMIANY LOKALIZACJI I ORIENTACJI BUDYNKU NA ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ DO OGRZEWANIA

#### 3.1. LOKALIZACJA BUDYNKU

Oszacowanie wpływu lokalnych warunków klimatycznych na zmianę zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku analizowano w 61 lokalizacjach na terenie kraju (rys. 3a), odpowiednio do dostępnych danych typowego roku meteorologicznego<sup>4</sup>. W każdym przypadku założone warunki związane z orientacją obiektu oraz najbliższym jego otoczeniem, jak np. zacienieniem, pozostały niezmiennie. Lokalizacje specyficzne – o znikomych możliwościach rozwoju budownictwa, stanowią Kasprowy

<sup>3</sup> Podany współczynnik przenikania ciepła odnosi się do szyby zespolonej.

<sup>4</sup> Dane opisujące parametry klimatu zewnętrznego w typowym roku meteorologicznym zaczerpnięto z bazy danych udostępnionej na stronie internetowej Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej.

Wierch i Śnieżka<sup>5</sup>. Dla przyjętej orientacji budynku na osi wschód–zachód, najniższe zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, wynoszące 16,3 kWh/(m<sup>2</sup> rok), uzyskano sytuując obiekt w Nowym Sączu. Największe, z pominięciem stacji charakterystycznych<sup>4</sup>, określone zostało z wynikiem 39,5 kWh/(m<sup>2</sup> rok) dla Suwałk i jest ponad dwukrotnie większe od wartości minimalnej. Oszacowany wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania przedmiotowego budynku, przy przyjęciu standardów energetycznych opisanych w [9], w pierwszym przypadku zbliża go do charakterystyki obiektu pasywnego, zaś w drugim – do niskoenergetycznego<sup>6</sup>.

W odniesieniu do projektowanego usytuowania budynku w Szczecinie, zmiana lokalizacji obiektu w 11-stu przypadkach przyczyni się do poprawy standardu energetycznego, zaś w pozostałych 47-miu spowoduje większe, niż pierwotnie określono, zapotrzebowanie na energię do ogrzewania podnosząc koszty bieżącej eksploatacji.

Przyjmując obowiązujące stawki [10] za gaz ziemny w grupie taryfowej W-3 odbiorców indywidualnych: 1,3671 zł brutto za 1 m<sup>3</sup> gazu oraz stawkę zmienną opłat sieciowych wynoszącą średnio<sup>7</sup> 0,4814 zł/m<sup>3</sup>, roczna różnica ponoszonych kosztów na zakup gazu na cele ogrzewania w lokalizacjach o ekstremalnych wartościach zapotrzebowania na ciepło wynosi 801,81 zł<sup>8</sup>.

### 3.2. ORIENTACJA BUDYNKU

Do celów porównawczych w rozpatrywanych lokalizacjach wykonano obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku rozpatrując 7 kolejnych przypadków odpowiadających sekwencyjnemu obrotowi budynku o 45°. Na rysunku 3b zestawiono uzyskane wyniki odpowiadające najbardziej niekorzystnej sytuacji zorientowania silnie przeszklonej elewacji w kierunku północnym, zaś na rysunku 4 – odpowiednio procentowe przyrosty wskaźnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku dla tejże orientacji. W najbardziej niekorzystnym przypadku rotacji budynku o 180°, wartości skrajne zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji wyniosły odpowiednio 23,4 kWh/(m<sup>2</sup> rok) dla lokalizacji budynku w Świnoujściu oraz 44,93 kWh/(m<sup>2</sup> rok) przy położeniu w Suwałkach.

---

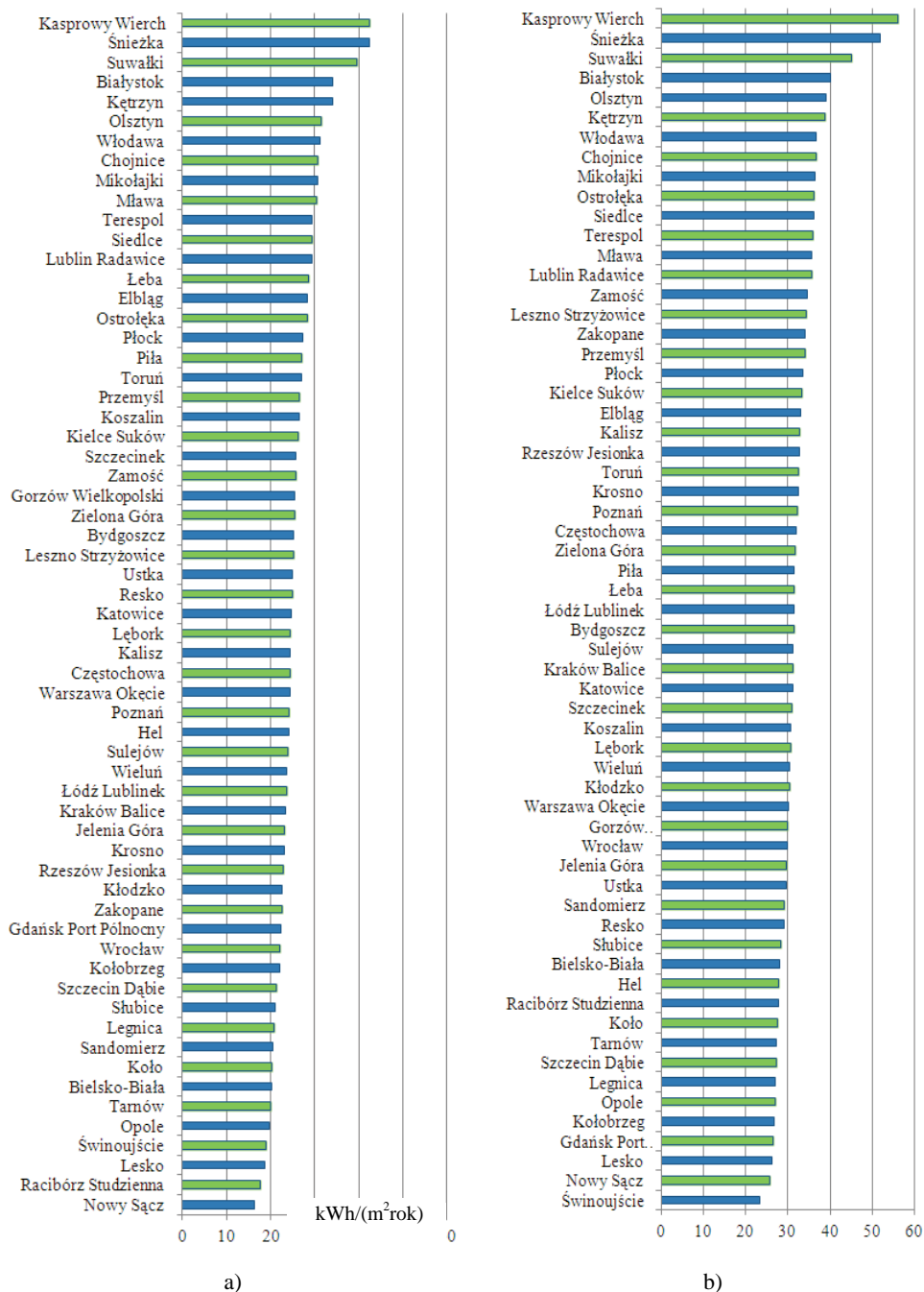
<sup>5</sup> W konkluzjach lokalizacje: Kasprowy Wierch i Śnieżkę, pominięto.

<sup>6</sup> Zapotrzebowanie na energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji budynku pasywnego nie przekracza 15 kWh/(m<sup>2</sup> rok), w przypadku budynków niskoenergetycznych mieści się w granicach do 50 kWh/(m<sup>2</sup> rok).

<sup>7</sup> Średnią stawkę zmiennej opłat sieciowych wyznaczono na podstawie obowiązujących taryf [10] sześciu dystrybutorów gazu.

<sup>8</sup> W obliczeniu przyjęto wg [1] wartość opałową gazu 31,0 MJ/m<sup>3</sup>.

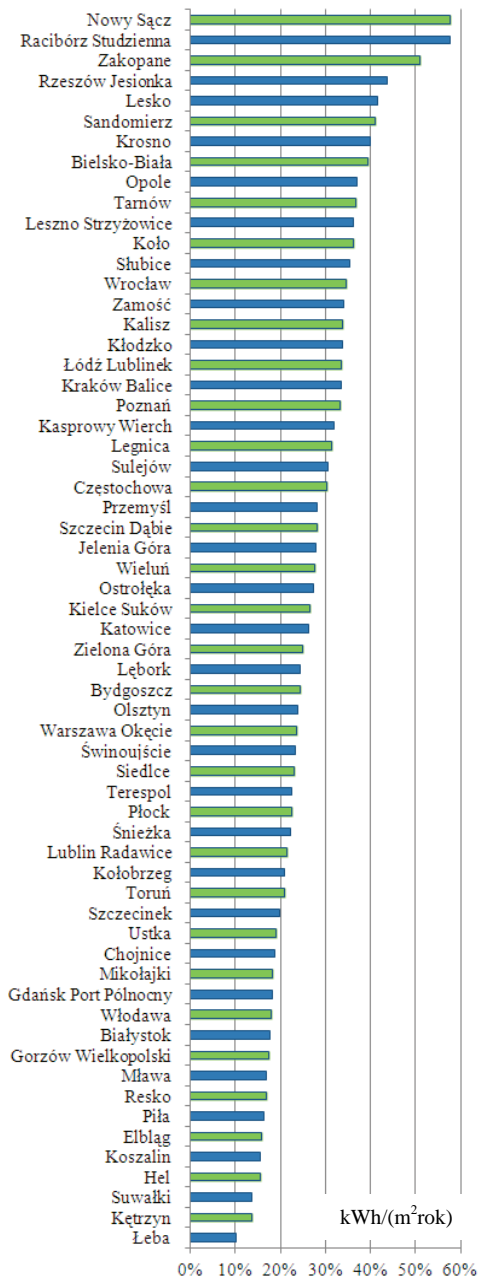




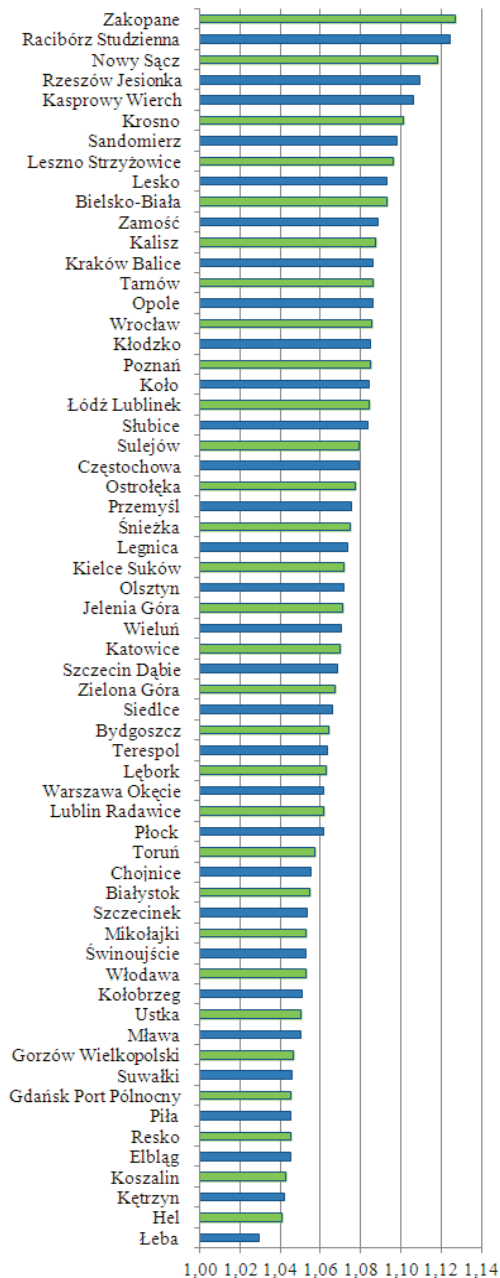
Rys. 3. Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania budynku; główna elewacja przeszklona zorientowana w kierunku a) południowym, b) północnym, oprac. własne

Na rysunku 4 zestawiono procentowy przyrost zapotrzebowania energii w przypadku obrotu budynku o  $180^\circ$ . Najniższy przyrost uzyskano przy lokalizacji obiektu w Łebie (10,1%), najwyższą w przypadku Nowego Sącza (57,8%), jednak w przypadku tego ostatniego położenia utrzymany został niski poziom zapotrzebowania na ciepło wynoszący  $25,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$ . W zestawieniu (rys. 3b), stanowiącym swobodną listę rankingową, Nowy Sącz stanowi drugą, po Świnoujściu, najbardziej efektywną lokalizację obiektu nawet w przypadku błędnego zorientowania budynku pierwotną elewacją południową w kierunku północnym. Ponadto z uzyskanych wyników wyłania się charakterystyczny obraz najbardziej niekorzystnej lokalizacji budynku w Suwałkach. Może to sugerować, że z parametrów klimatu zewnętrznego, to roczny rozkład temperatury zewnętrznej ma główny wpływ na kształtowanie potrzeb ciepłych w budynku.

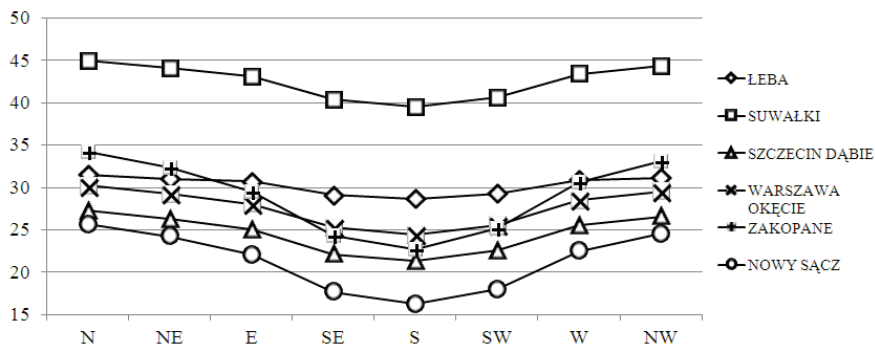
Analizując wyniki bilansu zapotrzebowania na ciepło budynku ustalono wrażliwość lokalizacji obiektu na zmianę jego optymalnej orientacji. Wielkość tą określono jako średni bezwzględny przyrost zapotrzebowania na energię wynikający z rotacji budynku w odniesieniu do wyniku uzyskanego dla orientacji południowej. Wartość 1 odpowiada orientacji budynku w kierunku południowym. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 5. Z zestawienia wynika, że najbardziej wrażliwe na błędną orientację obiektu są lokalizacje górskie (Zakopane), natomiast najmniej położenie budynku w pasie nadmorskim (Łeba). Tendencję tą potwierdza również wykres zamieszczony na rysunku 6, obrazujący zmianę wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji przy sekwencyjnej rotacji budynku w wybranych lokalizacjach, tj. w Łebie, Suwałkach, Szczecinie, Warszawie, Zakopanym oraz Nowym Sączu. Cztery z położzeń (Nowy Sącz, Łeba, Zakopane, Suwałki) są lokalizacjami, w warunkach, których zapotrzebowanie na ciepło rozpatrywanego budynku przyjmuje wartości skrajne. Szczecin stanowi lokalizację wyjściową, zaś Warszawa przedstawiona została informacyjnie. W zestawieniu widać wyraźną różnicę szacowanego zapotrzebowania na ciepło pomiędzy położeniem obiektu w Suwałkach i pozostałych stacjach. Charakterystyczne są rozkłady lokalizacji górskich – Nowy Sącz i Zakopane oraz pasa nadmorskiego – Łeba i Szczecin. Krzywe w lokalizacjach południowych cechują się znacznymi przyrostami zapotrzebowania na ciepło przy rotacji obiektu, stąd i większą wrażliwością na błędy wynikające ze zmiany orientacji. Sytuacja ta znajduje potwierdzenie w zestawieniu na rysunku 4, w którym 8 lokalizacji o największych przyrostach zapotrzebowania na ciepło po obrocie o  $180^\circ$  odpowiada miejscowościom położonym w górach lub na przedgórzu. W przypadku miejscowości pasa nadmorskiego widoczny jest akumulacyjny wpływ zbiorników wodnych i ich dużej pojemności cieplnej, na obniżenie amplitudy temperatury zarówno w skali dobowej, jak i rocznej, co uwidacznia się na wykresach spłaszczeniem krzywych zapotrzebowania na ciepło analizowanego budynku.



Rys. 4. Przyrost zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku po obrocie o 180°, oprac. własne



Rys. 5. Średni bezwzględny przyrost zapotrzebowania na energię wynikający ze zmiany optymalnej orientacji budynku, oprac. własne



Rys. 6. Zmienność zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku w wybranych lokalizacjach w zależności od zorientowania głównej fasady przeszklonej, oprac. własne

#### 4. PODSUMOWANIE

Poza charakterystycznymi cechami budynku, jak stopień przeszklenia elewacji, zastosowany rodzaj szyb, czy jakość termiczna przegród budowlanych, warunki klimatyczne związane z położeniem budynku oraz jego orientacja, wpływają na zróżnicowanie jego zapotrzebowania na energię na potrzeby grzewcze, wynikające z dostępności i możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego do kompensacji strat ciepła. Wskazana zmienność jest istotnym parametrem kształtującym efektywność energetyczną budynków, zwłaszcza o małej skali, do których należą budynki jednorodzinne. Przy analizach zapotrzebowania na energię trzeba również zwrócić uwagę na fakt, że silnie przeszklone elewacje mogą powodować przegrzewanie się pomieszczeń latem i utratę poczucia komfortu termicznego u użytkowników.

Przy realizacji budynku niskoenergetycznego z projektu powtarzalnego należy zwrócić szczególną uwagę na usytuowanie go na działce mając na względzie wykazany wpływ rotacji obiektu na osiągnięty wskaźnik zapotrzebowania na ciepło. Oczywistym jest, że dostępność optymalnie zorientowanych działek budowlanych jest ograniczona, jednak w przypadku adaptacji do warunków lokalnych w większości przypadków dopuszcza się wprowadzenie zmian, jak np. lustrzanego odbicia w celu dostosowania budynku do istniejących warunków. Powinno się również pamiętać o skorygowaniu projektowej charakterystyki energetycznej uwzględniającej rzeczywistą sytuację budynku.

Przedstawione w pracy wyniki mają bezpośrednie odniesienie do rozpatrywanego obiektu, ponieważ są silnie uwarunkowane przyjętymi rozwiązaniami projektowymi – m.in. geometrią budynku, jakością termiczną przegród, przyjętymi systemami technicznymi oraz co istotne w rozważaniach – geometrią i usytuowaniem okien na poszczególnych elewacjach. Konkluzje wynikające z zaprezentowanych analiz można

jednak przyjąć dla szerszego spektrum obiektów podkreślając istotny wpływ ich lokalizacji i orientacji na kształtowanie potrzeb cieplnych i możliwych konsekwencji wynikających z błędnego usytuowania obiektu na działce budowlanej. Szczegółowa analiza możliwości wykorzystania odnawialnego źródła ciepła w postaci promieniowania słonecznego, staje się nieodzownym elementem w kształtowaniu budynków energooszczędnych.

#### LITERATURA

- [1] *Czym jest gaz ziemny*, PGNiG S.A., [http://www.pgnig.pl/dladomu/gaz\\_ziemny](http://www.pgnig.pl/dladomu/gaz_ziemny), Dostęp 06.07.2013.
- [2] HEGGER M., FUCHS M., STARK T., ZEUMER M., *Energy Manual. Sustainable Architecture*, Institut für International Architektur-Dokumentation, GmbH & Co. KG, Monachium 2008, 69.
- [3] IDCZAK M., *Ogólna koncepcja budynku pasywnego*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [http://www.ibp.com.pl/Portals/IBP/docs/Marcin/Ogolna\\_koncepcja\\_budynku\\_pasywnego.pdf](http://www.ibp.com.pl/Portals/IBP/docs/Marcin/Ogolna_koncepcja_budynku_pasywnego.pdf), Dostęp 01.07.2013.
- [4] JOHNSTON D., GIBSON S., *Towards a zero energy home: a complete guide to energy self-sufficiency at home*, The Taunton Press, Newtown 2010, 79.
- [5] MICHLER A., *Heliotrope: The World's First Energy Positive Solar Home*, <http://inhabitat.com/heliotrope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home>, Dostęp 06.07.2013.
- [6] NAJDER M., *Projekt niskoenergetycznego budynku mieszkalnego jednorodzinnego dostosowanego do potrzeb osoby niepełnosprawnej*, praca magisterska, ZUT w Szczecinie, Szczecin 2012.
- [7] *Passive House Requirements*, Passive House Institut, 2012, [http://www.passiv.de/en/02\\_informations/02\\_passive-house-requirements/02\\_passive-house-requirements.htm](http://www.passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm), Dostęp 08.07.2013.
- [8] Polska Norma PN-EN ISO 13790:2009 *Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczenia zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
- [9] ŻURAWSKI J., *Budownictwo energooszczędne, pasywne, zero-energetyczne czy racjonalne?*, [http://www.nfosigw.gov.pl/gfx/nfosigw/userfiles/files/aktualnosci/2011/09/jerzy\\_zurawski.pdf](http://www.nfosigw.gov.pl/gfx/nfosigw/userfiles/files/aktualnosci/2011/09/jerzy_zurawski.pdf), Dostęp 06.09.2011.
- [10] *Zmiana Taryfy dla Paliw Gazowych PGNiG S.A. Część A. Taryfy w zakresie dostarczania paliw gazowych*, Nr 5/2012, Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA, Warszawa 2012.

#### THE IMPACT OF ORIENTATION AND LOCATION CHANGE OF LOW ENERGY HOUSE ON ITS ENERGY DEMANDS FOR SPACE HEATING

The energy efficiency of the building is shaped in the course of its whole technical life, but especially important is design stage. The paper discusses the impact of changes related to the location and orientation of the building on the energy requirements to cover its space heating demand. Based on the analysis of low-energy single-family house, assessed at 61 locations across the country and 8 orientations there has been shown a significant change in estimated values for the energy demand for heating and ventilation.

## ROZDZIAŁ X

# OSZKLONA PRZESTRZEŃ BUFOROWA W SYSTEMIE ZYSKÓW POŚREDNICH

Joanna BIEDROŃSKA\*

Energooszczędność i zastosowanie energii odnawialnej stanowi jedno z głównych komponentów ekologicznego budownictwa. Efektywnym sposobem oszczędzania jest wykorzystanie w budynku światła i energii cieplnej słońca oraz energii wiatru w sposób bezpośredni, czyli bez uciekania się do systemów mechanicznych. Jest to sposób naturalny, zwany też pasywnym. System zysków pośrednich z przestrzenią buforową stanowi rozwiązanie jak najbardziej zalecane do stosowania w warunkach klimatu umiarkowanego. Wprowadzenie przestrzeni buforowych w formie przeszklonych struktur wpływa korzystnie nie tylko na bilans cieplny budynku, jego racjonalną gospodarkę energetyczną, ale też nadaje mu walory estetyczne i funkcjonalne. Artykuł zawiera podstawowe zasady właściwego kształtowania strefy buforowej oraz możliwości zysków energetycznych z promieniowania słonecznego jako pasywnego kolektora ciepła na przykładzie domu jednorodzinnego.

Słowa kluczowe: *energooszczędność, przestrzeń szklarniowa, pasywny kolektor ciepła, słoneczny zysk pośredni*

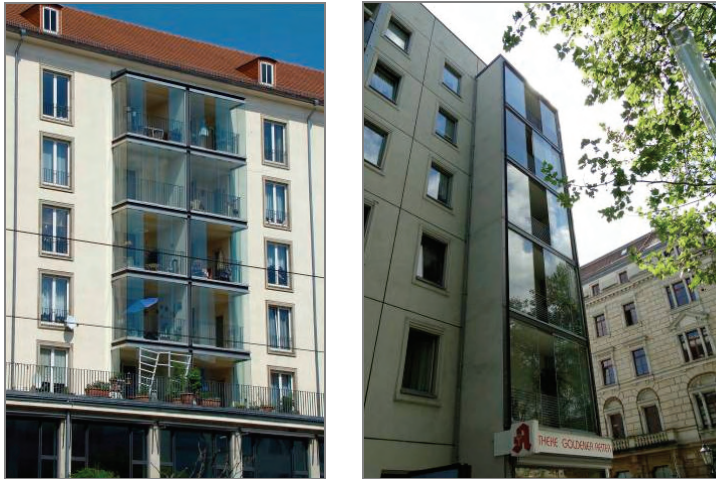
### 1. ZASADA DZIAŁANIA PRZESTRZENI BUFOROWEJ

Rozwiązania pasywne w projektowaniu architektonicznym polegają na kształtowaniu struktury i bryły budynku w taki sposób, aby możliwe było pozyskiwanie energii słonecznej i właściwe nią gospodarowanie. Funkcjonowanie pasywnych systemów słonecznych charakteryzuje rodzaj zysków słonecznych zachodzący w przestrzeni wewnętrznej. Zysk pośredni dotyczy rozwiązań, w których konwersja fototermiczna następuje w wydzielonej przestrzeni tych rozwiązań, a następnie uzyskane ciepło ulega rozprowadzeniu w obrębie budynku dzięki zjawisku przewodzenia lub konwekcji. Rolę oszklonej przestrzeni buforowej w budynku stanowią szklarnie, ogrody zimowe wykorzystujące energię słoneczną jako źródło ciepła, w rozwiązaniach dostosowanych do zjawiska kontrolowanego efektu szklarniowego. Zastosowanie systemu zysków

---

\* Katedra Strategii Projektowania i Nowych Technologii w Architekturze, Wydział Architektury, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice.

pośrednich z przestrzenią buforową zrealizowane jest poprzez dołączenie od strony południowej na zewnątrz budynku przestrzeni przeszklonej (struktury) lub wybudowaniem dodatkowej przeszklonej elewacji tzw. podwójnej fasady. W budownictwie jednorodzinym przestrzeń buforową stanowią oszklone werandy, dobudowane szklarnie, balkony czy loggie. W budynkach wielorodzinnych, o wielu kondygnacjach, rozwiązania pasywne z przestrzenią buforową mogą stanowić przeszklone balkony, loggie, gdzie przeszklenie może występować w sposób ciągły na całej wysokości budynku (rys. 1).



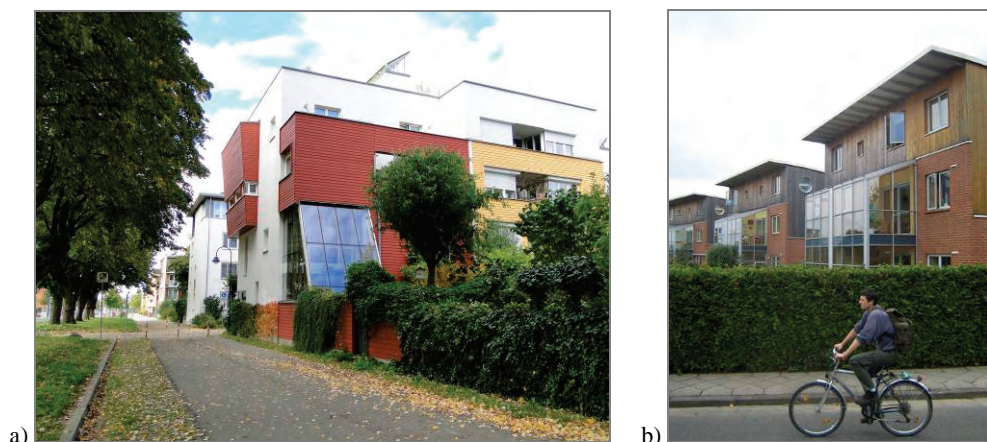
Rys. 1. Przeszklona zabudowa loggii na całej wysokości budynków wielorodzinnych. Drezno, fot. J. Biedrońska

Systemy pasywne stosuje się w celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania pomieszczeń. Jednakże, zastosowanie systemów pasywnych to nie tylko wprowadzenie większej ilości oszklonych powierzchni, to także wykorzystanie odpowiednich elementów struktury budynku jako kolektora ciepła, elementów służących akumulacji ciepła i dystrybucji pozyskanej energii cieplnej.

Przestrzeń buforowa wykorzystuje połączenie dwóch systemów pozyskiwania ciepła: systemu zysków bezpośrednich i ściany akumulacyjnej. Przeszklona część jest ogrzewana promieniowaniem słonecznym w sposób bezpośredni natomiast zadaniem wspólnej ściany jest magazynowanie zebranego ciepła i jego rozprowadzenie do reszty budynku. Jak sama nazwa wskazuje przestrzeń buforowa spełnia funkcję bufora, w tym przypadku cieplnego. Z jednej strony jest łącznikiem pomiędzy otoczeniem zewnętrznym a ogrzewaną przestrzenią, z drugiej zaś strony jej rolą jest odgradzenie ogrzewanego pomieszczenia od nagłych zmian pogodowych w razie wychłodzenia zimą lub zbytowego przegrzania jej latem. Stosowanie przestrzeni buforowej ma zapewnić osiągnięcie w sposób pośredni zysków słonecznych w wewnętrznym pomieszczeniu, zmniejszenie strat ciepłych i utrzymanie w ogrzewanym pomieszczeniu żądanych warunków mikroklimatu.

## 2. WARUNKI ZASTOSOWANIA PRZESTRZENI BUFOROWEJ

Przeszkłone ściany powinny być pochylone, ponieważ jest to bardziej efektywne jeśli chodzi o pozyskiwanie energii słonecznej. W porównaniu tej samej powierzchni pochylonej z pionową ścianą i płaskim dachem ilość promieni słonecznych docierających do wnętrza jest zdecydowanie większa w tej pierwszej. Nachylenie ścian zewnętrznych jest najbardziej efektywne, gdy w naszej szerokości geograficznej zawiera się między 45 a 65 stopni (rys. 2a). Jednak biorąc pod uwagę występujące niekorzystne zjawisko przegrzewania latem na pochyłych powierzchniach oraz zmniejszenie powierzchni użytkowej szklarni i innych utrudnień, rozwiązaniem optymalnym jest stosowanie ścian pionowych ze spadzistym przeszklonym dachem (rys. 2b).



Rys. 2. Przykłady rozwiązań oszklonych przestrzeni buforowych: a) wbudowana pod kątem, b) dostawiona pionowa płaszczyzna zewnętrznej przegrody. Freiburg, Niemcy, fot. J. Biedrońska

W polskich warunkach klimatycznych w celu poprawienia wydajności bufora cieplnego przestrzeń ogrodu zimowego należy wbudować do wnętrza budynku. Takie usytuowanie eliminuje konieczność stosowania przeszklonych powierzchni poziomych lub pochylonych, które latem są znacznie bardziej napromieniowywane niż pionowe, a zimą charakteryzują się znacznie większymi stratami ciepła. Wynika to z faktu, że większa powierzchnia kontaktuje się z otoczeniem zewnętrznym o niskich temperaturach, a jednocześnie powierzchnie poziome i pochylone w większym stopniu „widzą” nieboskłon pozorny niż pionowe, co intensyfikuje wymianę ciepła przez promieniowanie [1].

W tradycyjnej architekturze polskiej budynki budowane zgodnie ze sztuką budowlaną i tradycją rzemieślniczą wykorzystywały naturę a zwłaszcza słońce, gdzie przestrzenie buforowe występowały w postaci przeszklonych werand, ganków usytuowanych od strony południowej, były zadaszone (rys. 3).





Rys. 3. Przestrzeń buforowa w tradycyjnym budynku góralskim w postaci zadaszonych werand.  
Istebna, fot. J. Biedrońska

Aby uzyskać jak najkorzystniejszy efekt docierania promieni słonecznych do ściany akumulacyjnej przeszklenie powinno być ukierunkowane na południe z dopuszczalnym odchyleniem od tego kierunku do 30%. Jeśli jednak takie ukształtowanie przestrzeni buforowej ma spełniać funkcję kolektora, to szklenie od strony wschodniej i zachodniej powoduje dodatkowe straty ciepła przez to oszklenie, a także straty promieniowania słonecznego poprzez odbicie od ścian wewnętrznych. Dodatkowo orientacja zachodnia ma niekorzystny wpływ, bowiem latem następuje przegrzewanie się pomieszczeń, jeśli nie posiadają przesłon.

Udział zysków słonecznych w bilansie cieplnym budynku zależy od rodzaju, właściwości i wielkości komponentów pełniących w budynku funkcję pasywnego kolektora energii. Zastosowanie właściwych rozwiązań strukturalno-materiałowych przegród pozwala na realizację procesów pochłaniania i akumulowania ciepła.

Rodzaj użytych materiałów powinien być dostosowany do korzyści, jakie daje zastosowanie strefy buforowej w budynku. Oszklenie zewnętrzne przestrzeni buforowej może składać się z kilku warstw o różnych właściwościach polepszających izolacyjność okien. Zwiększenie ilości warstw zmniejsza możliwość docierania promieni słonecznych. Na podstawie badań i porównań parametrów: rodzaju szklenia, ilości szyb, profili, współczynnika przenikania ciepła, współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego i zysków energetycznych stwierdzono [5], że stosowanie okien z powłokami selektywnymi pozwala na zmniejszenie strat ciepła, ale jednocześnie przyczynia się do zmniejszenia zysków ciepła od energii słonecznej. Największymi zyskami ciepła od promieniowania słonecznego charakteryzowały się oszklenia z szybami zwykłymi, bez dodatkowych powłok selektywnych i profilu 2 i 3 komorowym.

Ważnym elementem przestrzeni buforowej jest przegroda akumulująca, czyli ściana między częścią przeszkloną a wewnętrznym pomieszczeniem w budynku. Ściana

mająca zdolność pochłaniania nadwyżki słonecznych zysków w dzień i oddania jej w porze nocnej. Materiałami stosowanymi są kamień, beton cegła. Podłoga na gruncie izolowana termicznie w strefie szklarni powinna posiadać właściwości akumulacyjne być np. pokryta wylewką betonową.

Dla architekta poza atrakcyjnością dodanej szklarni i jej funkcją użytkową istotnym jest, przy jakich rozwiązaniach materiałowo-konstrukcyjnych dodanie strefy przyniesie oszczędności energetyczne dla wnętrza budynku. Przegroda cieplna między szklarnią a budynkiem ma umożliwić absorpcję i akumulację promieniowania słonecznego oraz przewodzić uzyskaną energię do wnętrza budynku i wówczas powinna być wykonana z materiału o dużej gęstości i wysokiej przewodności cieplnej. Określenie struktury przegród akumulacyjnych, ich grubości, powierzchni elementów, wskazań materiałowych o właściwej pojemności cieplnej wystarczającej do wchłonięcia nadwyżki słonecznych zysków ciepła w dzień i oddania jej w porze nocnej jest niełatwym zadaniem projektanta i wymaga wiedzy popartej doświadczeniami eksploatacyjnymi. Na podstawie wniosków wynikających z dotychczasowego zastosowania i użytkowania, właściwym jest zachowanie stosunku powierzchni przegród akumulacyjnych do powierzchni południowych okien nie mniejszym niż 6:1 [2]. Wzrost pola powierzchni okien w ścianie rozdzielającej szklarnię i budynek pociąga za sobą wzrost strat cieplnych z ogrzewanej strefy.

Zasięg oddziaływania ciepła zgromadzonego w elementach akumulujących ma zasięg lokalny i ogranicza się do stref przyległych. Otwarta przestrzeń poza przegrodą rozdzielającą, ułatwia przepływ ciepła do wnętrza, sprzyja oszczędności energii i zmniejsza ryzyko przegrzewania. Wpływa to na przyjęcie strategii strefowania termicznego w rozwiązaniach układu funkcjonalno-przestrzennego budynku. Pomieszczenia rozmieszcza się zgodnie z wymogami temperaturowymi: od południa pomieszczenia wymagające najlepszego nasłonecznienia, od północy pomieszczenia niewymagające ogrzewania w takim stopniu (gospodarcze, pomieszczenia używane okresowo).

Innym często spotykanym rozwiązaniem opartym na zyskach pośrednich są szklarnie wydzielone z przestrzeni wewnętrznej izolowanymi termicznie ścianami. Budynki wykorzystujące bierny sposób pozyskiwania energii słonecznej do ogrzania powinny także charakteryzować się małymi stratami ciepła. Straty przez przenikanie zależą w znacznym stopniu od ciepłochronnych właściwości przegród zewnętrznych. Należy uwzględnić, że podczas długich okresów niskich temperatur i słabego promieniowania słonecznego w naszych warunkach klimatycznych przegroda ta powinna chronić skutecznie wnętrze przed dużymi stratami energii. Udział zysków ciepła od nasłonecznienia jest tym większy im mniejsze są straty a więc zastosowanie skutecznej izolacji termicznej zapewnia dobrą ochronę ogrzewanego wnętrza.

Wpływ izolacyjności cieplnej ściany pomiędzy szklarnią a budynkiem na zużycie energii w strefie ogrzewanej potwierdziły wyniki badań mówiące, że zapotrzebowanie na ciepło w strefie przylegającej bezpośrednio do oszklonej strefy zmniej-

sza się wraz ze spadkiem wartości współczynnika przenikania ciepła ściany rozdzielającej [3].

W wyniku badań symulacyjnych dotyczących wpływu przeszklonej strefy buforowej na bilans cieplny budynku (przy użyciu programu Energy Plus) stwierdzono, że [3]:

- Dodanie oszklonej strefy buforowej do południowej ściany budynku przynosi zauważalne oszczędności energetyczne dla wnętrza budynku.
- Istotnym czynnikiem wpływającym na efektywne zyski jest wysoka izolacyjność termiczna ściany pomiędzy szklarnią a ogrzewanym pomieszczeniem przy intensywnej wymianie ciepła pomiędzy obydwoma strefami.
- Umieszczenie dużych powierzchni przeszklonych w izolowanej termicznie ścianie obniża zyski energetyczne budynku.
- Podwyższona w stosunku do otoczenia temperatura powietrza w szklarni w chłodnym okresie roku, pozwala na jej długotrwałe użytkowanie bez dodatkowego ogrzewania.

Możliwość uzyskania oszczędności energetycznych wiąże się z koniecznością wymuszonej wymiany powietrza pomiędzy strefami, zastosowania właściwej wentylacji tak by połączona była funkcja pozyskiwania energii promieniowania słonecznego z ochroną ciepłą budynku oraz utrzymania odpowiedniego mikroklimatu w ogrzewanym wnętrzu. Przewietrzanie termicznie oddzielonej od budynku przestrzeni przeszklonej odbywa się na zasadzie konwekcji uzyskanego z nasłonecznienia ciepła, uwięzionego w postaci energii termicznej na pewien czas a następnie za pośrednictwem otworów i kanałów cyrkulacyjnych przekazana do wnętrza lub wyprowadzona na zewnątrz. Powietrze wewnątrz ogrzewa się i unosi, wytwarzając podciśnienie i zasysając przez dolne otwory powietrze do środka, następnie ogrzane powietrze ze szklarni wyprowadzone zostaje na zewnątrz górnymi otworami. Następuje wymiana powietrza oraz naturalny ruch jego masy ku górze bez zewnętrznych urządzeń wymuszających. W szklarniach przylegających należy latem zagwarantować aż 20–30-krotną wymianę powietrza na godzinę. Optymalne wietrzenie zapewnić mogą otwory cyrkulacyjne o sumarycznej powierzchni od 10–30% powierzchni szklanej. Należy pamiętać, że sprawność działania wentylacji naturalnej zależy od wielu czynników: wielkości i proporcji przestrzeni szklarniowej, warunków naturalnych klimatu warunkujących rozwiązania technologiczne takie jak: wielkość i rozmieszczenie otworów wentylacyjnych nawiewnych i wywiewnych. Każdy projekt wymaga indywidualnego podejścia z uwzględnieniem specyficznych uwarunkowań zewnętrznych.

Przeszklona przestrzeń buforowa wymaga okresowej ochrony przed nadmiernym nasłonecznieniem latem, natomiast w zimie przed stratami pozyskanego ciepła. Najskuteczniejszą ochronę przed przegrzewaniem stanowią elementy przestrzenne zewnętrzne, które odbijają promienie słoneczne, zanim te zetkną się z powierzchnią szklenia. Najbardziej rozpowszechnionym sposobem zabezpieczenia szklanej struktury

ry przed przegrzaniem w okresie letnim jest zastosowanie żaluzji zewnętrznych. Mają one za zadanie ograniczyć bezpośredni dostęp padania promieni słonecznych a ustawione pod odpowiednim kątem lamele powodować ich odbicie, nie ograniczając dostępu światła dziennego. Zimą natomiast ich ustawienie warunkuje maksymalny dostęp kąta padania promieni słonecznych do wnętrza na elementy akumulacyjne (podłoga, ściana) tak, by po zamknięciu żaluzji w porze nocnej chroniły wnętrze szklarni przed utratą zgromadzonego ciepła. Im większa mobilność (regulacja lub samoregulacja tych elementów), tym większa możliwość kontroli dostępu promieni słonecznych do wnętrza budynku. Współczesne rodzaje izolacji mobilnej mogą reprezentować różne rozwiązania technologiczne i materiałowe, tak ze względu na rodzaj, miejsce montowania (na zewnątrz, wewnątrz przeszklenia, od środka), jak i właściwości ochronne: odbijania światła, izolacji termicznej, antywłamaniowe czy wewnętrzne z powłoką refleksyjną odbijającą ciepło do środka.

Odpowiednie kształtowanie architektury z wbudowaną przestrzenią szklarni we wnękach, uskokach budynku poprawia wydajność bufora cieplnego chroniąc masywnymi ścianami przed wpływem zimnego wiatru czy też nadmiernym nasłonecznieniem południowej elewacji w porze letniej.

### 3. WALORY ESTETYCZNE PRZESTRZENI BUFOROWEJ

Ukształtowanie bryły budynku z wkomponowaną przeszkloną strukturą, mającą spełniać funkcję przestrzeni buforowej, stało się rozwiązaniem popularnym i uznanym nie tylko pod względem techniczno-energetycznym, funkcjonalnym, ekonomicznym, ale także estetycznym. Jeszcze do niedawna dodane struktury szklarniowe postrzegane były głównie jako miejsca ogrodów zimowych, służące rekreacji, hodowli roślin, gdzie uwaga skupiona była na powiększeniu powierzchni użytkowej, zastosowaniu prostej konstrukcji o ograniczonych możliwościach technicznych szklenia. W chwili gdy system biernego pozyskiwania energii wpisał się w nurt architektury ekologicznej nastąpił rozwój „architektury słonecznej”, w której przeszklona przestrzeń buforowa odgrywa znaczącą rolę. Struktury szklane wzbogacają bryłę budynku nadając lekkość zwartej zabudowie, dostarczają światło dzienne, przybliżają kontakt z otaczającą przyrodą, dają możliwość utrzymania właściwego mikroklimatu we wnętrzu w porze lata i zimy. Jednocześnie postęp technologii i doświadczeń w zakresie kreowania architektury bioklimatycznej dał podstawę do coraz to nowych nietuzinkowych rozwiązań. Warto zwrócić uwagę na możliwości zastosowań przeszklonej strefy buforowej w przypadku podniesienia wartości estetycznych budynków nowoprojektowanych (rys. 4) oraz istniejących a wymagających działań termomodernizacyjnych, gdzie zabudowa balkonów, loggii, tarasów skutkuje ograniczeniem zapotrzebowania na ciepło.



Rys. 4. Zabudowa loggii w nowo wybudowanym budynku wielorodzinnym. Gdańsk, fot. J. Biedrońska

## 4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA SZKLARNI W BUDYNKU JEDNORODZINNYM

### 4.1. PRZEDMIOT ANALIZY





Przykładowy dom jednorodzinny (projekt J. Biedrońska), parterowy, niepodpiwniczony, o powierzchni całkowitej  $260 \text{ m}^2$ . Od strony południowej dodano przeszkloną zabudowę tarasu pełniącą rolę ogrodu zimowego o powierzchni  $22 \text{ m}^2$ . Dom ogrzewany jest ogrzewaniem gazowym – piecem kondensacyjnym oraz kominkiem. Zewnętrzna obudowa szklarni – profil 5 komorowy: 3 szyby ze szkła zwykłego o współczynnikiem przepuszczalności promieniowania słonecznego  $g = 0,70$ , zabezpieczona przed stratami ciepła w okresie niskich temperatur i przegrzaniem w okresie letnim – żaluzjami zewnętrznymi izolowanymi termicznie poliuretanem ( $U = 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). Ściany zewnętrzne z Porothermu izolowane styropianem gr. 20 cm ( $U = 0,128 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). Podłoga na gruncie przeszklonego tarasu zaizolowana termicznie z wylewką betonową szlifowaną ( $U = 0,146 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).

### 4.2. WPŁYW ZASTOSOWANIA PRZESZKLONEJ STREFY BUFOROWEJ NA CHARAKTERYSTYKĘ ENERGETYCZNĄ BUDYNKU.

Na podstawie analizy porównawczej parametrów, obliczonych za pomocą programu CERTO i zgodnie z procedurą zawartą w [6]: zapotrzebowania na energię pierwotną a także zysków ciepła z nasłonecznienia w miesiącach grzewczych w dwóch wariantach: budynku z tarasem niezabudowanym oraz budynku z zabudową przeszkloną tarasu stwierdza się, że dostawienie szklarni do budynku powoduje, iż wartość zapotrzebowania na energię pierwotną jest o  $9,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$  niższa niż w budynku nieosłoniętym. Obniżenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania w części budynku osłoniętej przeszkloną strefą buforową polega na okresowym ograniczeniu stru-

mienia ciepłego przenikającego przez ścianę pomiędzy szklarnią a wnętrzem w wyniku zmniejszenia różnicy temperatur, absorpcji promieniowania ciepłego we wnętrzu „ogrodu zimowego” oraz na konwekcyjnej wymianie powietrza pomiędzy obydwoma strefami [3].

Tabela 1. Zestawienie dwóch wariantów budynku z podaniem wartości EP oraz Sol, oprac. własne

Budynek z tarasem niezabudowanym	Budynek z przeszkloną zabudową tarasu
	
	
Powierzchnia całkowita 260 m <sup>2</sup>	Dodana przeszklona zabudowa tarasu o powierzchni 22 m <sup>2</sup> . Powierzchnia całkowita 282 m <sup>2</sup>
Zapotrzebowanie na energię pierwotną $EP = 73,71 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$	Zapotrzebowanie na energię pierwotną $EP = 64,08 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$
Zyski ciepła ze słońca $Q_{\text{sol}} = 4856,66 \text{ kWh}/\text{rok}$	Zyski ciepła ze słońca $Q_{\text{sol}} = 7274,74 \text{ kWh}/\text{rok}$

## 5. PODSUMOWANIE

W warunkach klimatycznych Polski powinno się promować projektowanie domów pozyskujących ciepło słoneczne w pasywnym sposobie pozyskiwania energii. Idea stosowania przeszklonych przestrzeni buforowych w budynkach, w warunkach pol-

skich wpisuje się w kierunku rozwoju budownictwa energooszczędnego z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Określenie charakterystyki energetycznej budynku na etapie sporządzania projektu architektoniczno-budowlanego daje możliwość prognozowania zapotrzebowania na energię. Udziałem projektanta jest zapewnienie maksymalnego wykorzystania do celów grzewczych zysków ciepła od nasłonecznienia przez okna i elementy przezroczyste z uwzględnieniem zdolności budowlanych przegród wewnętrznych do akumulowania i rozprowadzenia uzyskanego ciepła w przestrzeni wewnętrznej. Artykuł zawiera wskazania do zastosowania strefy buforowej w budynku wpływającej korzystnie nie tylko na jego bilans cieplny, jego racjonalną gospodarkę energetyczną, ale też nadaje mu walory estetyczne i funkcjonalne.

#### LITERATURA

- [1] CHWIEDUK D., *Energetyka słoneczna budynku*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2011.
- [2] GAWROŃSKA P., *O oszklonej przestrzeni buforowej*, Świat Szkła, 6/2008, 14–20.
- [3] KISIELEWICZ T., NOWAK K., *Wpływ oszklonej strefy buforowej na bilans cieplny budynku*, Świat Szkła, 9/2008, <http://www.swiat-szkla.pl/component/content/article/1396>, Dostęp: 28.08.2013.
- [4] NIEDZIELKO J., *Energofektywny dom dostępny*, Wydawnictwo Poll©en Spółka z o.o., Warszawa 2012.
- [5] WILK-SŁOMKA B., *Wpływ zastosowania pasywnych systemów pozyskiwania energii słonecznej na charakterystykę energetyczną budynku jednorodzinnego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59, nr 2/2012/II, 855–862.
- [6] Rozporządzenie MI, Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1240 z późniejszymi zmianami.
- [7] *Program komputerowy do certyfikacji energetycznej budynków CERTO*, Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska.

#### GLAZED BUFFER ZONE AS AN INDIRECT SOLAR GAIN SYSTEM

The concept of ecological building takes into account the energy-saving techniques and the application of renewable energy sources. The most effective way for the energy savings in buildings is the utilization of the natural light and thermal energy of the sun together with the wind energy. This can be done in a direct, natural way without usage of any mechanical systems. This method is also known as a passive method. Indirect solar gain system with buffer space is recommended for its application in a moderate climate. The design of a buffer space as a glazed structure guarantees not only significant reduction of the energy consumption for heating, but also adds aesthetical and functional values to a building. The study contains the basic, approach to design of a buffer space and a possibility of taking advantage of energy benefits from sunny radiation as a passive collector of heat in the case of one-family house.

## ROZDZIAŁ XI

# SZKŁO I ŚWIATŁO W ARCHITEKTURZE. ESTETYKA I ZASTOSOWANIE SZKLANYCH SYSTEMÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH

Alina BUDZYŃSKA\*

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat szkło artystyczne i szkło jako materiał budowlany uległo dużym przeobrażeniom. Zmiany te zapoczątkowało kilka wynalazków w dziedzinie materiałoznawstwa. Powstały nowe rozwiązania, które wpłynęły na poprawę izolacyjności oraz przepuszczalności światła i redukcję poszczególnych zakresów widma. Kolejnym etapem było przystosowanie przegrody szklanej do pozyskiwania energii cieplnej i energii elektrycznej. Równocześnie do świata architektury zaczęły wkraczać systemy multimedialne, które zmieniły sposób myślenia o elewacji, poszerzając artystom i architektom pole działania. Prezentowane w publikacji szklane i systemy należą do pogranicza sztuki i techniki, a jednocześnie mają związek z architekturą energooszczędną i pasywną.

Słowa kluczowe: *szkło, szkło artystyczne, architektura, szkło niskoemisyjne, systemy fotowoltaiczne, systemy multimedialne, ochrona przeciwsłoneczna*

### 1. WSTĘP

Niniejsza praca przedstawia zagadnienia związane z przenikaniem się architektury i sztuki w kontekście rozwoju technologicznego. Prezentuje właściwości, uzasadnienie użycia i możliwości estetyczne szklanych systemów ekologicznych. Opracowanie skupia się na estetyce szklanych systemów, oraz ich powiązaniu ze sztuką. Na samym początku tekstu zaprezentowane zostały podstawowe techniki szkła artystycznego oraz ich możliwości kompozycyjne. W pracy zostały przytoczone realizacje z architektury światowej w różny sposób wykorzystujące transparentne systemy izolacyjne, systemy fotowoltaiczne i elewacyjne systemy multimedialne. Zostały przedstawione przykłady zastosowania połączeń elewacyjnych systemów multimedialnych zintegrowanych z fotowoltaiką, szklanych systemów multimedialnych połączonych z transparentną izolacją i szklane systemy multimedialne stosowane we wnętrzach budynku.

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Wroclawska, ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.



## 2. SZKŁO ARTYSTYCZNE

Znaczenie szkła w architekturze związane jest z funkcją, jaką odgrywa w budynku. Jako przegroda zewnętrzna jest filtrem dla światła, a więc pośrednio wpływa na odbiór przestrzeni. Decyduje też o powiązaniu wnętrza z otoczeniem. Szkło artystyczne dodatkowo wzbogaca przestrzeń o wartości estetyczne. W zależności od decyzji artysty mogą być to wartości malarskie i graficzne; kolor, walor, faktura. W zależności od rodzaju i natężenia światła oraz dobranych przez artystę środków wyrazu w przestrzeni tworzy się unikalny spektakl zmieniający się w zależności od pory dnia i roku. Oddziaływanie światła i szkła artystycznego na przestrzeń nie jest jednostronne. Jest to rodzaj interakcji, procesu, w którym równie silne jest oddziaływanie elementów z otaczającej przestrzeni na obrazy zatrzymane w szkłe. W zależności od gładkości powierzchni, transparentności i koloru sposób oddziaływania jest inny. Duże znaczenie w odbiorze ma obrazowość malatury, a więc jej forma i kształt oraz warstwa znaczeniowa.

Pierwotną formą szkła artystycznego był witraż. Wraz z rozwojem techniki pojawiły się nowe możliwości łączenia ze sobą fragmentów szkła oraz powstały techniki realizacji monolitycznych bez konieczności łączenia fragmentów szkła za pomocą taśmy ołowiowej. Obecnie szkło artystyczne jest jedną z najbardziej rozwijających się dziedzin sztuki. Posiada duże możliwości techniczne i medialne. Dobrze prezentuje się w projektach konserwatorskich i znakomicie koresponduje z architekturą nowoczesną. Odświeża wizualnie przestrzeń, dlatego często wykorzystywane jest przy rewitalizacji architektury współczesnej. Świetnie wpisuje się w wizualne oczekiwania współczesnego odbiorcy. Na przestrzeni kilkunastu ostatnich lat ubiegłego wieku powstało wiele nowych materiałów, wysoko- i niskotemperaturowych technik obróbki szkła artystycznego oraz nowe możliwości zabezpieczania szkła. Techniki takie jak szkło emaliowane i sitodruk zyskały nowe znaczenie dzięki możliwościom związanym z ich stosowaniem w dużych formatach. Dużą rolę w rozwoju tej dziedziny odegrał wzrost dostępności pieców fusingowych. Doprowadziło to do rozpowszechnienia się technik wysokotemperaturowych: fusingu, slumpingu i szkła reliefowego. Przełomem okazało się wynalezienie szkła laminowanego. Wraz z powstaniem tej technologii, pojawiły się możliwości łączenia kilku arkuszy szkła bez użycia linii ołowiowej i obróbki temperaturowej. Duże znaczenie dla rozwoju monolitycznego szkła artystycznego miało powstanie materiałów umożliwiających stosowanie technik sitodruku na szkłe wykorzystujących tradycyjny sprzęt do serigrafii. Artyści najczęściej łączą technikę sitodruku z nakładanymi ręcznie warstwami emalii. Punktem zwrotnym w dziedzinie szkła artystycznego stało się opracowanie urządzeń drukujących i plotujących na szkłe. Technologia ta pozwoliła na realizacje wydruków kryjących i półkryjących i dała możliwość precyzyjnego odtworzenia projektowanych malatur opracowanych wcześniej cyfrowo. Inną techniką wykorzystującą cyfrowy wydruk i dającą podobne rezultaty jest wydruk „pod szkło”, tzn. wydruk na foliach transparentnych i półtransparentnych, które potem laminuje się nakładając z dwóch stron warstwę ochronną

szkła. Przełomem okazało się wykorzystanie systemów ledowych multimedialnych w elewacji budynku i oledowych we wnętrzu budynku.

### 3. SZKŁO BUDOWLANE

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat parametry szkła budowlanego uległy dużym przeobrażeniom. Zmiany te zapoczątkowało szereg wynalazków w dziedzinie materiałoznawstwa. Nowe materiały i technologie poszerzyły artystom i architektom pole działania, dając im większą swobodę pracy. Technolodzy opracowali kilka kolejnych typów szkła budowlanego poprawiając jego właściwości tzn. czystość, przepuszczalność światła, przewodnictwo energetyczne i elektryczne. Zmiany te rozpoczęła w latach 50. XX w. firma Pilkington opracowując technologię produkcji szkła float. Na bazie tego materiału powstały kolejne jego odmiany, Optiwhite i Superwhite, które z kolei stały się podstawą do stworzenia kolejnych produktów. Szkło Optiwhite dzięki obniżonej zawartości żelaza zyskało wysoką przepuszczalność światła. Ta własność wykorzystywana jest w systemach szkieł laminowanych. Szkło to charakteryzuje się wysoką transmisją energii, przez co używane jest często w systemach fotowoltaicznych. Dzięki nowym technologiom nieustannie poszerza się oferta materiałów i produktów przeznaczonych do użycia bezpośrednio w architekturze. Powstały zarówno materiały wykorzystujące wizualną atrakcyjność szkła, jak i zaawansowane technologicznie produkty, wykorzystujące technicznie jego fizyczne właściwości.

#### 3.1. SZKŁO I SYSTEMY NISKOEMISYJNE

Na przełomie XX i XXI wieku opracowano szereg rozwiązań wpływających na poprawę izolacyjności szkła oraz redukcję poszczególnych zakresów widma światła. Kolejnym etapem było przystosowanie przegrody szklanej do pozyskiwania energii cieplnej i energii elektrycznej. Możliwości te wykorzystywane są przez artystów i architektów w kreowaniu przegród szklanych o walorach estetycznych. Zastosowanie szklanych systemów izolacyjnych pozwala na projektowanie „budynków transparentnych” nie tylko o dużych walorach estetycznych, ale i odpowiedniej ochronie termicznej, co ma wpływ na komfort użytkowania i koszty eksploatacji. Stosowanie energooszczędnych rozwiązań wpływa bezpośrednio na zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. Badania wykazały, że różnice mogą być nawet kilkukrotne<sup>1</sup>. W większości przypadków

---

<sup>1</sup> Przykładowy dom o powierzchni 100 m<sup>2</sup> i powierzchni okien 20 m<sup>2</sup> ogrzewany elektrycznie emituje w zależności od rodzaju przeszklenia: szkło dwuwarstwowe – 930 kg/rok, szkło zespolone – 460 kg/rok, szkło zespolone z powłoką niskoemisyjną i przestrzeni wypełnionej powietrzem – 275 kg/rok, szkło

stosowane są rozwiązania standardowe, między innymi szyby zespolone podwójne lub potrójne wypełnione gazem szlachetnym, który oprócz właściwości termicznych stanowi barierę akustyczną. Bardziej efektywne systemy używają jednostronnych lub dwustronnych powłok niskoemisyjnych. Niewidoczna warstwa metali szlachetnych przepuszcza krótkie fale promieniowania słonecznego, a jednocześnie stanowi barierę dla fal długich, ograniczając w ten sposób straty ciepła. Niektóre firmy zajmujące się projektowaniem i komponowaniem niskoemisyjnych przegród szklanych mają w swojej ofercie możliwość zaprojektowania i realizacji szkła artystycznego [5]. Oprócz ochrony termicznej, przeciwsłonecznej, akustycznej i ochrony przed promieniowaniem UV, oferują zastosowanie szkła giętego, szkła powlekanego emaliami i trawionego kwasem. Szkło izolacyjne może być przystosowane do specyficznych wymogów bezpieczeństwa, począwszy od bezpiecznego szkła hartowanego, laminowanego odporne na uderzenia, aż po szkło kuloodporne. Realizacje wykonane technikami wysokotemperaturowymi prowadzącymi do naruszenia powierzchni i struktury szkła np. szkło reliefowe i fusing jest dokładane od wewnątrz, jako dodatkowa warstwa nie związana z systemem szklenia. Jednym z nietypowych rozwiązań szkła niskoemisyjnego jest transparentna izolacja termiczna wykonana ze szkła argonowego. Jest to materiał składający się z systemu rurek produkowany w kilku wariantach. Dostępne są maty transparentne w różnych kolorach i maty o różnym nachyleniu kapilar (rys. 1a). Systemy tworzone przy udziale tego materiału wykorzystywane są w budownictwie ekologicznym i domach pasywnych. Zastosowanie kapilarnych płyt ma wiele zalet: bardzo dobrą izolację cieplną<sup>2</sup>, optymalną i jednolitą przepuszczalność światła, ochronę przed promieniowaniem UV [6]. Właściwości te pozwalają na projektowanie przepuszczających światło ścian półtransparentnych. Przepuszczalność światła i stopień rozproszenia światła, a więc i ochrona przed oślepieniem mogą być dostosowane do indywidualnych wymagań budynku.

Przykładem zastosowania izolacji kapilarnej jest kompleks muzeum oceanograficznego Cité de l’Ocean et du Surf w Biarritz we Francji. Budynki zlokalizowane zostały w bliskim sąsiedztwie morza, ukształtowaniem terenu nawiązują do otaczającego krajobrazu. Pomieszczenia muzeum zlokalizowane są głównie pod ziemią. Naziemna część kompleksu – szklane pawilony zostały pokryte szklaną powłoką w przeważającej części wypełnioną kapilarną płytą w systemie Kafilux. Szkło izolacyjne rozprasza równomiernie światło dzienne dostające się poprzez ściany do wnętrza (rys. 1b), przez co unika się konieczności sztucznego doświetlenia wnętrz w czasie dnia. O zmroku budynki podświetlone od środka stanowią iluminację świetlną i dominują w krajobrazie (rys. 1c). Wykorzystanie szkła kapilarnego wpływa na efektywność energetyczną i komfort użytkownika.

---

zespolone z powłoką niskoemisyjną i przestrzeni wypełnionej argonem – 210 kg/rok, szkła zespolone z powłoką niskoemisyjną i przestrzeni wypełnionej kryptonem – 140 kg/rok [4].

<sup>2</sup> Współczynnik przenikania ciepła może osiągać do 0,8 W/m<sup>2</sup> K [4].



Rys. 1. Budynek Cite de l'Océan et du Surf, Steven Holl Architects:  
a) izolacja transparentna Kapilux [10], b) fragment wnętrza [11], c) budynek z zewnątrz [11]

Izolujące płyty kapilarne używane są w połączeniu z systemem paneli szklanych Linit, dostępnym w różnych kolorach, fakturach<sup>3</sup>, wersji float, optiwhite i szkła wzmocnionego termicznie. Samonośne panele osiągają rozpiętości do 7m bez dodatkowej konstrukcji wspomagającej, wytrzymując ciężar własny, napór wiatru i dodatkowe obciążenia. Właściwości termiczne uzależnione są od grubości płyt izolujących i rodzaju użytego szkła. Współczynnik przenikania ciepła przegrody z zastosowaniem płyty kapilarnych TWD kształtuje się w granicach 0,7–1,5 W/m<sup>2</sup>K, współczynnik przepuszczalności energii całkowitej 49–61% [2]. System może być stosowany wertykalnie i horyzontalnie, wypełniony izolacją kapilarną, stosowany jest w miejscach gdzie wskazane jest użycie światła rozproszonego tzn. w halach sportowych, pracowniach, warsztatach i pomieszczeniach wystawowych.

Panele kapilarne wykorzystywane są do tworzenia przepuszczających światło ścian wielofunkcyjnych połączonych z multimedialnymi systemami. Przykładem takiego rozwiązania jest budynek firmy Chanel w Tokio, łączący funkcję biurową z funkcją reprezentacyjną i wystawową. 56-metrowa ściana kurtynowa stanowi multimedialny ekran składający się z 700 000 diod ledowych [7]. Budynek jest przykładem integracji technologii LED w ścianie osłonowej. Izolacja kapilarna umożliwia doświetlenie pomieszczeń biurowych naturalnym światłem przy jednoczesnych projekcjach multimedialnych np. transmisjach z wybiegu odbywających się w środku obiektu.

<sup>3</sup> Jedną z opcji jest szkło pryzmatowe Solarprismat.

### 3.2. PRODUKCJA CIEPŁA

Kolejną dziedziną wykorzystującą kapilarne maty szklane są systemy przeznaczone do wspomagania ogrzewania budynków. Systemy te zostały w całości wykonane z różnych typów szkła i stosowane są jako okładziny zewnętrzne budynku. Okładzina Kapilux-TWD składa się z systemu kapilarnych rurek zamkniętych hermetycznie w panelach szklanych wypełnionych gazem obojętnym. Energia słoneczna przenikając przez transparentną izolację, ogrzewa ścianę absorbującą, umieszczoną za panelami. Energia cieplna przekazywana jest dalej do przylegających pomieszczeń. Decydujący wpływ na sprawność energetyczną systemu mają dobra izolacyjność cieplna i wysoki poziom słonecznej transmisji paneli. Najwyższą wydajność system osiąga w budynkach zlokalizowanych w klimacie chłodnym o dużym nasłonecznieniu. Czynniki wpływającymi na efektywność są: zacienienie budynku, usytuowanie w stosunku do stron świata. Istotny jest udział w powierzchni fasady w stosunku do całkowitej powierzchni elewacji<sup>4</sup>, oraz gęstość ściany zewnętrznej<sup>5</sup> [12]. Prawdłowo zainstalowane systemy produkować zyski energetyczne 100–150 kWh/m<sup>2</sup>, co odpowiada 10–15 l/m<sup>2</sup> paliwa rocznie. Współczynnik przenikania ciepła osiąga 0,65 W/m<sup>2</sup>K przy współczynniku przepuszczalności energii całkowitej 62% [3].

### 3.3. OCHRONA PRZECIWSŁONECZNA

Kolejną dziedziną wykorzystującą szkło w architekturze są systemy przeciwsłoneczne. Oprócz standardowych rozwiązań polegających na barwieniu w masie czy powlekanii powłoką refleksyjną z metali szlachetnych, na uwagę zasługuje materiał zwany szkłem pryzmatowym. System używany jest w celu zoptymalizowania wpływu słońca na przestrzeń w budynkach o dużych powierzchniach przeszkleń. Za jego pomocą można regulować nasłonecznienie wnętrza budynku w zależności od pory roku. Dzięki systemowi pryzmatów fale elektromagnetyczne są odbijane lub przekazywane do wnętrza budynku. Promieniowanie słoneczne działające bezpośrednio na fasadę może być zredukowane latem nawet o 90%, zimą do 10%. Jednocześnie promieniowanie dyfuzyjne przepuszczane jest w 70% [3]. Szkło pryzmatowe jest jedną z powłok systemu Linit i może być stosowany jako okładzina w postaci samonośnych paneli o długości do 9 m.

## 4. FOTOWOLTAIKA

Badania nad pozyskiwaniem energii elektrycznej z energii słonecznej mają już półwieczną tradycję. Początkowo do produkcji ogniw fotowoltaicznych wykorzysty-

---

<sup>4</sup> Optymalnie 25–40%.

<sup>5</sup> Optymalnie  $\rho \geq 1200$  kg/m<sup>3</sup>.

wane były materiały mineralne nieorganiczne np. german, krzem, arsenek galu, krzem amorficzny i jego stopy, tellurek kadmu i selenek indowo-miedziowy. Wydajność komercyjnych ogniw zbudowanych z tych materiałów wynosi około 12%. Estetyka i parametry ogniw fotowoltaicznych ulegają nieustannym zmianom. Ogniw krzemowe mono- i polikrystaliczne stosowane są głównie w zintegrowanych panelach laminowanych. Oprócz standardowego koloru niebieskiego, na rynku dostępne są ogniw w różnych kolorach<sup>6</sup>. Do zabezpieczenia ogniw oraz integracji z przeszkleniem budynku używa się laminatów; płynnych żywic oraz termoplastycznych materiałów EVA [9]. Pojawienie technologii BIPV<sup>7</sup> połączone było z natychmiastową reakcją świata sztuki. Rozpoczęto eksperymenty zmierzające do integracji ogniw fotowoltaicznych z różnymi technikami szkła artystycznego. Na rynku pojawiły się opracowania przedstawiające propozycje łączenia różnych technik szkła emaliowego z systemami fotowoltaicznymi.



Rys. 2. Budynek firmy ZARA w Kolonii: a) polikrystaliczne ogniw krzemowe, b) okładzina ścienna, c) fasada wentylowana, fot. A. Budzyńska

Na bazie krzemu amorficznego powstały ogniw semitransparentne. Przezierność ogniw jest bardzo zróżnicowana i waha się od 0–50%. W przypadku komponentów o wysokiej transparentności stosuje się je równomiernie na całości przeszklenia [8]. Systemy te stosowane są w zewnętrznych przegrodach pionowych i poziomych, a więc świetlikach i zadaszeniach szklanych.

<sup>6</sup> Np. Firma Lof Solar produkuje ogniw w nanotechnologii dostępne w 15 kolorach.

<sup>7</sup> Building Integrated Photovoltaics.

Początkowo były to ogniwa krzemowe mono- lub polikrystaliczne (rys. 2a) układane w kompozycje. Pojawiły się również realizacje wykorzystujące atrakcyjność estetyczną ogniw i traktujące je jako okładzinę ścienną lub dachową. Jednym z takich rozwiązań jest budynek firmy ZARA w Koloni (rys. 2b). W elewacji wentylowanej fasady domu handlowego (rys. 2c) zastosowano polikrystaliczne ogniwa krzemowe. Przykładem umieszczenia ogniw w powierzchni okładziny dachowej jest kościół Saint-Léger w Manspach. Do pokrycia dachu użyto łupku fotowoltaicznego na bazie krzemu monokrystalicznego wyprodukowanego przez firmę Saint Gobain. Przełomem okazały się badania i wynalazki związane z produkcją ogniw organicznych.



Rys. 3. Przedszkole Katolickie w Dreźnie, Architektengemeinschaft Reiter und Rentzsch:  
a) budynek z zewnątrz, b) wnętrze, c) szkło laminowane [14]

Materiałami wykorzystywanymi w organicznej fotowoltaice są polimery. Wydajność ogniw molekularnych i polimerowych osiągnęła wartość 6%–11% [15]. Ogniwa organiczne posiadają wiele zalet wykorzystywanych w integracji ze szklanymi przegrodami, są lekkie, giętkie i mogą osiągać znaczną przejrzystość. Ich podstawową zaletą jest niewielka grubość, co ułatwia i optymalizuje laminowanie. W procesie tym można zastosować kilka arkuszy szkła artystycznego, które po zestawieniu utworzą jednolitą przegrodę pełniącą nie tylko funkcję techniczną w budynku, ale posiadającą walory estetyczne. Przykładem takiej realizacji jest Ekologiczne Przedszkole w Dreźnie (rys. 3a). Układ cienkościennych ogniw amorficznych został zestawiony z malaturą emaliową na szkło (rys. 3b). Oba elementy zostały połączone w technologii szkła laminowanego (rys. 3c), zespolone z dodatkową szybą zabezpieczającą i wypełnione gazem szlachetnym.

## 5. SYSTEMY MULTIMEDIALNE

Systemy multimedialne mają już dwudziestoletnią tradycję. Nowością stały się badania i realizacje systemów multimedialnych o niskim zapotrzebowaniu energetycznym w połączeniu z systemami fotowoltaicznymi. Przełomową realizacją jest budynek Greenpix Zero Energy Media Wall w Pekinie będący fragmentem kompleksu rozrywkowego zlokalizowanego w pobliżu miejsca rozgrywania się Igrzysk Olimpijskich 2008. Realizacja jest przykładem integracji technologii mediów cyfrowych w ścianie osłonowej. Jednocześnie budynek jest największym na świecie kolorowym wyświetlaczem ledowym zintegrowanym z systemami fotowoltaicznymi, pozwalającym na całkowitą niezależność energetyczną. Przetworzone w energię elektryczną światło dzienne wykorzystywane jest do pokazów multimedialnych w nocy. Jedną z młodych dziedzin nauki wkraczających w świat designu jest elektronika organiczna, a więc elektronika drukowana na foliach transparentnych, występująca często w połączeniu ze szkłem laminowanym. Jednym z realizacji prototypowych jest system Elumin8. Jest to układ elektroluminescencyjnych paneli zrealizowany w systemie OLED, wykorzystywany przez architektów i designerów. Niewielkie zapotrzebowanie energetyczne<sup>8</sup> i duże możliwości medialne systemu doprowadziły do powstania realizacji o znacznej wielkości. Jedną z nich jest panel o długości 22 m zrealizowany w siedzibie linii lotniczych British Airways w Londynie na lotnisku Heathrow na terenie nowego terminalu T5 [13]. Panel jest multimedialną realizacją pełniącą funkcję zegara multistrefowego. Zamiast mapy świata opisującej sfery czasowe wyznaczone dla poszczególnych stolic krajów podano czas dla miejsc znanych odnoszących się do wyobraźni turysty.

Prezentowane rozwiązania mogą być wykorzystywane w architekturze ekologicznej i pasywnej, mają duże wartości estetyczne i mogą być łączone ze szkłem artystycznym. Wierzę, że popularyzacja tych materiałów przyczyni się do wzrostu zainteresowania i doprowadzi do realizacji na terenie naszego kraju.

## LITERATURA

- [1] ACHILLES A., BRAUN B., SEGER P., STARK T., VOLZ T., *Glasklar Produkte und Technologien zum Einsatz von Glas in der Architektur*, Deutsche Verlags-Anstalt, München 2003.
- [2] ACHILLES A., BRAUN B., SEGER P., STARK T., VOLZ T., *Glasklar Produkte und Technologien zum Einsatz von Glas in der Architektur*, Deutsche Verlags-Anstalt, München 2003, 136.
- [3] ACHILLES A., BRAUN B., SEGER P., STARK T., VOLZ T., *Glasklar Produkte und Technologien zum Einsatz von Glas in der Architektur*, Deutsche Verlags-Anstalt, München 2003, 91–100.
- [4] BONIKOWSKA M., *Gazy szlachetne w technologii izolacji okien*, Świat szkła, Vol. 7–8, 2006, 65–67.

---

<sup>8</sup> Wyświetlacz o grubości pół mm i długości 22 m zużywa jedynie 700 W energii elektrycznej [13].



- [5] CELADYN W., *Przegrody Przeszkłone w architekturze energooszczędnej*, Wydawnictwo PK, Kraków 2004.
- [6] LASKOWSKI L., *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [7] [http://www.mediaruimte.be/digital\\_territories/projects/programmed/Chanel-Headquarters\\_Peter-Marino-Architects.html?KeepThis=true&TB\\_iframe=true&height=600&width=800](http://www.mediaruimte.be/digital_territories/projects/programmed/Chanel-Headquarters_Peter-Marino-Architects.html?KeepThis=true&TB_iframe=true&height=600&width=800), Dostęp 5.05.2013.
- [8] MUSZYŃSKA-ŁANOWY M., *Ekologia dla oczu*, Świat Szkła, Vol. 7-8, 2011, 14-18.
- [9] MUSZYŃSKA-ŁANOWY M., *Fotowoltaika w kolorze*, Świat Szkła, Vol. 4, 2011, 4-9.
- [10] [http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Downloads\\_englisch/Infotexte/i\\_kapilux\\_e.pdf](http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Downloads_englisch/Infotexte/i_kapilux_e.pdf), Dostęp 28.05.2013.
- [11] [http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Downloads\\_englisch/Referenzen/Datenblaetter/Kapi-lux/F\\_Biarritz\\_Cite\\_du\\_Surf\\_Kapilux7\\_en.pdf](http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Downloads_englisch/Referenzen/Datenblaetter/Kapi-lux/F_Biarritz_Cite_du_Surf_Kapilux7_en.pdf), Dostęp 20.05.2013.
- [12] PLATZER W., *Fassaden zur Solaren Wandheizung – Der Einsatz von Transparenter Wärmedämmung*, Fachseminar Solare Fassaden, 1-8, Freiburg 2002.
- [13] <http://www.printedelectronicworld.com/articles/inorganic-chemistry-used-more-widely-00000980.asp?sessionid=1>, Dostęp 2.06.2013.
- [14] <http://www.reiter-architektur.de/start.php?lang=&content=projekte&sub=kitas&sub2=kiulmen&name=Christliches%20Kinderhaus%20Dresden,%20Ulmenstra%C3%9Fe>, Dostęp 20.06.2013.
- [15] <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BWAH-0006-0024>, Dostęp 23.06.2013.

#### GLASS AND LIGHT IN ARCHITECTURE. AESTHETIC QUALITIES AND APPLICATION OF ENERGY-SAVING SYSTEMS

Over the past twenty years, artistic glass and glass as construction material has been largely transformed. The changes were triggered by several inventions in the field of materials science. New solutions appeared which improved insulation and light transmittance as well as reduction in particular spectral ranges. The next stage was adaptation of glass partitions to acquire thermal and electric energy. In the meantime, multimedia systems started entering the world of architecture, changing the way of thinking about facades. Artists and architects had their field of work broadened. Glass systems presented in this publication come from the area where art and technology cross.

## ROZDZIAŁ XII

# ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWYCH DO ANALIZY WPLYWU ROZWIĄZAŃ ELEWACYJNYCH NA JAKOŚĆ OŚWIETLENIA NATURALNEGO W BIUROWCACH

Dariusz MASŁY\*, Michał SITEK\*

Maksymalne wykorzystanie naturalnego oświetlenia miejsca pracy biurowej, a także skuteczna ochrona przestrzeni pracy przed niechcianymi zyskami ciepła z bezpośredniego promieniowania słonecznego stają się głównymi celami na drodze do obniżenia zużycia energii, otrzymania wysokiej jakości i komfortu użytkowania biurowców XXI wieku. Warunkiem zaprojektowania budynku biurowego o wysokiej jakości jest rozpoznanie wpływu rozwiązań architektonicznych na jakość oświetlenia naturalnego przestrzeni pracy. Tych informacji, na obecnym etapie rozwoju technologicznego, w sposób jednoznaczny dostarczają badania symulacyjne jakości oświetlenia światłem dziennym, wykorzystujące najnowocześniejsze oprogramowanie komputerowe. W opracowaniu przedstawiono wyniki symulacji komputerowych wykonanych dla czterech rodzajów rozwiązań elewacyjnych. Przedmiotem badań było biuro rozwiązane na planie otwartym, znajdujące się w budynku zlokalizowanym w południowej części Polski. W badaniach analizowano takie elementy, jak: wielkość i położenie otworów okiennych, różne rodzaje ochrony przeciwsłonecznej (żaluzje ruchome, poziome żaluzje nieruchome), a także reflektory światła. Do badań symulacyjnych wykorzystano oprogramowanie Autodesk Ecotect i Radiance.

Słowa kluczowe: *oświetlenie światłem dziennym, biurowiec zrównoważony, ochrona przeciwsłoneczna, symulacje komputerowe*

### 1. WSTĘP

Badania przedstawione w opracowaniu stanowią część większego projektu badawczego<sup>1</sup>, poświęconego analizom wpływu architektonicznych rozwiązań projektowych na jakość oświetlenia światłem dziennym miejsc pracy biurowej. W analizach wykorzystywane jest oprogramowanie komputerowe do symulacji oświetlenia natu-

---

\* Politechnika Śląska, Wydział Architektury, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice.

<sup>1</sup> Wyniki dotychczas zrealizowanych części projektu badawczego zostały zaprezentowane i opublikowane w [16, 17, 18].

ralnego. Przedmiotem badań są biurowce zlokalizowane w Polsce południowej. Głównym celem projektu jest opracowanie materiałów na temat projektowania przestrzeni biurowej efektywnie oświetlonej światłem naturalnym i ujęcie głównych wniosków w formie wytycznych projektowych. Analizie poddano między innymi wpływ następujących rozwiązań na jakość oświetlenia: kształt i lokalizacja otworów okiennych, procent przeszklenia elewacji, urządzenia odbijające światło w głąb pomieszczeń, osłony przeciwsłoneczne ruchome. Tematyka przedstawiona w opracowaniu opisuje problem wykorzystania energii słońca, jednego z odnawialnych źródeł energii. Przedmiotem prezentowanych badań symulacyjnych jest wpływ rozwiązań architektonicznych budynku na jakość oświetlenia naturalnego miejsc pracy biurowej. Autorzy chcą podkreślić znaczenie roli badań symulacyjnych wykorzystujących najnowsze oprogramowanie komputerowe w projektowaniu budynków energooszczędnych. Wyniki analiz symulacyjnych umożliwiają wiarygodną ocenę rozpatrywanych rozwiązań architektonicznych, dając podstawy do podejmowania racjonalnych decyzji projektowych. Podejście takie jest nowatorskie w praktyce projektowania architektonicznego w Polsce. Upowszechnienie wiedzy o zastosowanej metodologii może w przyszłości przyczynić się do zwiększenia energooszczędności i przyjazności dla środowiska naturalnego nowoprojektowanych budynków. Obiekty zoptymalizowane pod kątem wykorzystania naturalnego oświetlenia zmieniają nasze otoczenie, wpływając na wizerunek polskiej architektury.

### 1.1. ASPEKT ENERGETYCZNY

Efektywne, wyważone wykorzystanie światła naturalnego przyczynia się do obniżenia zużycia energii na potrzeby wentylacji mechanicznej, ogrzewania i klimatyzacji, a także oświetlenia miejsc pracy światłem elektrycznym.

Wielu naukowców uważa, że za zmiany klimatyczne na Ziemi w znacznym stopniu odpowiedzialna jest emisja gazów cieplarnianych. W tym działaniu swój ogromny, negatywny udział ma użytkowanie budynków w rozwiniętych krajach zachodnich. Przemysł budowlany przyczynia się znacząco do niekontrolowanego zużycia nieodnawialnych zasobów naturalnych. Wznoszenie i użytkowanie budynków są jednymi z głównych czynników odpowiedzialnych za eskalację niekorzystnych zmian w środowisku naturalnym oraz jego niszczenie. Patrząc z tej perspektywy, niezbędne są zmiany w podejściu, przede wszystkim, do projektowania nowych budynków, lecz również modernizowania istniejących. W kwestii budynków biurowych konkretne, dające nadzieję na wymierne efekty, rozwiązania oferuje nowy model rozwoju zrównoważonego [2]. Akcentuje on potrzebę obniżania zapotrzebowania energetycznego, podnoszenia sprawności działania i efektywności użytkowania budynków.

Rozwiązania dla biurowców realizowanych w naszej strefie klimatycznej rysują się jednoznacznie, gdy weźmiemy pod uwagę następujące fakty [15, 20]:

1. Dzięki obowiązującym wymaganiom prawnym (np. regulującym minimalną izolacyjność termiczną przegród zewnętrznych) i stosowaniu nowoczesnych rozwiązań technicznych (np. odzysku ciepła ze zużytego powietrza) nowoczesny biurowiec nawet przy ujemnych temperaturach powietrza zewnętrznego nie wymaga ogrzewania. Udział kosztów jego ogrzewania w całkowitych kosztach eksploatacyjnych jest niski.
2. Głównym składnikiem kosztów eksploatacyjnych we współczesnym biurowcu jest użytkowanie systemów wentylacji mechanicznej, klimatyzacji i oświetlenia elektrycznego. Największą energochłonnością charakteryzują się klimatyzowane, szczelne, szklane biura wielkoprzestrzenne.
3. Koszty klimatyzowania biurowca można znacznie obniżyć nie dopuszczając do penetracji bezpośredniego promieniowania słonecznego do wnętrza budynku. Jest to równoznaczne z eliminacją niekorzystnych w okresie letnim zysków ciepła, będących konsekwencją występowania efektu szklarniowego.
4. Koszty użytkowania wentylacji mechanicznej udaje się skutecznie zredukować dzięki stosowaniu wentylacji hybrydowej [19]. Wentylacja hybrydowa łączy techniczne możliwości naturalnego przewietrzania i wentylacji mechanicznej. Wentylacja naturalna jest wykorzystywana, gdy temperatura zewnętrzna nie przekracza zakresu 10–25 °C. W naszej strefie klimatycznej sytuacja taka występuje w okresie wiosennym i jesiennym. W zimie i lecie, gdy występują ekstremalne dla roku temperatury i wentylacja naturalna nie gwarantuje zapewnienia komfortowych warunków we wnętrzach, uruchamiana jest wentylacja mechaniczna.
5. Efektywne wykorzystanie światła dziennego pozwala znacznie zredukować zapotrzebowanie na oświetlenie elektryczne.
6. Światło dzienne charakteryzuje się największą wydajnością świetlną (miarą sprawności źródła światła). Dla porównania światło dzienne ma średnią wydajność świetlną na poziomie 120 lm/W, natomiast żarówka jedynie 12 lm/W. Oznacza to, że wnętrza biurowe oświetlone światłem sztucznym jest w dużo większym stopniu narażone na przegrzewanie w powodu emisji ciepła przez źródła światła [24].

Podsumowując, maksymalne wykorzystanie potencjału naturalnej wentylacji i oświetlenia światłem dziennym, a także skuteczna ochrona wnętrza budynku przed przegrzaniem bezpośrednim promieniowaniem słonecznym, to sposoby obniżania zapotrzebowania energetycznego, podnoszenia jakości i efektywności użytkowania biurowców XXI w. Podkreślić należy znaczenie wpływu promieniowania słonecznego, jako głównego tematu tego opracowania, na energooszczędność przyszłych budynków. Dla pełnego zobrazowania wagi tego zagadnienia posłużą następujące informacje: najnowocześniejsze biurowce zużywają o 30–40% mniej energii od typowego budynku biurowego końca XX wieku, lecz najnowocześniejsze zrównoważone biurowce zużywają już o 70% mniej energii [14, 20, 25].

## 1.2. ASPEKT JAKOŚCI ŻYCIA

Prawidłowo oświetlone światłem dziennym wnętrza nowoczesnych, zrównoważonych biurowców przyczyniają się do poprawy jakości życia osób w nich przebywających. Również odgrywają znaczną rolę w zwiększeniu wydajności i efektywności pracowników oraz zmniejszeniu liczby nieobecności, będących konsekwencją chorób i infekcji. Środowisko świetlne wpływa na zdrowie, komfort wizualny, samopoczucie i zachowanie człowieka. Wyniki licznych badań pokazały, że organizm ludzki bez odpowiedniej ilości światła dziennego dziennie nie jest zdolny do prawidłowego funkcjonowania [1, 24]. Przez cały XX wiek projektanci byli przekonani, że światło elektryczne gwarantuje odpowiednie warunki pracy w biurach. Jednak na początku XXI wieku doszło do spektakularnego odkrycia w dziedzinie okulistyki. Wydawać by się mogło, wręcz niemożliwego po dwustu latach badań nad budową oka ludzkiego. W latach 2001 i 2002 dwa niezależne zespoły naukowców opublikowały wyniki badań, z których jednoznacznie wynika, że w siatkówce oka ludzkiego znajduje się nieznan wcześniej rodzaj fotoreceptorów (ang. *intrinsically photosensitive receptors in the Retinal Ganglion Cells* – ipRGC) [3, 4]. Do czasu tych publikacji uważano, że znajdują się tam jedynie czopki i pręciki – fotoreceptory odpowiedzialne za widzenie (ruch, kolor, kształt). Badania udowodniły, że nowoodkryty fotoreceptor reguluje zegar dobowy człowieka, pobudza krążenie i steruje wydzielaniem hormonów, podsumowując odpowiada za synchronizację organizmu ludzkiego i zachodzących w nim procesów z otaczającym go środowiskiem. Dla projektantów jednak najistotniejszy jest fakt, że czułość nowoodkrytego fotoreceptora różni się od czułości czopków i pręcików. Dodatkowo widmo światła elektrycznego nie zapewnia właściwej stymulacji komórki ipRGC. Obecnie dostępne na rynku rodzaje światła elektrycznego nie są w stanie zaspokoić kluczowych potrzeb człowieka w zakresie prawidłowego funkcjonowania biologii organizmu, jedynie komfortu wizualnego. Sergio Altomonte podkreśla, że odkrycie to może spowodować całkowitą zmianę naszych poglądów na temat zdrowego i komfortowego dla człowieka środowiska świetlnego, co znajdzie odzwierciedlenie w zmianach warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki [1]. Od chwili opisanego odkrycia znaczenie wykorzystania światła naturalnego w budynkach bardzo wzrosło i proces ten postępuje, czego dowodem są liczne publikacje w tej tematyce na całym świecie.

## 1.3. ROLA BADAŃ SYMULACYJNYCH WE WSPÓŁCZESNYM PROJEKTOWANIU

Jednym z podstawowych zadań projektantów nowoczesnych, zrównoważonych biurowców staje się wybranie systemu oświetlenia światłem naturalnym, który zapewni odpowiednią ilość światła, ochroni pracowników przed oślnieniem i jednocześnie nie dopuści do przegrzewania wnętrza budynku, zatrzymując bezpośrednio promieniowanie

słoneczne na zewnątrz. Pozornie jest to proste zadanie, wielu architektom wydaje się, że intuicyjnie dobrane rozwiązania, poparte doświadczeniem pozwolą osiągnąć najwyższą jakość działania. Projektowanie systemów oświetlenia dziennego jest szczególnie skomplikowane z racji zmienności warunków oświetlenia w skali dnia i roku po pierwsze. Po drugie występuje wiele sprzecznymi wymagań. Z jednej strony należy wprowadzić do budynku jak najwięcej światła, z drugiej zatrzymać całe promieniowanie bezpośrednie w okresie od marca do września. Przed olśnieniem użytkownicy są chronieni systemami przesłon przeciwsłonecznych, najczęściej ruchomych (np. żaluzje, rolety), lecz rozwiązania te nie mogą ograniczać dostępu światła przy niebie zachmurzonym. W trakcie wyboru rozwiązania projektowego należy również wziąć pod uwagę zachowania użytkowników i możliwości systemów automatycznego sterowania ruchomymi elementami ochrony przeciwsłonecznej. Oczywiście na jakość oświetlenia dziennego w największym stopniu wpływa sama bryła budynku, jego orientacja względem stron świata i obiekty znajdujące się w najbliższym otoczeniu. Konieczność uwzględnienia tak wielu czynników i zmiennych istotnych dla jakości oświetlenia światłem naturalnym sprawia, że jedynie zaawansowane techniki i narzędzia symulacyjne pozwalają uzyskać informacje kluczowe dla podjęcia właściwych decyzji projektowych przez architekta.

## 2. STAN BADAŃ

W ostatnich latach wyniki licznych badań wykazały, że użytkownicy przywiązują ogromną wagę do oświetlenia wnętrza budynków światłem naturalnym i zapewnienia widoku z okna. Czynniki te przynoszą wiele korzyści w postaci dobrego zdrowia psychicznego, poprawy wyników nauczania czy zwiększenia efektywności pracowników [6, 8, 11–13]. Ponadto udowodniono, że światło dzienne odpowiada za synchronizację organizmu ludzkiego i zachodzących w nim procesów biologicznych z otaczającym go środowiskiem, co zostało przedstawione w punkcie 1.2.

W ostatnio przeprowadzonych na świecie badaniach, w obszarze jakości oświetlenia światłem dziennym, analizowano również wpływ rozwiązań projektowych na: ilość światła dziennego wewnątrz budynku, równomierność dystrybucji światła naturalnego w pomieszczeniach biurowych oraz jakość oświetlenia mierzoną współczynnikiem światła dziennego (ang. DF – *Daylight Factor*) [5, 7, 9, 12, 16, 21, 22].

Badania przedstawione w opracowaniu oparto na dwóch głównych założeniach. Przedstawiają się one następująco:

1. W świetle konieczności zapewnienia komfortu wizualnego i zwiększenia energooszczędności budynków, najbardziej obiecującym rozwiązaniem projektowym dla polskich biurowców wydaje się być stosowanie zewnętrznych, automatycznie sterowanych żaluzji poziomych [16].
2. Elewacja przeszklona na całej wysokości pomieszczenia biurowego nie zapewnia większej ilości światła dziennego na poziomie powierzchni pracy (biurka)

od elewacji przeszklonej od poziomu biurka do sufitu podwieszonego [5, 16], natomiast charakteryzuje się niższą izolacyjnością termiczną i większym prawdopodobieństwem wystąpienia dyskomfortu w pasie przyokiennym.

### 3. METODA BADAWCZA

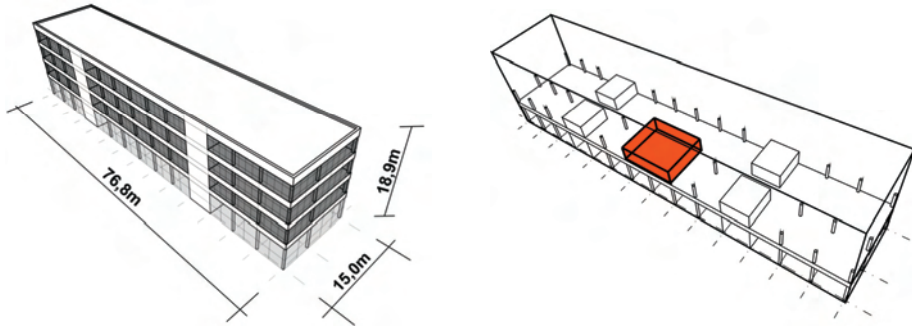
W badaniach wykorzystano statyczne metody analizowania jakości oświetlenia światłem naturalnym z zastosowaniem symulacji komputerowych [23]. Styczne metody analityczne bazują przede wszystkim na pomiarze współczynnika światła dziennego DF [10]. Współczynnik światła dziennego jest obecnie określany mianem najpopularniejszego na świecie sposobu analizowania jakości oświetlenia światłem dziennym. Sama ocena rozwiązań projektowych mających na celu uzyskanie najlepszej jakości oświetlenia naturalnego polega na ustaleniu, które rozwiązanie gwarantuje najwyższy DF (jest on przedstawiany w %). Tutaj należy wspomnieć, że celem projektantów biurowców jest uzyskanie co najmniej wartości 2% na każdym stanowisku pracy (pomiar dokonywany jest najczęściej na poziomie 80 cm). Metoda ta, mimo iż najczęściej stosowana, pozostawia wiele do życzenia. Po pierwsze, podejście „im więcej tym lepiej” zupełnie nie bierze pod uwagę ryzyka wystąpienia olśnienia w miejscu pracy. Po drugie, DF jest obliczany dla nieba całkowicie zachmurzonego (programy komputerowe wykorzystują tzw. Model Niebosłonu Całkowicie Zachmurzonego (ang. *Overcast Sky Model*)), więc wpływ bezpośredniego światła słonecznego jest całkowicie pomijany. W celu zrekomensowania niedoskonałości samej koncepcji współczynnika światła dziennego zaproponowano jako element badań autorskich wykonanie dodatkowych symulacji. Kolejność postępowania przedstawia się następująco:

1. Analiza współczynnika światła dziennego DF pozwala wstępnie ustalić rozwiązania reprezentujące skrajne jakości, dzięki czemu możliwe jest odrzucenie najgorszych rozwiązań.
2. Symulacja natężenia oświetlenia dziennego ( $lx$ ) wykonywana jest dla sprawdzenia skuteczności zaproponowanych systemów ochrony przeciwsłonecznej (np. stałych przesłon poziomych) i reflektorów świetlnych (np. półek świetlnych). Zadaniem reflektorów jest przesyłanie światła w głąb pomieszczeń, dzięki czemu uzyskuje się zrównoważony rozkład światła w przestrzeni pracy. Należy podkreślić, że w opisywanej symulacji uwzględniony jest wpływ bezpośredniego światła słonecznego.
3. Ostatecznie analizowana jest luminancja ( $cd/m^2$ ) w wybranych miejscach pracy. Analiza ta pozwala oszacować ryzyko wystąpienia olśnienia.

Podstawowym minusem statycznych metod analitycznych jest niemożność uwzględnienia zmienności warunków oświetlenia wynikająca z lokalnych uwarunkowań klimatycznych. Do symulacji wykorzystano następujące oprogramowanie: Autodesk Ecotect, Radiance.

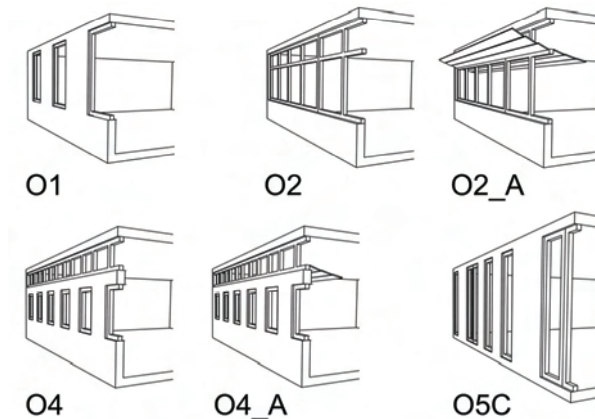
## 4. WYNIKI

Analizowany obiekt został zlokalizowany w Krakowie (szerokość geograficzna: 50 °N, długość geograficzna: 20 °E). Jest to czterokondygnacyjny biurowiec o wąskim trakcie, przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Wymiary obiektu i lokalizacja przestrzeni w strukturze budynku, dla której wykonano symulacje, oprac. własne [17]

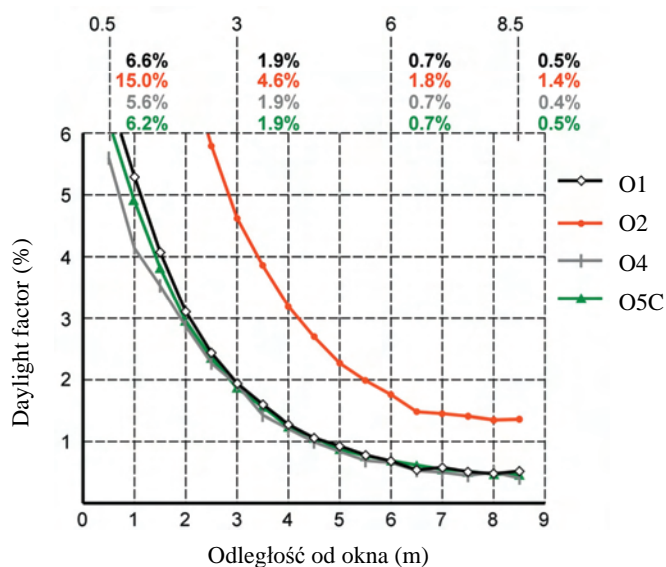
Pomieszczenie, dla którego przeprowadzono symulacje, znajduje się na drugiej kondygnacji. Jego szerokość wynosi 10,8 m, natomiast głębokość 9,0 m (daje to powierzchnię 97,2 m<sup>2</sup>). Wielkość pomieszczenia dobrano dla uzyskania warunków oświetlenia dziennego panujących w typowym biurze rozwiązany na planie otwartym (ang. *open-plan*), zlokalizowanym w zrównoważonym biurowcu. Do analiz wybrano 4 rodzaje elewacji, różniących się wielkością, kształtem i lokalizacją otworów okiennych (są to warianty O1, O2, O4 i O5C na rys. 2).



Rys. 2. Warianty elewacji wykorzystane do symulacji, oprac. własne [17]

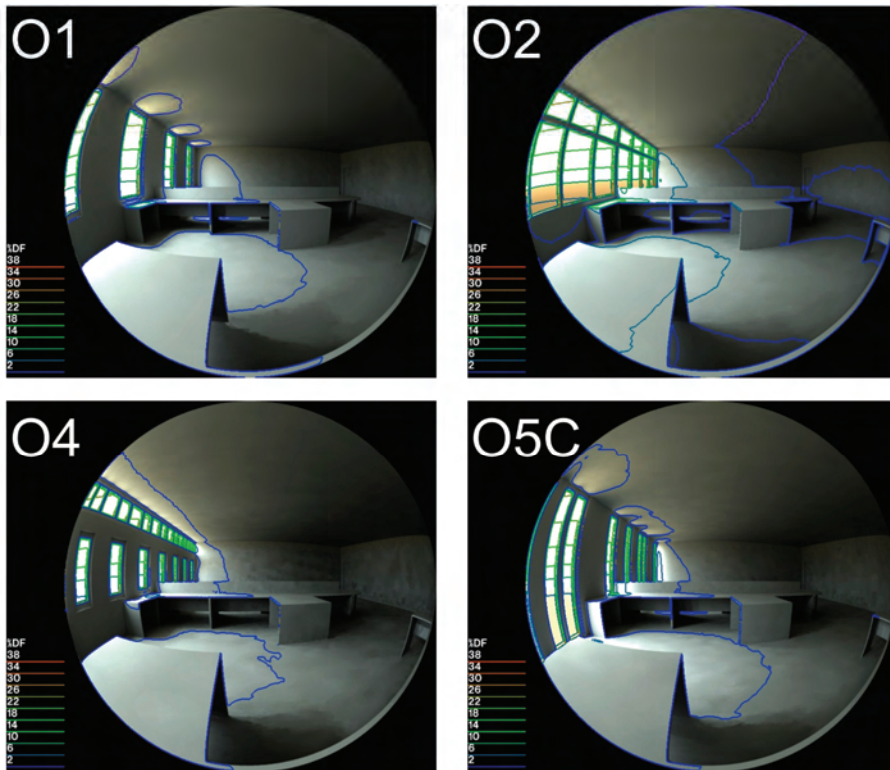


Elewacja O2 reprezentuje rozwiązanie referencyjne, zdaniem Dariusza Masłego najlepsze dla biurowców zlokalizowanych w naszej strefie klimatycznej [16]. Budynek ustawiony jest wzdłuż osi wschód–zachód. Analizowana elewacja skierowana jest w stronę południową. Wysokość pomieszczenia w świetle wynosi 3 m. Stosunek powierzchni przeszklonej elewacji do jej całkowitej powierzchni w świetle pomieszczenia biurowego dla poszczególnych rozwiązań przedstawia się następująco: O1 – 25% ( $8,0 \text{ m}^2/32,4 \text{ m}^2$ ); O2 – 60% ( $19,5 \text{ m}^2/32,4 \text{ m}^2$ ); O4 – 27% ( $8,6 \text{ m}^2/32,4 \text{ m}^2$ ); O5C – 33% ( $10,6 \text{ m}^2/32,4 \text{ m}^2$ ). Współczynnik przepuszczalności światła dla przyjętego okna dwuszybowego wynosi 64%. Natomiast współczynniki odbicia poszczególnych materiałów przedstawiają się następująco: sufit – 85%, podłoga – 35%, ściany – 65%, półka świetlna – 70%, żaluzje – 63% oraz meble – 50%.



Rys. 3. Obliczone wartości DF, oprac. własne

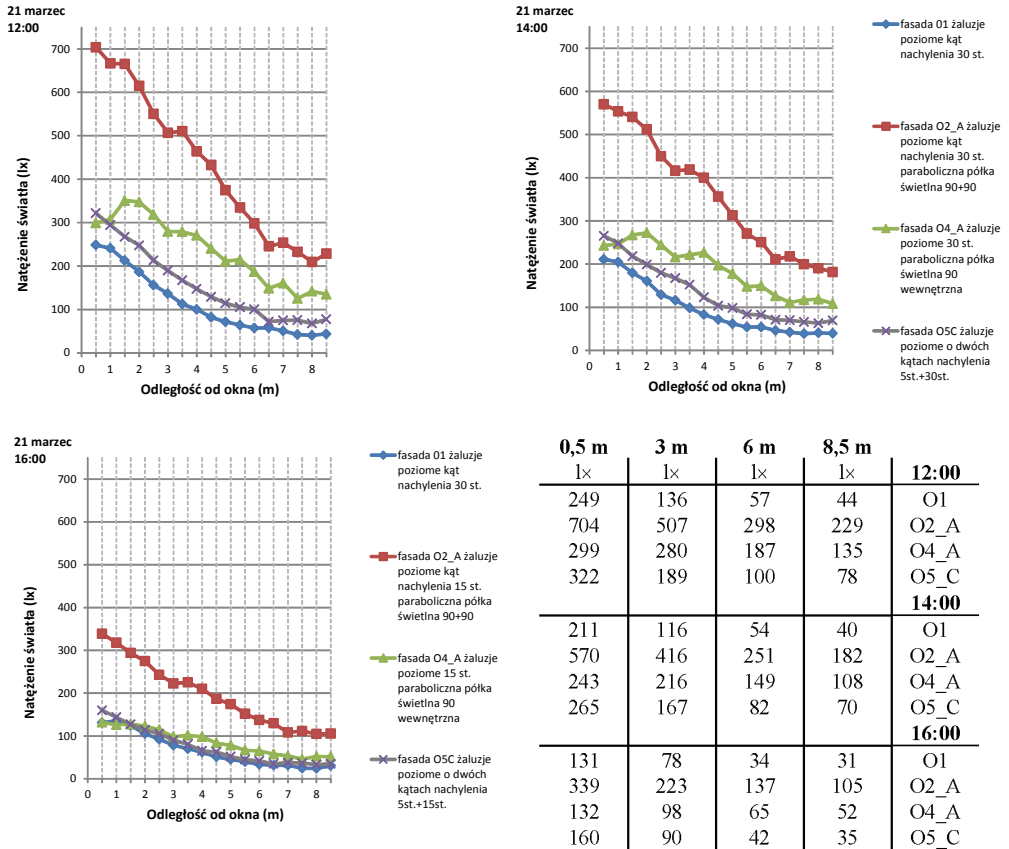
Zgodnie z kolejnością postępowania w statycznych metodach analitycznych (przedstawioną w punkcie 3), na wstępie wykonano analizy współczynnika światła dziennego DF (rezultaty tych analiz przedstawiono na rys. 3 i 4). Analizowano elewacje O1, O2, O4 i O5C. Na tym etapie analiz nie brano pod uwagę urządzeń zatrzymujących lub odbijających promieniowanie słoneczne do wnętrza budynku. Wprowadzenie takich rozwiązań zawsze będzie skutkowało nieznacznym obniżeniem DF (obliczanego dla nieba całkowicie zachmurzonego). Z analiz wynika, że rozkład współczynnika światła dziennego dla trzech porównywanych wariantów elewacji (O1, O4 i O5C) jest prawie jednakowy. Należy tutaj zwrócić uwagę, że większa powierzchnia przeszklenia w wariantcie O5C (33%) nie poprawia jakości oświetlenia dziennego na powierzchni pracy, co jest potwierdzeniem założenia 2 z punktu 2.



Rys. 4. DF – widoki przestrzeni biurowej, oprac. własne [17]

Kolejny etap analiz to symulacje natężenia oświetlenia dziennego. Symulacje przeprowadzono dla dwóch dni: 21 marca (przesilenia wiosennego) i 21 czerwca (najdłuższego dnia w roku, gdy położenie słońca nad horyzontem jest najwyższe). Dla 21 czerwca przyjęto nieboskłon czysty, natomiast dla 21 marca nieboskłon częściowo zachmurzony. W tych analizach, w przeciwieństwie do pierwszego etapu, uwzględniany jest wpływ bezpośredniego światła słonecznego. Zastosowanie reflektorów świetlnych, odbijających promienie słoneczne w głąb pomieszczenia, pozwala znacznie poprawić jakość oświetlenia. Rozkład natężenia światła w pomieszczeniu staje się bardziej równomierny. Do badań wybrano najpopularniejsze rozwiązanie – półkę świetlną. Ze względów funkcjonalnych zastosowano ją w elewacjach z poziomymi pasami okien – warianty O2\_A i O4\_A (rys. 2). Ponadto na tym etapie analiz uwzględniono, że bezpośrednie światło słoneczne może być źródłem olśnienia. W takiej sytuacji konieczne jest zaproponowanie urządzeń zaciemniających. Wszystkie analizowane rodzaje elewacji (O1, O2\_A, O4\_A i O5C) zostały wyposażone w ruchome żaluzje poziome. W elewacji O5C są to żaluzje o dwóch kątach nachylenia. Powyżej wysokości 1,8 m kąt nachylenia żaluzji jest stały i wynosi  $5^\circ$ , poniżej żaluzje są ruchome. Opisywany etap badań został poprzedzony analizami ryzyka wystąpienia

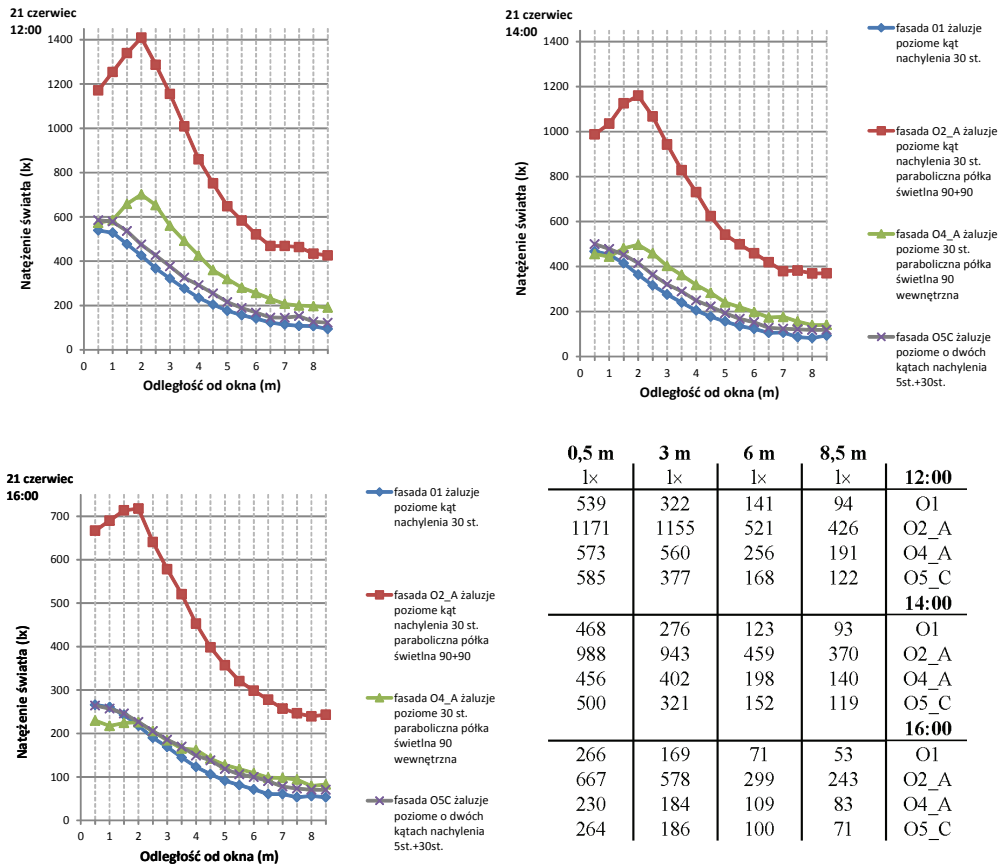
oświetlenia. W konsekwencji 21 marca dla godzin 12.00 i 14.00 przyjęto kąt nachylenia żaluzji wynoszący  $30^\circ$ , natomiast dla 16.00 –  $15^\circ$ . Dnia 21 czerwca we wszystkich przypadkach kąt nachylenia żaluzji wynosi  $30^\circ$ .



Rys. 5. Wykresy porównujące natężenie światła dziennego 21 marca dla analizowanych czterech wariantów elewacji, oprac. własne

Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 5 i 6. Wynika z nich, że rozwiązanie O4\_A daje jednoznacznie wyższą jakość oświetlenia o godz. 12.00 i 14.00, niż elewacje O1 i O5\_C. Obserwujemy wyższe natężenie oświetlenia i jego bardziej równomierny rozkład. O godz. 16.00, przy najmniejszym kącie padania promieni słonecznych różnice te nie są już tak wyraźne. Najnowsze wyniki badań wykazały odczuwanie przez użytkowników komfortu dla natężenia światła dziennego w przedziale 100-2000 lx [18, 23]. Z perspektywy tych wyników możemy stwierdzić, że wariant O4\_A zapewnia akceptowalne warunki oświetlenia nawet na stanowisku pracy oddalonym 6 m od elewacji, w 5 na 6 analizowanych przypadkach. Zdecydo-

wanie najgorsze warunki występują w wariancie O1. Porównywalnie złe oświetlenie naturalne występowałoby w biurze O5C, gdyby nie wprowadzono żaluzji o dwóch kątach nachylenia.



Rys. 6. Wykresy porównujące warunki oświetlenia światłem dziennym 21 czerwca dla analizowanych czterech wariantów elewacji, oprac. własne

Podsumowując, modne rozwiązania elewacji (patrz wariant O5C) nie zawsze idą w parze z najwyższą jakością warunków oświetlenia naturalnego przestrzeni pracy. Ponadto właściwe decyzje projektowe dotyczące wyboru systemów dystrybucji światła dziennego i ochrony przeciwsłonecznej pozwalają znacznie poprawić jakość oświetlenia w pomieszczeniach biurowych. Istotne jest również, że wyniki analiz współczynnika światła dziennego (DF) w najmniejszym stopniu nie sugerowały różnic jakościowych, które stały się oczywiste po przeprowadzeniu symulacji natężenia oświetlenia dziennego.

## 5. WNIOSKI

Badania przedstawione w opracowaniu, a także wcześniej opublikowane wyniki [16–18] wykazują, że statyczne metody analizowania jakości oświetlenia światłem dziennym nie są idealnym rozwiązaniem. Możemy wypunktować wiele poważnych niedoskonałości idei współczynnika światła dziennego DF, są one jednak rekompensowane wykonaniem kolejnych symulacji, wymienionych w punkcie 3. Istotnym jest, że statyczne metody analityczne umożliwiają wiarygodną ocenę analizowanych rozwiązań projektowych, podczas gdy opieranie się w ocenach jakości oświetlenia naturalnego na wymogach zawartych w „Warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” nie daje żadnej gwarancji uzyskania wysokiej jakości oświetlenia światłem dziennym. Została opracowana kolejna generacja narzędzi symulacyjnych – dynamiczne metody analizowania jakości oświetlenia światłem dziennym [18]. Metody te wyeliminowały główną niedoskonałość ich statycznych odpowiedników i wszystkie symulacje wykonywane są dla lokalnych, specyficznych dla lokalizacji budynku warunków klimatycznych.

Zaprojektowanie właściwego systemu oświetlenia światłem naturalnym, który zapewni wystarczającą ilość światła, eliminuje ryzyko olśnienia i chroni przestrzeń pracy przed przegrzewaniem, jest bardzo trudnym zadaniem. Realizacja tego zadania z pominięciem wykorzystania najnowocześniejszych metod, technik i narzędzi symulacyjnych jest praktycznie niemożliwa. Projektowanie obiektów architektonicznych pod kątem optymalnego wykorzystania światła dziennego, uwzględniając nowe odkrycia w zakresie potrzeb psychofizycznych człowieka, a także wymogi rozwoju zrównoważonego, staje się jednym z głównych wyzwań, przed którymi stają projektujący.

## LITERATURA

- [1] ALTOMONTE S., *Daylight and the Occupant. Visual and physio-psychological well-being in built environments*, PLEA 2009, The 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City 2009.
- [2] ARUP, SAUERBRUCH HUTTON, EXPERIENTIA, GALLEY ECO CAPITAL, *C\_life. City as living factory of ecology*, Manual, Low2No Design Competition, Jatkasaari, Helsinki 2009 ([www.low2no.org](http://www.low2no.org)).
- [3] BERSON D.M., DUNN F.A., TAKAO M., *Phototransduction by retinal ganglion cell that set the circadian clock*, Science, 2002, 295.
- [4] BRAINARD G.C. i inni, *Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor*, Journal of Neuroscience, 2001, 21 (16).
- [5] BULOW-HUBE H., *Daylight in glazed office buildings. A comparative study of daylight availability, luminance and illuminance distribution for an office room with three different glass areas*, (Report EBD-R-08/17), Lund, Sweden: Department of Architecture and Built Environment, Division of Energy and Building Design, Lund University, Faculty of Engineering, 2008.
- [6] CHOI J., BELTRAN L.O., *Study of the Relationship between Patients' Recovery and Indoor Daylight Environment of Patient Rooms in Healthcare Facilities*, Proc. of the 2004 ISES Asia-Pacific Conference, 17–20 października, Gwanju 2004.

- [7] DUBOIS M.C., BLOMSTERBERG A., FLODBERG K., *Towards zero energy office buildings in Northern Europe: Preliminary results of daylighting simulations*, [w:] SB11 Helsinki – 6th World Sustainable Building (SB) Conference, proceedings, Vol. 1, Finnish Association of Civil Engineers RIL, VTT Technical Research Centre of Finland, Helsinki 2011, 382–383.
- [8] FONTOYNONT M., *Daylight Performance of Buildings*, James & James (Science Publishers) Ltd. for the European Commission Directorate General XII for Science, Research and Development, London 1999.
- [9] GALASIU A.D., ATIF M.R., *Applicability of Daylighting Computer Modelling in Real Case Studies: Comparison between Measured and Simulated Daylight Availability and Lighting Consumption*, A report of IEA (International Energy Agency) SHC Task 21, IEA ECBCS Annex 29: Daylight in Buildings 1998.
- [10] HEIM D., *Ocena komfortu wizualnego w pomieszczeniach przy pomocy symulacyjnych technik obliczeniowych*, [w:] *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2007*, pod red. J. Sowy i M. Mijakowskiego, Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [11] HESCHONG L., WRIGHT R.L., OKURA S., *Daylighting Impacts on Human Performance in School*, Journal of the Illuminating Engineering Society 2002.
- [12] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Daylighting in Buildings. A Source Book on Daylighting Systems and Components*, A Report of IEA Solar Heating & Cooling Task 21, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Annex 29, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley 2000.
- [13] KEELER M., BURKE B., *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2009.
- [14] KUWABARA B., AUER T., GOULDSBOROUGH T., AKERSTREAM T., KLYM G., *Manitoba Hydro Place. Integrated Design Process Exemplar*, PLEA 2009, The 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City 2009.
- [15] MASŁY D., *Kierunki rozwoju w projektowaniu inteligentnego budynku zrównoważonego na przykładzie biurów (Development Directions of Designing Intelligent Sustainable Office Buildings)*, [w:] *Inteligentne budynki. Innowacyjne kierunki rozwoju*, pod red. J. Mikulika, Oficyna Wydawnicza Text, Kraków 2012, 121–141.
- [16] MASŁY D., *Analysis of Natural Lighting with Regard to Design of Sustainable Office Buildings in Poland*, [w:] *Human Experience in the Natural and Built Environment: Implications for Research, Policy, and Practice*, 22nd IAPS Conference, conference abstracts, International Association People-Environment Studies, Strathclyde University, Glasgow 2012.
- [17] MASŁY D., *Investigation of the Use of Daylight in Office Buildings*, [w:] *Solar Building Skins*, Conference Proceedings of the 7th Energy Forum, Economic Forum, Bressanone 2012.
- [18] MASŁY D., *Daylit Intelligent Sustainable Offices: Results of Daylight Simulation Study*, [w:] *Sustainable Environments in a Changing Global Context. Identifying Opportunities for Innovative Spaces and Practices in Contexts of Crisis – IAPS International Network Symposium 2013*, Book of Proceedings – Abstracts, International Association People-Environment Studies, Instituto de Estudios e Investigacion Psicosocial “Xoan Vicente Viqueira”, A Coruna 2013.
- [19] MIERZWIŃSKI S., *Wentylacja hybrydowa w budownictwie zrównoważonym*, [w:] *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2003*, pod red. T. Jędrzejewskiej-Ścibak i J. Sowy, Wydawnictwa Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [20] ODYJAS A., *Systemy klimatyzacji i ogrzewania niskoenergetycznego budynku biurowego*, Chłodnictwo & Klimatyzacja, 9/2009 (134), wrzesień.
- [21] REINHART C.F., PETINELLI G., *Advanced Daylight Simulations Using Ecotect, Radiance, Daysim – Getting Started*, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 2006.

- [22] REINHART C.F., WIENOLD J., *The Daylighting Dashboard – A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces*, Building and Environment, 2011, 46, 386–396.
- [23] REINHART C.F., MARDALJEVIC J., ROGERS Z., *Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design*, Leukos 2006, Vol. 3, No. 1, Lipiec.
- [24] SCARTEZZINI J.L., MUNCH M., *Light beyond Vision: Day and Night in Building Science and Chronobiology*, wykład, SwissNEX, San Francisco 2010.
- [25] UTZINGER M., *Hybrid Ventilation Systems and High Performance Buildings*, PLEA 2009, The 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City 2009.

#### THE USE OF DAYLIGHT SIMULATION STUDIES TO ANALYSE THE INFLUENCE OF FACADE SOLUTIONS ON QUALITY OF DAYLIGHT IN OFFICES

A maximum use of daylight in office workspace and an effective protection against excessive heat gains coming from the direct solar radiation are becoming the main aims on the way to achieve reduction in energy use, high building performance and comfort of XXI century offices' users. The provision of a high performing office building depends on the understanding of architectural solutions' influence on the quality of natural lighting in office space. Daylight simulation studies employing the state-of-the-art computer software have the ability to provide this crucial knowledge at present-day stage of technological development. This paper presents results of daylight computer simulations done for 4 different facades of an office building. An open-plan office located in the southern part of Poland (latitude: 50 °N, longitude: 20 °E) was analysed. Different facades (window placements and shapes, glazing-to-wall (GWR) ratios), light shelves and shading devices (venetian blinds) were compared in this study. The simulations were made with the assistance of the Autodesk Ecotect and Radiance software.

## ROZDZIAŁ XIII

# HOLISTYCZNE UWARUNKOWANIA WSPÓŁCZESNEJ ILUMINACJI I OŚWIETLENIA MIAST

Magdalena ZIENOWICZ\*, Ewa PODHAJSKA\*

Obecnie każdy projekt iluminacji i oświetlenia powinien spełniać określone kryteria ekonomiczne, energetyczne i ekologiczne, takie jak: oszczędność zużycia energii, ograniczenie zanieczyszczenia światłem, szacunek dla świata roślin, zwierząt i firmamentu ciemnego nieba. Dąży się, aby aspekty środowiska były ujęte we wszystkich koncepcjach iluminacji i oświetlenia jako wyznacznik jakości tworzenia nocnego krajobrazu. Mając na uwadze, że prawie każdy kryzys gospodarczy przekłada się na restrykcje budżetowe i energetyczne, w planach iluminacji i oświetlenia należy te aspekty uczynić istotnym elementem weryfikacji założeń projektowych.

Słowa kluczowe: *oświetlenie miast, iluminacja*

## 1. STRATEGIA OŚWIETLENIA MIAST

Od dwóch dekad oświetlenie w miastach przechodzi dynamiczną ewolucję. Wymogiem chwili staje się przybliżenie „punktu”, w którym znajdują się obecnie działania oświetleniowe na terenach zurbanizowanych. Odwołanie się do przykładów zagranicznych miast, w szczególności niemieckich, holenderskich, włoskich i francuskich, ilustruje zakres możliwych działań, inicjatyw i dobrych praktyk, które mogą być wdrażane również w Polsce.

### 1.1. ROLA OŚWIETLENIA W ZAKRESIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU MIAST

Aktualnie działania wielu miast świadczą, że światło sztuczne stało się profesjonalnym narzędziem budowania strategii rozwoju miast. Wpływa pozytywnie na przestrzeń, jej tożsamość, zachęca do spotkań i interakcji społecznych, promuje architek-

---

\* Instytut Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24a, 50-363 Wrocław.



ture i kulturę miasta. Dowodzi to, że sztuka iluminacji wyszła już z fazy artystycznego oświetlania budynków i stała się częścią zintegrowanych opracowań planistycznych, przyjmując metody będące strategią rozwoju i promocji miasta. Szerokie propagowanie takiego podejścia spowodowało, że wizualne wartości krajobrazu zaczęto chronić w wielu krajach aktami prawnymi. Już ponad kilkadziesiąt miast na świecie realizuje iluminacje zgodnie z tzw. planem iluminacji (ang. *Lighting Master Plan* – LMP), w których krajobraz nocny postrzegany jest w kategoriach dobra publicznego we wszystkich jego aspektach – od działalności inwestycyjnej po ekologiczną i energetyczną.

W 2010 około 40 miast zrzeszonych w LUCI<sup>1</sup> opracowało wspólnie kartę (ang. *Luci Charter on Urban Lighting*)<sup>2</sup>, w której określono rolę oświetlenia w zakresie zrównoważonego rozwoju miast. Dokument ten opisuje elementy, które powinny być wdrażane w strategię oświetlenia w celu wspierania zrównoważonego rozwoju miast.

Zgodnie z zapisami w karcie oświetlenie powinno przyczyniać się do:

- redukcji gospodarczych i społecznych różnic pomiędzy dzielnicami w mieście,
- budowania poczucia bezpieczeństwa,
- wzmacniania tożsamości kulturowej i społecznej
- rozwoju zrównoważonego transportu (komunikacji publicznej, rowerowej i pieszej),
- lokalnego rozwoju gospodarczego,
- optymalizacji zużycia energii,
- redukcji zanieczyszczenia światłem.

To nie jest wyczerpująca lista pierwszoplanowych i drugoplanowych elementów, którą powinna wykazywać odpowiedzialna strategia oświetleniowa miasta. Są to jedynie bazowe elementy, które mogą pomóc w uniknięciu chaosu świetlnego.

## 1.2. PROBLEM ZANIECZYSZCZENIA ŚWIETLNEGO I METODY JEGO REDUKCJI

Brak kontroli i weryfikacji sztucznego oświetlenia może przynieść niepożądane skutki dla człowieka, obiektów oraz środowiska. Obniża wartość miejsca, zniekształca jego estetykę i wymowę, doprowadza do kakofonii wizualnej. Najczęściej nieprawidłowe rozwiązania stanowią zagrożenia dla komunikacji, komfortu użytkownika przestrzeni oraz negatywnie wpływają na środowisko naturalne. Skutkiem braku koordynacji pomiędzy różnymi typami oświetlenia i elementem ubocznym nieodpowiedniego

---

<sup>1</sup> Lighting Urban Community International (LUCI) – jest to organizacja utworzona w 2002 roku z inicjatywy Lyonu. Zrzesza miasta, które podjęły próbę opracowania projektu iluminacji tzw. *Lighting Master Plans*. LUCI działa przede wszystkim jako forum, gdzie przedstawiciele władz miast, architekci, urbaniści mogą się spotkać, aby wymienić doświadczenia i wspólnie zastanowić się na tym jak najlepiej wykorzystać światło sztuczne. Do priorytetów organizacji należy również ochrona środowiska i optymalne wykorzystanie światła. Aktualnie LUCI zrzesza około 80 miast, z których 33 stało się już sygnatariuszami karty.

<sup>2</sup> Dokument stanowi zbiór wytycznych, w odniesieniu, do którego miasta mogą rozwijać własne strategie oświetlenia [3].

użycia światła jest zanieczyszczenie świetlne. Powstaje ono wskutek kumulowania się emisji światła z pojedynczych źródeł, w tym okien budynków, oświetlenia ulicznego, reflektorów iluminujących obiekty i przestrzenie publiczne. Wymienia się cztery przyczyny zanieczyszczenia światłem:

- prześwietlanie obiektów i przestrzeni,
- emisja światła w niewłaściwym kierunku,
- czas pracy oświetlenia nadmierny do rzeczywistych potrzeb,
- źle zbilansowana efektywność energetyczna.

Prześwietlanie związane jest z użyciem zbyt silnego natężenia światła w stosunku do jasności otoczenia. Wyróżnia się trzy poziomy jasności otoczenia, opisane w tabeli 1, do których należy dopasować wartość średniej luminacji<sup>3</sup> obszaru lub obiektu, aby wyglądał na zbyt ciemny lub zbyt jaskrawy.

Tabela 1. Określa poziomy jasności do których należy dopasować wartość średniej luminacji [1]

określenie jasności otoczenia	średnia luminacji $L$ [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]	przykład
niska	$L \geq 4 \text{ cd}/\text{m}^2$	obiekt iluminacji zlokalizowany w ciemnym otoczeniu np. zamek na wyspie, budynek w parku
średnia	$L \geq 6 \text{ cd}/\text{m}^2$	obiekt iluminacji posiada bliskie sąsiedztwo innych obiektów generujących światło dyfuzyjne lub odbite np. obiekt kultu religijnego w dzielnicy mieszkaniowo-usługowej
wysoka	$L \geq 12 \text{ cd}/\text{m}^2$	obiekt iluminacji położony w obszarze o dużej jasności np. prestiżowy gmach przy oświetlonej arterii miejskiej, ratusz w centrum miasta

Najczęstszym przykładem ignorowania tych wytycznych są przekraczające poziomy jasności zakłady przemysłowe, centa handlowe i stacje paliw zlokalizowane na obrzeżach miasta.

Podstawową jednak przyczyną zanieczyszczenia światłem jest niewłaściwy kierunek emisji światła. Błędnych rozwiązań można unikać, jeśli:

- dokona się dokładnej kontroli rozsyłu światła w kierunku oświetlanego obiektu, tj. wytyczy się precyzyjnie ekran, na który ma padać światło,
- zadba się o odcięcie emisji światła powyżej oprawy oświetleniowej.

Dynamiczny rozwój techniki świetlnej pozwala zapobiegać również ciągłej pracy oświetlenia ulicznego. Wcześniej światła włączało się i wyłączało. Aktualnie nowoczesne układy sterowania pozwalają na coraz bardziej elastyczne rozwiązania, jak chociażby ściemnianie oświetlenia ulicznego w późnych godzinach nocnych, kiedy ruch komunikacyjny jest mniejszy. W miastach Eindhoven i Lyon zainstalowano na

<sup>3</sup> Fizycznie luminancja odzwierciedla ilość światła, która jest widziana przez obserwatora:  $L = I/S'$ , gdzie  $I$  jest światłością, a  $S'$  powierzchnią pozorną świecącej powierzchni widzianą przez obserwatora.

niektórych ulicach czujniki umożliwiające zmianę poziomów natężenia światła. Lipsk natomiast jest w trakcie wdrażania systemu sterującego oświetleniem na obwodnicy miasta, który będzie dostosowywał poziomy oświetlenia do lokalnych warunków atmosferycznych i natężenia ruchu.

Ostatnia przyczyna zanieczyszczenia światłem, dotyczy efektywności energetycznej. Aktualnie nawet przy drobnej modernizacji oświetlenia dąży się do zmiany światła na bardziej energooszczędne typu LED i zmiany temperatury barowej źródeł światła z żółtej w kierunku białej. Światło białe lepiej oddaje barwy i jest zbliżone do światła słonecznego. Wymiana źródeł światła na energooszczędne i o temperaturze w zakresie 3000–4000 K zapewnia optymalne połączenie wydajności i energooszczędności. Przyczynia się do obniżenia kosztów eksploatacyjnych, redukcji ilości opraw i lepszego rozkładu światła.

### 1.3. DOBRE PRAKTYKI

Wiele krajów oprócz respektowania dyrektyw Unii Europejskiej<sup>4</sup> wydaje szereg własnych aktów legislacyjnych zapobiegając zanieczyszczeniu światłem i szukając rozwiązań do optymalizacji konsumpcji energetycznej. W 2008 roku na 20 regionów we Włoszech aż 17 miało już przyjęte własne prawa lokalne, odnoszące się do takich zagadnień jak [4]:

- stan walki z zanieczyszczeniem światłem,
- sposoby racjonalizacji i redukcji zużycia energii,
- ograniczenia zewnętrznego oświetlenia i emisji światła w górę,
- ochrona ciemnego nieba w rejonach parków narodowych i innych obszarów chronionych.

Samorządy we Włoszech zobligowały się do opracowania w ciągu dwóch lat planów iluminacji redukujących zużycie energii i podjęcia nadzoru nad ich wdrożeniem. Przyjęto również ustalenia dotyczące wycofania sprzętu o określonych charakterystykach fotometrycznych i lamp o dużej skuteczności oświetleniowej z iluminacji pomników i budynków publicznych, a także ustalenia średniego strumienia luminacji w granicach 1 candela/m<sup>2</sup> w stosunku do oświetlenia otoczenia.

Krajem, który stał się liderem w dziedzinie optymalizacji konsumpcji energetycznej jest Francja. Nathalie Kosciusko-Morizet, była francuska Minister Ekologii, Zrównoważonego Rozwoju, Transportu i Mieszkalnictwa w grudniu 2011 roku zapowiedziała

---

<sup>4</sup> Unia Europejska postawiła sobie cele na 2020 rok: ograniczenie emisji dwutlenku węgla o 20% poniżej poziomu z 1990 r. i zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym do 20%. Długoterminowy cel zakłada natomiast redukcję w 2050 roku emisji dwutlenku węgla nawet o 80%. Wynika, z tego, że przemysł, transport, budynki i budowlę, a także rolnictwo – powinno w nadchodzących dziesięcioleciach przejść na gospodarkę niskoemisyjną, a efektywność energetyczna stanie się głównym celem polityki miast [5].

obowiązkowe wyłączenie podświetlanych znaków handlowych między godziną 1.00 w nocy a 6.00 rano. Aktualnie toczy się w kraju debatę nad obowiązkowym wyłączeniem oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego budynków biurowych. Również w 2011 roku Francja wydała dekret wykonawczy, który został opublikowany we francuskim „Journal Officiel” poświęcony zanieczyszczeniu świetlnemu oraz oszczędności energii w celu ochrony środowiska [6]. Dekret definiuje między innymi:

- zakres iluminacji, nawet w odniesieniu do dziedzictwa architektonicznego,
- dostosowanie wymagań oświetleniowych do lokalnych ograniczeń,
- rozszerzony zakres interwencji Ministra Środowiska.

Władze lokalne mają teraz za zadanie precyzyjnie określać techniczne wymagania dla nowych i modernizowanych instalacji oświetleniowych w celu eliminowania i ograniczania efektu zanieczyszczenia światłem.

## 2. MIASTO LYON JAKO PRZYKŁAD HOLISTYCZNEGO PODEJŚCIA DO OŚWIETLENIA I ILUMINACJI

### 2.1. PLAN ILUMINACJI

Przykładem miasta, w którym realizacja działań świetlnych obrazuje profesjonalne i holistyczne podejście do oświetlenia i iluminacji w skali miasta jest Lyon. W 1989 roku władze miasta opracowały plan iluminacji, który skupiał się na ekspozycji kilkudziesięciu obiektów takich jak: kościoły, wieże, mosty, atrakcyjne kamienice, pomniki i historyczne place. Dla każdego obiektu wykonano indywidualny projekt iluminacji i połączono je szlakami „świetlnymi”, które miały za zadanie kierować i orientować turystów w mieście. Wprowadzono hierarchię jasności i koloru światła w zależności od elementów struktury przestrzennej miasta, wyróżniając: główne osie, wjazdy do miasta, obszary historyczne i przestrzenie zielone. W 2003 roku rozpoczęto pracę nad nowym projektem<sup>5</sup>. Zmiany, jakie zostały przyjęte są ukierunkowane na podkreślenie zwykłych miejsc oraz stosowaniu bardziej oszczędnych rozwiązań. Pierwszy plan skupiał się na ekspozycji przede wszystkim obiektów zlokalizowanych w centrum miasta. Drugi zakłada pięć punktów ogniskowych i zwrócenie się w stronę obszarów peryferyjnych. Nieatrakcyjne, pomijane i „opuszczone” części dzięki iluminacji mają zostać „zrehabilitowane”.

Aktualna koncepcja iluminacji miasta uwzględnia takie aspekty jak:

- różnicowanie atmosfery i nastroju poszczególnych rejonów,

---

<sup>5</sup> Autorami pierwszego planu iluminacji (1989) byli Alain Guilhot i Michel Bouit. Poczynając od roku 1995 roku eksperci lyońscy pod kierunkiem Antoine Bouchet’a, współautora drugiej generacji planu z roku 2003 (wraz z Jean-Pierre Charbonneau, François Brégnac i Isabelle Fèvre) byli zaangażowani do ponad 150 prestiżowych iluminacji na świecie.

- identyfikowanie charakteru poszczególnych dzielnic,
- dostosowanie iluminacji do rytmu i tempa życia społeczeństwa (podział na iluminację o charakterze stałym, sezonowym oraz zmniejszenie poziomów natężenia światła w wybranych rejonach),
- obniżanie poziomu zanieczyszczenia światłem poprzez modernizację systemów oświetleniowych, recykling zużytych źródeł światła oraz ograniczenie iluminacji w niektórych częściach miasta jedynie do zaznaczenia granicy obszaru.

Istotą strategii planu iluminacji Lyonu jest tworzenie szczegółowych strefowych planów obejmujących określony obszar, a następnie łączenie je w plany całościowe. Metoda ta umożliwia uniknięcie generalizacji i uniformizacji rozwiązań. Plany szczegółowe dokładniej precyzują cele, rolę i zadania, jakie pełni światło w określonej części miasta.

Iluminacja Lyonu bazuje na walorach krajobrazowych: rzekach, wzgórzach, dolinach i głównych arteriach komunikacyjnych, które krystalizują układ przestrzenny miasta. Promuje dziedzictwo, historię oraz unikalną geografie miejsca. Zwraca się również w kierunku osobliwości ukrytych w zwykłych dzielnicach mieszkalnych. Nocą tworzy widoki, które sprzyjają powiększaniu się liczby iluminowanych panoram i sylwetek zewnętrznych [7, s. 63].

Tereny nabrzeżne, rzeki oraz obszary zieleni są podświetlane w sposób ostrożny, aby pozostawić wśród nich fragmenty zacienione, które mają stanowić miejsca naturalnego siedliska dla fauny i flory. Równocześnie dąży się do tworzenia światłem atmosfery charakterystycznej dla określonego miejsca, np. zakłada się różne iluminowanie nabrzeża rzeki Saône i Rhône, które równolegle przecinają miasto.

Bardzo istotnym aspektem w iluminacji Lyonu jest sterowanie oświetleniem. Założono, że iluminacja ma być dopasowana do rytmu życia mieszkańców, jak również ma sprzyjać turystyce. Wszystkie urządzenia oświetleniowe zostały wyposażone w fotoregulatory, które kontrolują nastanie mroku i świtu. Czas zapalania i gaszenia światła dopasowuje się do każdego dnia indywidualnie, w zależności od panujących warunków atmosferycznych. Ponadto miasto zostało podzielone na kategorie; wyróżniono obszary i obiekty, które są iluminowane codziennie i takie, które są przedmiotem okazjonalnych działań. Dodatkowo każdego dnia po północy następuje spadek poziomu natężenia światła celem nie zakłócania snu mieszkańców.

Kreowanie sztucznego oświetlenia w Lyonie podąża w kierunku iluminacji, dostosowanej do określonej przestrzeni i tempa życia w mieście. Plan iluminacji podlega ciągłym zmianom. Wykorzystując najnowsze osiągnięcia techniki oświetleniowej ewoluuje wychodząc naprzeciw potrzebom mieszkańców, turystów oraz aktualnym wymaganiom ekologicznym i energetycznym.

## 2.2. CELE, PRAKTYKI I METODY ROZWOJU POLITYKI OŚWIETLENIOWEJ MIASTA

Władze Lyonu starają się wykazać rentownością z inwestowania w oświetlenie. Pokazują, że oświetlenie może być jednym ze sposobów stymulowania rozwoju go-

spodarczego. Miasto wydało kartę tzw. jakości życia nocnego (fr. *pour charte la qualité de la vie*), która stara się łączyć różne wymagania: przedsiębiorców, mieszkańców i turystów. Podstawą działań zapisanych w dokumencie jest:

- dostosowanie oświetlenia publicznego do godzin otwarcia firm, sklepów, kawiarni, barów,
- wspieranie nową infrastrukturą oświetleniową obszarów miasta rozwijających się i wykazujących potencjał gospodarczy,
- włączenie sektora prywatnego do wspólnych inwestycji, poprzez stworzenie listy priorytetów, podpisanie umów o długoterminowym partnerstwie.

Efektom tych skorelowanych działań jest rosnąca z roku na rok liczba turystów, wydłużenie się czasu aktywności społecznych, poczucie dumy z zamieszkiwania w Lyonie oraz coraz lepsza kondycja ekonomiczna aglomeracji. Do sławy Lyonu jako „miasta światła”, przyczynił się zarówno imponująco zrealizowany plan iluminacji, jak i coroczny festiwal światła<sup>6</sup>. Odbywający się od 1999 roku jest miejscem spotkań sztuki i najnowszej techniki świetlnej. Jego kilkuletnia historia pozwala śledzić najnowsze trendy oraz obserwować ewolucję iluminacji od „sztywnej” – opierającej się na rozwiązaniach wyłącznie technicznych do subtelnej – zachwycającej wirtuozerią artystyczną.

Władze Lyonu aspirują, aby miasto cały czas kontynuowało swoją pionierską rolę w dziedzinie iluminacji i oświetlenia. Równolegle ze zmianą nocnego wizerunku miasta zaangażowały się w promowanie „wiedzy o iluminacji”. Wyrazem działań edukacyjnych i naukowych jest przygotowanie terenu do prowadzenia eksperymentów świetlnych. W 2011 roku miasto wprowadziło dwa eksperymentalne projekty oświetlenia, które mają na celu edukować w kierunku zmniejszania i racjonalizacji zużycia energii elektrycznej. Pierwszy projekt został zrealizowany na moście dla pieszych *Passerelle St Vincent* nad rzeką Saône. Dotychczasowe sodowe oświetlenie kładki zastąpiono diodami LED, które są wyposażone w czujniki ruchu. Natężenie światła po nastaniu mroku osiąga 10% swojej mocy, jednak gdy ktoś zamierza przejść przez most natężenie wzrasta do 100%. Zastosowanie sterowników wykrywających obecność zapewnia, że ciąg pieszy jest oświetlony tylko wtedy, gdy jest to konieczne. Drugą realizacją jest oświetlenie *Square des droits des Enfants* – niewielkiego ogrodu dla dzieci w jednej z dzielnic w Lyonie. Przy wejściu na skwer obok bramy został umieszczony przełącznik światła, tak aby w porze wieczornej mieszkańcy mogli sami włączyć i wyłączyć światła. Działanie to bazuje na odruchach ludzkich włączania i wyłączania światła. Włączenie przełącznika powoduje, że natężenie światła podobnie jak we wcześniejszym przykładzie wzrasta do 100% swojej mocy, wyłącznie natomiast zmniejsza znacznie natężenie światła.

---

<sup>6</sup> Uroczystość ma swoje korzenie w tradycyjnym święcie obchodzonym od 1862 roku w dniu 8 grudnia. Tego dnia co roku ludzie umieszczają w swoich oknach świece, by podziękować Najświętszej Marii Panie za otrzymane łaski. Święto religijne od 1999 roku zamieniono w czterodniowe wydarzenie kulturalno-społeczne, obchodzone w otoczeniu światła we wszystkich jego formach: pochodni, świec, oświetlenia, sygnałów świetlnych, projektorów i sztucznych ogni [2].

Lyon również jako jedno z pierwszych miast na świecie przy wdrażaniu oświetlenia zwraca uwagę na tzw. analizę cyklu życia (ang. *life cycle analysis* – LCA). Jest to metoda oceny, która umożliwia określenie oddziaływania produktu na środowisko w całej jego egzystencji. Zastosowanie jej do sprzętu oświetleniowego, pozwala na identyfikację wszystkich źródeł oddziaływania na środowisko jak:

- ekstrakcja surowców użytych do wytworzenia urządzenia,
- proces produkcji,
- transport,
- aktywność produktu (zużycie energii, zanieczyszczenie światłem),
- recykling.

Metoda ta jest bardzo pomocna dla uwzględnienia negatywnego wpływu sprzętu oświetleniowego na środowisko i określenia priorytetów działań naprawczych, które zostaną wdrożone.

Ocenię wpływu na środowisko podlegają w Lyonie nie tylko stałe iluminacje i oświetlenie, ale także festiwale. Bada się oddziaływanie związane z polityką rozwoju turystyki jak: transport, zakwaterowanie, wyżywienie, komunikację. Od 2011 roku miasto Lyon organizuje festiwal światła w myśl rozwiązaniom *eko-design*. Program ma na celu zmniejszenie niekorzystnego wpływu festiwalu na środowisko. Działania w roku 2011 uwzględniały:

- recykling materiałów, jakie były użyte do poszczególnych instalacji,
- 13 instalacji na 50 wykorzystywała wyłącznie technologie LED, a kilka promowało powrót do naturalnych źródeł światła,
- forma wydruku programu festiwalu została ograniczona do niezbędnych informacji, dzięki temu zaoszczędzono 14 ton papieru w porównaniu z rokiem poprzednim,
- system transportu kołowego zredukowano do minimum, wytyczono strefy piesze, które umożliwiały najlepsze poruszanie się po mieście,
- organizatorzy oraz służby porządkowe korzystały z wyłącznie pojazdów elektrycznych.

Otwarta polityka i strategia miasta sprawia, że mieszkańcy są coraz bardziej świadomi zagrożeń. Antoine Bouchet dyrektor departamentu oświetlenia publicznego dla miasta Lyon stwierdził, że *postrzeganie ludzi zmienia się bardzo szybko, jeszcze trzy lata temu mieszkańcy Lyonu twierdzili, że w mieście jest za mało światła. Aktualnie otrzymuje listy, z których wynika, że oświetlenie Lyonu należy ograniczyć* [3, s. 130].

### 3. PODSUMOWANIE

Uzyskanie zamierzonego efektu iluminacyjnego i oświetleniowego jest wypadkową szeregu działań i wyborów, dokonywanych na kolejnych etapach realizacji projektu. Coraz bardziej niezbędna staje się w tym zakresie ścisła współpraca architek-

tów, architektów krajobrazu i projektantów światła, ekologów i innych specjalistów zjednoczonych wspólnym poczuciem artyzmu, wiedzą techniczną i etyką, której podstawowym kanonem jest odpowiedzialność.

Wprowadzenie światła sztucznego powinno być wynikiem profesjonalnego i interdyscyplinarnego procesu projektowania. Za najbardziej trafną dewizę działalności w tym zakresie można przyjąć słowa wypowiedziane przez Adolfa Guzziniego – światowej sławy projektanta światła „Nasza przyszłość będzie zależała od jakości naszych projektów, a nie od samych produktów” [1, s. 12].

Aktualnie każdy projekt iluminacji i oświetlenia powinien spełniać określone kryteria ekonomiczne, energetyczne i ekologiczne, takie jak: oszczędność zużycia energii, ograniczenie zanieczyszczenia światłem, szacunek dla świata roślin, zwierząt i firmamentu ciemnego nieba. Dąży się, aby aspekty środowiska były ujęte w koncepcjach iluminacji i oświetlenia miast, które aktywnie wdrażają strategię zrównoważonego rozwoju. Minimalizowanie wpływu oświetlenia publicznego na środowisko można ująć w kilku punktach:

- zapobieganie niepotrzebnemu oświetleniu, oświetlenie powinno być instalowane wyłącznie tam gdzie jest niezbędne,
- uwzględnianie kryteriów środowiskowych w przetargach publicznych w zakresie oświetlenia,
- określenie celów w zakresie efektywności energetycznej w umowach serwisowych,
- promowanie i wykorzystanie energooszczędnych lamp, które zmniejszają ryzyko związane z zanieczyszczeniem świetlnym: powietrza, wody i ziemi,
- sterowanie oprawami oświetleniowymi, ściemnianie w warunkach, które na to pozwalają.

Mając na uwadze, że prawie każdy kryzys gospodarczy przekłada się na restrykcje budżetowe i energetyczne, w planach iluminacji i oświetlenia należy te aspekty uczynić istotnym elementem weryfikacji założeń projektowych. Ten tryb postępowania wdrożyło już wiele państw stawiając na holistyczny kierunek działań. Przykładem mogą być Włochy, Holandia, Niemcy oraz Francja, których metody i strategie sporządzania planów oświetleniowych zostały przybliżone. Dąży się do uzyskania jak najlepszych efektów przy jak najniższych kosztach i działaniach eliminujących negatywny wpływ na środowisko. W tym kontekście można zaryzykować stwierdzenie, że Polska jest na wczesnym etapie rozwoju prac w tym zakresie. Aby wykorzystać doświadczenia państw bardziej zawansowanych należałoby podjąć działania w kierunku:

- regulacji prawnych polegających na wprowadzenia wytycznych odnośnie oświetlenia i iluminacji do planów zagospodarowania przestrzennego,
- określenia szczegółowych zaleceń (w tym formy i zakresu) oraz trybu sporządzania planów oświetleniowych.

Aktualnie każdy wdrażany projekt oświetlenia i iluminacji powinien zakładać takie rozwiązania, które nie niszczą elementu cienia i wykazują szacunek do ciemności. Od



projektantów i władz miasta zależy, czy iluminacja będzie wynikiem zrozumienia krajobrazu i przyczyni się do wniesienia „nowej wartości”, czy też przyspieszy eksploatację i degradację środowiska. Czy będzie traktowana jako „podbój” krajobrazu przez człowieka, czy też będzie wyrazem szacunku wobec przyrody i dziedzictwa kulturowego.

#### LITERATURA

- [1] „iGuzzini”, 2013-14: External lighting systems, Recanati, Italy, 2013.
- [2] GAMBIER G., *The great story behind the 8th December in Lyon*, Editions La Taillanderie, Châtillon-sur-Chalaronne, France, 2004.
- [3] LUCI Lighting Urban Community International, *Light as a tool for tourism development*, Lyon, France 2012.
- [4] NARBONI R., *Lighting the landscape*, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel–Berlin–Boston 2004.
- [5] PLUS *Mainstream Guide, Guidelines from cities on sustainable public lighting strategies*, Sepec, France, 2012.
- [6] *The Journal Official* - Chapter II/ *Prevention of light pollution*, Articles R. 583-1–R. 583-7 21.
- [7] ZIENOWICZ M., *Iluminacja krajobrazu miasta na przykładzie Lyonu*, Architektura Krajobrazu, nr 4/2010, 59–66, Wydawnictwo Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław.

#### HOLISTIC CONSIDERATIONS OF CONTEMPORARY ILLUMINATION AND URBAN LIGHTING

Currently, each of illumination and lighting design should meet certain economic criteria, energy and environmental issues such as energy savings, reduction of light pollution, respect for the world of plants, animals and dark sky. The ambition is that the environmental aspects are included in all concepts of illumination and lighting as an indicator of the quality of creating a night landscape. Given that almost every economic crisis translates into budget and energy restrictions, in the plans of illumination and lighting, these aspects must make an important element of verification of design intent.

## ROZDZIAŁ XIV

# AKTYWIZACJA ENERGETYCZNA PRZEGRÓD W ZWIĄZKU Z UŻYCIEM NOWYCH MATERIAŁÓW

Jarosław FIGASZEWSKI\*

Przegroda zewnętrzna budynku pełniła zawsze funkcję ochronną i izolującą. Właściwości nowych materiałów budowlanych przyczyniają się do aktywizacji energetycznej poszczególnych jej warstw. Oznacza to poszerzenie zakresu pełnionych przez nią funkcji i zwiększenie jej udziału w procesach gospodarowania energią w budynku. Artykuł przybliży różne sposoby aktywizacji energetycznej ścian zewnętrznych ze szczególnym uwzględnieniem izolacji transparentnej i materiałów zmiennofazowych. Nowe materiały mogą być wkomponowane w przegrodę w różnych konfiguracjach: pojedynczo lub razem, dla zwiększenia efektów energetycznych.

Słowa kluczowe: *budownictwo energooszczędne, ściany zewnętrzne, fotowoltaika, izolacja transparentna, materiały zmiennofazowe*

### 1. WPROWADZENIE

Kryzys energetyczny lat 70. XX wieku zainicjował proces zmian w zakresie kształtowania zewnętrznych przegród. Z jednej strony zwiększyło się zainteresowanie możliwościami korzystania z powszechnie dostępnej energii promieniowania słonecznego. Znalazło to odzwierciedlenie w upowszechnieniu przeszklonych fasad, sprzyjających pasywnym zyskom solarnym i pozyskanie tą drogą energii cieplnej. Przyspieszyło również prace na innowacjami technologicznymi z zakresu energetyki cieplnej i fotowoltaiki, zmierzającymi do integracji aktywnych systemów z budynkiem. Z drugiej strony nabrały znaczenia zagadnienia funkcjonowania przegród w zakresie ochrony termicznej środowiska wewnętrznego. Wymóg energooszczędności spowodował rozwój badań nad nowymi materiałami termoizolacyjnymi zastosowanymi w obrębie wielowarstwowych ścian.

---

\* Katedra Strategii Projektowania i Nowych Technologii w Architekturze, Wydział Architektury, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice.

Konsekwencją dalszych zmian może być zatarcie dotychczasowego, uogólnionego podziału przegród z uwagi na pełnione funkcje energetyczne: transparentne – pozyskanie energii, wielowarstwowe – ochrona termiczna. Proces ten indukują dwa czynniki: coraz lepsze właściwości termoizolacyjne zestawów szklanych, a także implementacja w strukturę wielowarstwowych przegród nowych materiałów, które wnoszą nowe zadania, nowe funkcje. Drugi z tych czynników uaktywnia przegrodę w zakresie działań energetycznych.

## 2. PODSTAWOWE FUNKCJE PRZEGRODY

Immanentną cechą budowlanej przegrody zewnętrznej jest oddzielenie środowiska wewnętrznego od zewnętrznego. Potrzeba taka wynika z konieczności stworzenia w miarę stabilnych warunków środowiskowych, odpowiadających charakterystyce użytkownika budynku. One to określają wymagania stawiane zewnętrznej osłonie. Aby utrzymać w domu niezakłócony rytm biologiczny człowieka, przegroda pełni funkcję ochronną i izolującą przed zmiennymi, nie zawsze przyjaznymi warunkami otoczenia, na które zwykle nie mamy większego wpływu. Przede wszystkim chroni przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych, takich jak dobowe lub sezonowe wahania temperatury, burza, wiatr, opady (deszczu, śniegu), zanieczyszczenia powietrza. Ogranicza również wpływ oddziaływań akustycznych i świetlnych, zabezpiecza przed zagrożeniami ze strony innych ludzi lub zwierząt. Przegroda działa przy tym w obie strony niczym filtr, a stopień jej przepuszczalności warunkuje wymianę bodźców między środowiskami. Dla przykładu steruje ona dostępem ciepła z otoczenia do budynku, ale także ułatwia pozbycie się jego nadmiaru. Dla naturalnej potrzeby wyciszenia chroni ona użytkowników obiektu przed hałasem z sąsiedztwa, ale równocześnie dla zapewnienia im intymności ogranicza przenikanie dźwięków na zewnątrz. Skuteczność ochrony przed wszystkimi tymi oddziaływaniami zależy od jej cech fizycznych (grubość, szczelność konstrukcyjna) i materiałowych.

Podstawowe funkcje przegrody budowlanej wywołują oczywiste skojarzenia z rolą, jaką pełni skóra w organizmie człowieka. Głosi o tym teoria biologii budownictwa (niem. *Baubiologie*). Przegroda przyjmuje w niej postać kolejnej, trzeciej skóry, po własnej człowieka i ubraniu, i podobnie jak ona chroni, izoluje i reguluje naturalne przepływy. Ułatwia oddychanie i pozbywanie się nadmiernej wilgoci. Jej stan i kondycja decydują o zdrowiu i samopoczuciu człowieka [6].

Aspekt zdrowotności we współczesnych wymaganiach wskazuje na potrzebę usunięcia wszelkich uciążliwości odczuwalnych przez użytkowników budynku, których źródłem może być sama przegroda. Błędy konstrukcyjne, czy też stosowanie sztucznych materiałów, pozbawionych fizjologicznego ciepła i wyrazistego charakteru, nie rzadko złożonych z toksycznych składników, nie pozwalają stworzyć bezpiecznego i przyjaznego środowiska dla mieszkańców. W trakcie eksploatacji mogą pojawić się kolejne czynniki szkodliwe dla zdrowia, np. procesy biologiczne w strukturze mate-

riałowej, które mogą wpłynąć destrukcyjnie na przegrodę i zakłócić jej prawidłowe funkcjonowanie. Substancja budowlana ma zatem nie tylko chronić przed oddziaływaniem zewnętrznym, ale także sama nie stwarzać żadnych zagrożeń dla zdrowia i życia użytkowników.

### 3. POSZERZENIE ZAKRESU FUNKCJONALNEGO ZEWNĘTRZNYCH PRZEGRÓD WIELOWARSTWOWYCH

W kategoriach energetycznych rola ściany wielowarstwowej sprowadza się zwykle do ochrony termicznej budynku. Z uwagi na niski stopień przepuszczalności zewnętrznych bodźców zachowuje się ona stosunkowo biernie w porównaniu z przeszkloną przegrodą, odpowiedzialną za zyski cieplne z promieniowania słonecznego.

W ścianie wielowarstwowej poszczególne warstwy mają przypisane role:

- warstwa nośna – pełni funkcję konstrukcyjną, usztywniającą konstrukcję budynku;
- warstwa izolacyjna – odpowiada za ochronę termiczną budynku, ogranicza wymianę ciepła między środowiskami;
- warstwa ochronna – osłania materiał izolacyjny przed uszkodzeniem mechanicznym i zawilgoceniem, jako zewnętrzna powłoka ma wpływ na estetykę budynku.

W ramach doskonalenia przegrody podejmuje się działania, mające na celu zwiększenie jej efektywności energetycznej dla poprawy bilansu cieplnego budynku. Polegają one na:

- uzyskaniu korzystniejszych parametrów technicznych poszczególnych warstw przegrody w ramach pełnionych przez nie funkcji;
- poszerzeniu zakresu funkcjonalnego przegrody i poszczególnych jej warstw.

W ramach modyfikacji można polepszyć właściwości warstwy izolacyjnej, zmieniając przez to parametry energetyczne całej przegrody. Przykładem jest wprowadzenie izolacji próżniowej, znacznie bardziej skutecznej w ochronie cieplnej budynku niż inne rozwiązania termoizolacyjne (ang. *vacuum panels* – 0,008 W/mK). Jednakże w takim wypadku nie zmienia się sposób funkcjonowania całości. Inna koncepcja usprawnień zakłada wprowadzenie materiału o nowych właściwościach, który dokona przewartościowania dotychczasowej roli pojedynczej warstwy w przegrodzie i wzbogaci zakres pełnionych przez nią funkcji. Ingerencja w tradycyjną strukturę wielowarstwowych ścian może być bardziej radykalna i dotyczyć nie jednej, ale kilku jej warstw. Dla zwiększenia efektów energetycznych interesująca zatem wydaje się być perspektywa aktywizacji energetycznej przegrody, dotąd odpowiedzialnej jedynie za ochronę termiczną budynku, teraz przyjmującej nowe zadania. Materiały, znane już z innych zastosowań, dają taką szansę. W ramach poszczególnych warstw przegrody odbywa się to przy udziale następujących grup rozwiązań materiałowych:

- warstwa ochronna – BIPV, czyli zintegrowane z budynkiem struktury fotowoltaiczne;

- warstwa izolacyjna – TWD, czyli izolacja transparentna;
- warstwa nośna – PCM, czyli materiały zmiennofazowe.

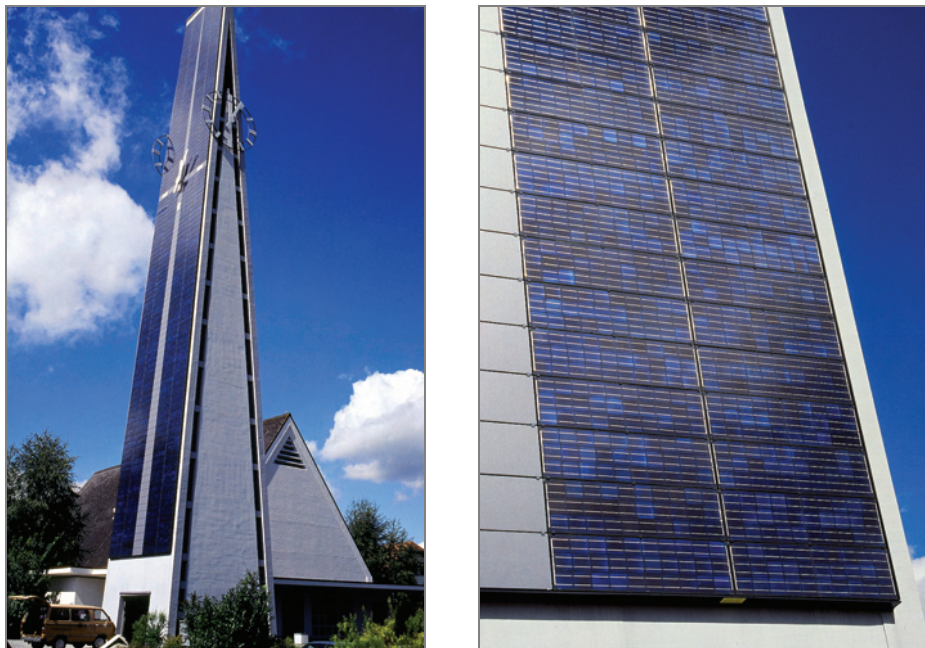
Dzięki nim przegroda wielowarstwowa przestaje wyłącznie chronić i izolować wnętrze budynku. Zwiększa bowiem swój udział w procesach gospodarowania energią. Zakres jej działań znacznie się poszerza: wytwarza energię elektryczną, wspomaga pracę innych systemów aktywnych związanych z energetyką cieplną, pośredniczy w transmisji światła, w ramach biernych systemów uczestniczy w pozyskaniu energii promieniowania słonecznego dla celów grzewczych, pochłania ciepło i gromadzi je na znacznie większą skalę niż w powszechnie stosowanych rozwiązaniach, uwalnia je i rozprowadza. Z uwagi na możliwą współpracę poszczególnych warstw w obszarze energetycznym można doszukiwać się w tak udoskonalonych przegrodach wielowarstwowych początku urzeczywistnienia idei wielofunkcyjnej ściany Mike'a Davisa (ang. *polyvalent wall*), której teoretyczny model był znacznie bardziej zaawansowany technologicznie.

#### 4. BIPV – ZINTEGROWANE STRUKTURY FOTOWOLTAICZNE

Systemy BIPV (ang. *building integrated photovoltaics*) to aktywne systemy oparte na koncepcji stałych struktur fotowoltaicznych, stanowiących integralną część budynku. Oznacza to, że nie możemy klasyfikować jako BIPV wszelkich rozwiązań addytywnych, zamocowanych do struktury budynku przy pomocy konstrukcji wyłącznie im przypisanej, ani nałożonych na właściwą powłokę obiektu. W systemach tych moduły PV (ang. *photovoltaics*) stają się elementem poszycia ścian i dachu. Zastępują one tradycyjne materiały wykończeniowe, przejmując ich podstawowe funkcje. Odpowiadają zatem za ochronę warstwy izolacyjnej przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych, a także mają wpływ na estetykę budynku, wzbogacając treść obudowy w warstwie kompozycyjnej (rys. 1). Ponadto wnoszą szczególną wartość – są wytwornikiem prądu, energii najwyższej jakości. Jest to możliwe dzięki zjawisku konwersji fotoelektrycznej, czyli przemiany energii promieniowania słonecznego bezpośrednio w energię elektryczną. Zachodzi ona w materiale półprzewodnikowym ogniwa. Dodatkowo, pozyskane w trakcie pracy ogniwa ciepło może być wykorzystane do celów grzewczych m.in. przez wstępne podgrzanie powietrza nawiewanego do pomieszczeń. Aspekt energetyczny systemów BIPV pozwala w użyteczny sposób zagospodarować dużą powierzchnię fasad i dachu. Ogniwa fotowoltaiczne to urządzenia, czyli aktywizacja powłoki ma w tym przypadku podwójne znaczenie.

Asortyment rozwiązań materiałowych obejmuje klasyczne ogniwa z krzemu mono- lub polikrystalicznego, ogniwa cienkowarstwowe z krzemu postaci amorficznej lub wykorzystujące różne związki półprzewodnikowe (np. CIS, zawierający miedź, ind i selen). W technologiach najnowszej generacji, opartych na związkach organicznych (ogniwa polimerowe) lub ich hybrydach z materiałami nieorganicznymi (ogniwa

barwnikowe) raczej należy się spodziewać zastosowań wyłącznie w przeziernych fasadach.

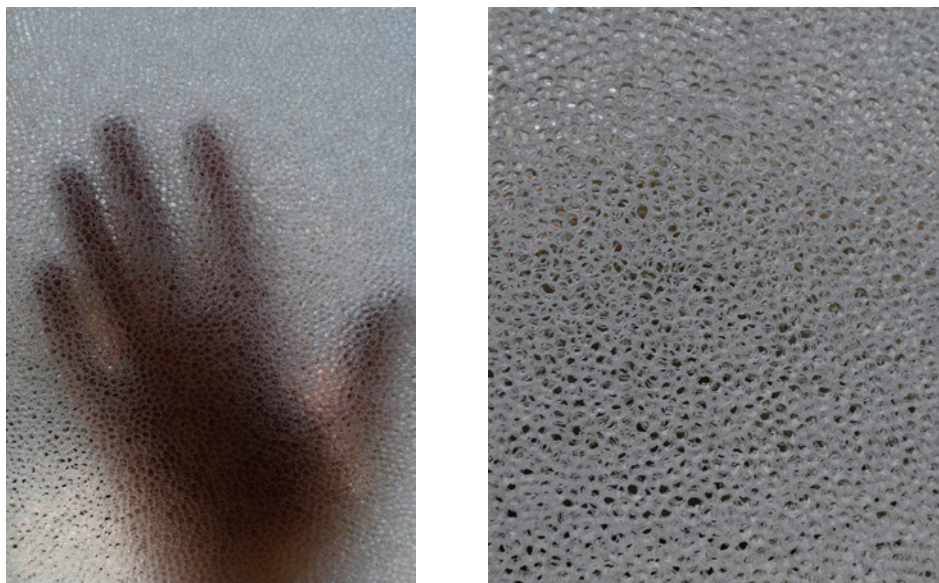


Rys. 1. Kościół w Steckborn w Szwajcarii: a) widok wieży kościelnej, b) zbliżenie zintegrowanych z wieżą struktur fotowoltaicznych, fot. A. Lisik

## 5. TWD – IZOLACJA TRANSPARENTNA

Przezroczyste materiały izolacyjne TWD (niem. *Transparente Wärmedämmung*), TIM (ang. *transparent insulating material*) to komponenty energetyczne pasywnych systemów, stosowanych w architekturze solarnej. Z uwagi na dobre właściwości termoizolacyjne tworzą one barierę zabezpieczającą wnętrze budynku przed utratą ciepła. Równocześnie ze względu na swoją przezierność przejmują rolę przeszklonej ściany, gwarantując zyski ciepła z nasłonecznienia i zapewniając transmisję światła dziennego (rys. 2a). Swoje właściwości zawdzięczają specyficznej budowie i charakterystyce użytego materiału. Dla potrzeb ścian kolektorowych w systemach zysków pośrednich przybierają one postać kapilarnych struktur naczyń włoskowatych (rys. 2b) lub płyt komorowych o przekroju kwadratowym lub heksagonalnym (tzw. „plaster miodu”). Dobra izolacyjność termiczna jest wynikiem ograniczonej konwekcji w długich rurkowatych komorach o jak najmniejszych średnicach, wypełnionych powietrzem lub innym gazem. Sytuowane są one najczęściej prostopadle do ściany kolektora-

rowej. Wysoka przepuszczalność promieniowania jest z kolei osiągnięta przez użycie materiałów przezroczystych, takich jak szkło, tworzywa sztuczne na bazie akrylu (poliwęglan, polimetakrylan metylu) i acetyloceluloza. Utworzone z nich rurki przenoszą promieniowanie słoneczne na podobnej zasadzie jak w światłowodach [6]. Dzięki takim właściwościom otrzymujemy płyty izolacyjne o niskim współczynniku przenikania ciepła (poniżej  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , zależnie od grubości płyty) i wysokim stopniu transmisyjności dla promieniowania słonecznego rzędu 70% [1].



Rys. 2. Przykład izolacji transparentnej na bazie akrylu umieszczonej w zestawie szklanym:  
a) przezierność TWD, b) zbliżenie kapilarnej struktury TWD, fot. J. Figaszewski

W przegrodach wielowarstwowych izolacja termiczna z uwagi na przezierność zyskuje na znaczeniu jeszcze z jednego powodu. Aby pozyskać energię z promieniowania słonecznego musi być ona wyeksponowana w obudowie. Funkcja ta wprawdzie nie ma wpływu na bilans energetyczny budynku, ale służy artykulacji treści energetycznych przy udziale materiału dotąd niewidocznego na elewacji. Dla izolacji termicznej nie mniej ważne stają się walory estetyczne.

## 6. PCM – MATERIAŁY ZMIENNOFAZOWE

Materiały zmiennofazowe (ang. *phase change materials*) to rozwiązania materiałowe, które aktywizują energetycznie zewnętrzną przegrodę przez swoją zdolność wchłaniania, gromadzenia i uwalniania ciepła na skalę niespotykaną dotąd w budow-

nictwie energooszczędnym. Pomimo małej masy i objętości ich pojemność cieplna osiąga wartość  $18 \text{ MJ}/(\text{m}^3\text{K})$  i jest wielokrotnie wyższa od tradycyjnych materiałów akumulacyjnych. Materiały PCM stosowane w budownictwie w ramach systemów biernych ulegają przemianom fazowej (topnienie-zestalenie), która zachodzi w zakresie zmian temperatury w pomieszczeniu. W trakcie tego procesu absorbują energię cieplną z otoczenia, a następnie ją przechowują w postaci utajonej, tzn. bez wyraźnej zmiany swojej temperatury. Możliwości takie posiadają materiały organiczne (np. parafiny, kwasy tłuszczowe) i substancje nieorganiczne (np. sole i ich hydraty).

Zdolność akumulacyjna i efektywność wchłaniania i uwalniania ciepła pozwalają zapewnić stabilne warunki termiczne środowisku wewnętrznemu, korzystając w zimie z zysków pochodzących z promieniowania słonecznego, a latem funkcjonując jak odbiornik ciepła. Materiały te stają się przez to skutecznym narzędziem strategii ogrzewania i chłodzenia w budynku [1, 7].

Przemianom fazowym materiałów towarzyszy zmiana stopnia przezierności. Z materiału nieprzejrystego w stanie stałym stają się substancją przeświecającą o wysokim stopniu transmisji światła [5]. Właściwość ta może być wykorzystana do kształtowania estetyki wnętrza.

## 7. SPOSOBY IMPLEMENTACJI W PRZEGRODZIE NOWYCH MATERIAŁÓW

### 7.1. MODYFIKACJA POJEDYNCZYCH WARSTW PRZEGRODY

Pojedyncze warstwy zewnętrznych przegród wielowarstwowych budynku mogą być miejscem implementacji nowych materiałów, odpowiedzialnych za aktywizację energetyczną przegrody:

- powłoka ochronna zewnętrzna – w miejsce tradycyjnych rozwiązań zastosowanie różnych systemów przekryć dachowych w ramach BIPV w postaci: modułów fotowoltaicznych z mono- lub polikrystalicznego krzemu montowanych na szynach na dachach spadzistych lub szedowych, cienkowarstwowych ogniw w arkuszach rozłożonych na całej powierzchni, odwzorowujących pokrycia z płaskiej blachy, fotowoltaicznych gontów z krzemu amorficznego w postaci arkuszy imitujących pokrycia bitumiczne, stylizowanych imitacji dachówek ceramicznych lub blachodachówek; w przypadku nieprzeziernych ścian użycie fotowoltaicznych paneli okładzinowych [2];
- warstwa izolacyjna – zamiast powszechnie stosowanych rozwiązań termoizolacyjnych wprowadzenie zestawów szklanych z izolacją transparentną w ramach systemów modułowych, mocowanych przy pomocy rusztu do masywnej ściany budynku, dla ograniczenia zysków cieplnych w okresie letnim zintegrowanych z osłonami przeciwsłonecznymi lub z wentylowaną szczeliną między zestawem szklanym a ścianą akumulującą ciepło; alternatywą dla zestawów szklanych są



- plyty komorowe kapilarne TWD, bezpośrednio mocowane do masywnej ściany, pokryte na zewnątrz tynkiem szklanym;
- warstwa akumulacyjna – przy zachowaniu tradycyjnej izolacji reaguje wyłączenie na temperaturę wewnątrz budynku; mogą ją tworzyć porowate elementy budowlane (cegły, bloczki betonowe) wypełnione materiałem zmiennofazowym, np. bloczki ze spienionego betonu z dodatkiem zawiesiny Micronal; w przypadku uwolnienia warstwy z funkcji nośnej, a utrzymania statusu masy termicznej można wprowadzić zasobniki wypełnione PCM;
  - warstwa wykończeniowa wewnętrzna – zastosowanie dla stabilizacji temperatury w pomieszczeniu zaprawy gipsowej z dodatkiem materiału zmiennofazowego w postaci mikrogranulatu [3].

## 7.2. ŁĄCZENIE IZOLACJI TRANSPARENTNEJ Z MATERIAŁAMI ZMIENNOFAZOWYMI

Dla osiągnięcia lepszych efektów energetycznych istnieje możliwość współpracy transparentnej izolacji termicznej z materiałami zmiennofazowymi. Materiały TWD w zestawach szklanych przylegają wówczas do warstwy akumulacyjnej, bądź też zachowują pewien dystans dla szczeliny wentylacyjnej. Chronią one budynek przed stratami ciepła w okresie grzewczym, ale również pozyskują energię z promieniowania słonecznego, gromadzoną w masie termicznej. Warstwę akumulacyjną stanowią tradycyjne materiały budowlane nasycone PCM lub zasobniki wypełnione materiałem zmiennofazowym. Szczelina wentylacyjna chroni budynek przed zyskami z promieniowania słonecznego w okresie letnim. Ułatwia także pozbycie się nadmiaru ciepła z pomieszczenia w sytuacji, kiedy ściana akumulacyjna z PCM działa jako powierzchnia chłodząca w warunkach zmiennych obciążeń cieplnych wnętrza.

## 7.3. ŁĄCZENIE OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH Z MATERIAŁAMI ZMIENNOFAZOWYMI

Własności elektryczne ogniw PV uzależnione są od charakterystyki cieplnej jego pracy. Podczas konwersji fotoelektrycznej wyzwala się duża ilość energii termicznej. Wzrost temperatury zmniejsza sprawność i maksymalną moc ogniw. Sposobem stabilizacji temperatury ogniw PV jest wykorzystanie właściwości materiałów zmiennofazowych w celu odbioru ciepła. Ich przydatność wynika z bardzo dobrej akumulacyjności termicznej, a także z faktu magazynowania ciepła w postaci utajonej. Wypełnione nimi płaskie, ożebrowane zasobniki są umieszczane w strukturze wielowarstwowych przegród tuż za panelami PV. Materiał zmiennofazowy przejmuje ciepło wygenerowane pracą ogniw, zmienia swój stan skupienia i będąc cieczą gromadzi je w sobie. Z powodu utajonej postaci ciepła nie zmienia się temperatura zasobnika, który tym sposobem oddziałuje na moduły PV jako powierzchnia chłodząca. Obniżenie temperatury otoczenia inicjuje proces zestalania substancji. W jego następstwie uwalnia się energia, która przekazywana jest w nocy do wnętrza budynku [3, 4].

## 8. PODSUMOWANIE

Współczesne rozwiązania materiałowe (TWD, PCM, BIPV) pokazują, że można w strukturze wielowarstwowej przegrody zewnętrznej dokonać takich modyfikacji, które włączają ją w szerszym zakresie do zachodzących w budynku procesów gospodarowania energią. Stają się one źródłem wymiernych korzyści, odczuwalnych w bilansie energetycznym. Z uwagi na te nowe właściwości nie należy spodziewać się w przyszłości zapowiadanej dominacji przegród transparentnych w budownictwie energooszczędnym. To co było dotąd wyłącznym atutem przeszklonych fasad, staje się także cechą ścian wielowarstwowych. Wskutek użycia TWD mogą one przecież odpowiadać nieomal w równym stopniu za zyski ciepłe z promieniowania słonecznego. Równocześnie wzrasta ich rola w kształtowaniu wizualnym obiektu. Każda z warstw przegrody może mieć w tym udział. Z uwagi na duże zróżnicowanie formalne, fakturowe i kolorystyczne znacznie poszerzają one asortyment rozwiązań materiałowych.

Polska stoi przed koniecznością wdrażania idei budownictwa zero energetycznego. Zobowiązuje do tego dyrektywa 2010/31/EU za pośrednictwem krajowych regulacji. Zastosowanie bardziej udoskonalonych w zakresie energetycznym rozwiązań materiałowych, przybliżonych w niniejszym artykule, może pomóc w realizacji jej wymogów. Jak dotąd główną barierą ograniczającą ich użycie jest wysoka cena. Nie bez znaczenia jest jednak fakt, że dzięki różnorodności rozwiązań i możliwości elastycznego doboru parametrów stosownie do potrzeb, pozwalają one szybciej osiągnąć zamierzone efekty. W obliczu nadchodzących zmian ustawowych, rzetelna kalkulacja wszystkich czynników może przyczynić się do zaistnienia, a w przypadku fotowoltaiki do większego upowszechnienia takich rozwiązań na polskim rynku.

## LITERATURA

- [1] CHWIEDUK D., *Energetyka słoneczna budynku*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2011.
- [2] EIFFERT P., KISS G., *Building integrated photovoltaic designs for commercial and institutional structures: a sourcebook for architects*, <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/25272.pdf>, Dostęp: 9.12.2012.
- [3] HARLAND A., MACKAY C., VALE B., *Phase change materials in architecture*, SB10 New Zealand, [http://www.branz.co.nz/cms\\_show\\_download.php?id=28b30623df64be68dbef2b0fc461241f85f370b3](http://www.branz.co.nz/cms_show_download.php?id=28b30623df64be68dbef2b0fc461241f85f370b3), Dostęp: 30.04.2012.
- [4] HUANG M.J., EAMES P.C., NORTON B., *Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials*, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 47, 2004, 2715–2733.
- [5] JAIN L., SHARMA S.D., *Phase change materials for day lighting and glazed insulation in buildings*, Journal Of Engineering Science And Technology, Vol. 4, No. 3, 2009, 322–327.
- [6] MIKOŚ-RYTEL W., *O zrównoważonej architekturze ekologicznej i zarysie jej teorii*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [7] LA ROCHE P., *Carbon-neutral architectural design*, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York 2012.

THE ENERGY ACTIVATION OF PARTITIONS IN RELATIONSHIP  
TO THE NEW MATERIALS USE

The external partition of building has always been of protective and isolating function. The properties of new building materials contribute to energy activation of its individual layers. It means extension of the range of its functions and its enlargement in the processes of energy management in a building. The paper presents different ways of energy activation of the external walls with special regard to the transparent insulation (TIM) and phase change materials (PCM). New materials can be put into the partition composition in different configurations: individually or together, to enlarge energetic effects.

## ROZDZIAŁ XV

# PANELE SOLARNE JAKO IMMANENTNE ELEMENTY PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH

Piotr KUCZIA\*

Integracja aktywnych elementów solarnych polega na kształtowaniu obiektów tak, aby elementy te przejmowały funkcjonalne, techniczne lub estetyczne zadania składników lub warstw przegród zewnętrznych. Otwiera ona nowe możliwości kształtowania architektury. Przeprowadzona zostaje klasyfikacja rozwiązań, omówione zostają wymagania projektowe, potencjał ekonomiczny oraz zalety i ograniczenia. W oparciu o wybrane projekty z praktyki projektowej autora przedstawione zostają różnorodne przykłady integracji paneli solarnych i wskazane możliwości ich zastosowania.

Słowa kluczowe: *integracja rozwiązań solarnych*

### 1. INTEGRACJA PANELI SOLARNYCH

Jedną z najbardziej sensownych i ekonomicznych form zastosowania aktywnych rozwiązań solarnych, zwykle w postaci paneli ogniów fotowoltaicznych lub – rzadziej – kolektorów słonecznych, jest ich integracja z przegrodami zewnętrznymi.

Panele solarne zintegrowane z przegrodami zewnętrznymi przejmują lub zastępują część funkcjonalnych, technicznych, czy też estetycznych zadań elementów lub warstw tych przegród. Stają się one immanentnym elementem elewacji lub dachu budynku [5].

#### 1.1. KONTEKST HISTORYCZNY I PERSPEKTYWY

Próby integracji aktywnych rozwiązań solarnych z przegrodami zewnętrznymi w budynkach podejmowano już od początków lat osiemdziesiątych XX wieku: na rynku pojawiły się wtedy tzw. dachówki energetyczne. Od zewnątrz nie różniły się one wizualnie od konwencjonalnych pokryć dachowych. Połączone ze sobą tworzyły zintegrowane systemy cieczowych kolektorów dachowych. Ich funkcja ukryta była za

---

\* Dr inż. architekt Piotr Kuczia projektuje w agn Group w Niemczech i prowadzi własną działalność projektową w Polsce i Niemczech.

konwencjonalną formą. Również współcześnie spotyka się kontynuację takiego estetycznego podejścia, polegającego na kamuflowaniu funkcji aktywnych rozwiązań solarnych (np. Rheinzink QUICK-STEP). W przypadku większości obecnie stosowanych zintegrowanych paneli solarnych ich funkcja bywa zwykle świadomie eksponowana – jest ona od razu widoczna i rozpoznawalna. Instalacje ze zintegrowanymi panelami solarnymi zaczęły nabierać znaczenia i pojawiać się częściej w architekturze w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Mimo, że przepowiadano im wtedy szybki rozwój – do dziś nie stały się one rozwiązaniem powszechnym. Przyczyny ich niewielkiej popularności są wielorakie: oprócz wysokich kosztów lub konieczności uwzględniania zintegrowanych rozwiązań solarnych od samego początku inwestycji, powodem jest także stosunkowo mało rozpropagowana wiedza na ten temat.

## 1.2. KLASYFIKACJA

Architektoniczna integracja aktywnych rozwiązań solarnych odbywać się może na trzech poziomach zaawansowania [2, 6], jako (rys. 1):

- a) aplikacja (integracja wizualna)
- b) konstrukcyjna addycja
- c) konstrukcyjna integracja.



Rys. 1. Poziomy integracji aktywnych paneli solarnych – schematyczne przekroje, oprac. własne

Aplikacja, czyli integracja wizualna, jest najniższym stopniem integracji aktywnych elementów solarnych. Są to rozwiązania, w których panele solarne pod względem wizualnym stają się częścią przegrody zewnętrznej, lecz nie przejmują jej technicznych funkcji. Przykładem mogą być ogniwa dachowe „Domu równowagi energetycznej” w Amersfoort (Holandia), arch. Boom/van Straalen z 1998 roku (rys. 2a).

Konstrukcyjna addycja oznacza przejęcie przez panele solarne części funkcji przegrody zewnętrznej, np. ochrony przed warunkami atmosferycznymi. Panele stają się elementarną częścią przegrody. Przykładem konstrukcyjnej addycji jest fasada budynku magazynowego w Bielefeldzie (Niemcy), proj. agn z 2012 roku gdzie panele ogniwa fotowoltaicznych przejmują funkcje zewnętrznej powłoki elewacji i są jednocześnie nośnikami informacji promującym inwestora (rys. 2b).



Rys. 2. Przykłady stopni integracji aktywnych paneli solarnych:  
a) aplikacja, b) addycja, c) integracja, fot. P. Kuczia

Konstrukcyjna integracja jest najwyższym stopniem integracji aktywnych rozwiązań solarnych i oznacza ona przejęcie przez nie większości lub wszystkich funkcji przegrody zewnętrznej, a więc ochrony przed oddziaływaniami atmosferycznymi, ochrony cieplnej, akustycznej itd. Najczęściej spotykanym przykładem są panele fotowoltaiczne zintegrowane z przeszkleniami. Takie rozwiązanie zrealizowano np. w 1999 r. w budynku Akademii Mont Cenis w Herne, gdzie w szyby przeszkleń ścian i dachu zintegrowane zostały ogniwa fotowoltaiczne, pełniące jednocześnie funkcję osłon przeciwsłonecznych (rys. 2c).

Zintegrowane panele solarne nadają się do stosowania także w przypadku renowacji budynków istniejących. Przykładem może być przebudowa historycznych koszarów w Osnabrück na budynki uniwersyteckie, arch. PBR w 2003 roku. Ogniwa fotowoltaiczne są tam integralną częścią pokrycia dachowego z blachy cynkowej, nadając dachowi budynku charakterystycznego wyglądu (rys. 3).



Rys. 3. Integracja ogniw fotowoltaicznych w przypadku renowacji, fot. P. Kuczia

E. Lee wyodrębnia trzy podstawowe obszary zastosowań zintegrowanych paneli solarnych: elewacje, dachy i osłony przeciwsłoneczne [3]. Przykładem integracji ogniw w elementach przeciwsłonecznych jest PlusEnergieHaus w Dortmundzie z roku 2009 zaprojektowany przez architektów HHS (rys. 4).



Rys. 4. Ogniwa fotowoltaiczne zintegrowane z osłonami przeciwsłonecznymi, fot. P. Kuczia

### 1.3. PRZESŁANKI PROJEKTOWE

Właściwa architektoniczna integracja systemów solarnych wymaga uwzględnienia w projekcie zasadniczych typologicznych właściwości przegród zewnętrznych. W przypadku dachów sprawa jest stosunkowo prosta, gdyż rozpatrywane atrybuty sprowadzają się głównie do kształtu, nachylenia i rodzaju pokrycia. Elewacje charakteryzują się koniecznością uwzględnienia szeregu dalszych aspektów, takich jak podział, struktura, proporcje itd., wymagających głębszej analizy w procesie projektowym. Udań pod względem architektonicznym rozwiązania solarne są zwykle wynikiem subtelnego wyważenia wielorakich czynników. Wiele zrealizowanych dotychczas obiektów – mimo poprawnej pod względem technicznym i konstrukcyjnym integracji systemów solarnych – charakteryzuje się niewystarczającym stopniem integracji pod względem estetycznym.

Istnieje potrzeba dalszego rozwoju w tej dziedzinie i jest to zadanie, którego rozwiązanie wymaga interdyscyplinarnej współpracy między architektami i specjalistami innych dziedzin.

Stosowanie zintegrowanych paneli solarnych narzuca konieczność uwzględniania ich w koncepcji od najwcześniejszych faz projektowych. Tylko w ten sposób możliwe jest zapewnienie spójności z architekturą budynku i jednocześnie zapewnienie pożądanej, jak najwyższej wydajności energetycznej.

Projektując rozwiązania ze zintegrowanymi panelami solarnymi, oprócz uwzględnienia czynników estetycznych należy zapewnić m.in.:

- ich optymalną orientację względem słońca (kierunki ekspozycji względem stron świata, kąty nachylenia połąci),
- unikanie ich zacienienia,
- zapobieganie osiadaniu śniegu wzgl. zapewnienie możliwości odśnieżania,
- możliwość wymiany lub naprawy uszkodzonych paneli,
- możliwość czyszczenia powierzchni,

- miejsca lokalizacji koniecznych dodatkowych urządzeń technicznych w wymaganych względami technicznymi odległościach (falowniki, zasobniki itd.).

Oferowane na rynku panele solarne mają przeważnie charakter modułarny i określone wymaganiami technologicznymi wymiary. Względy ekonomiczne zmuszają producentów do unifikacji wyrobów i wytwarzania dużych serii paneli solarnych o jednakowych parametrach technicznych. Wynikiem jest niska dywersyfikacja rynkowa dostępnych formatów i ich wielkości. Oznacza to często konieczność projektowania budynku (wymiary połaci przegród, rozmieszczenie okien itp.) w oparciu o siatkę wymiarów modułów. Jest to odczuwalnym ograniczeniem projektowym. Z drugiej strony, taka unifikacja prowadzi do uporządkowania struktury przegrody zewnętrznej, co zwykle pozytywnie odbija się na estetyce obiektu.

#### 1.4. KONTEKST EKONOMICZNY

W ostatnich latach nastąpił gwałtowny spadek cen ogniw fotowoltaicznych. Przyczyną były liczne inwestycje w zakłady produkcyjne w Europie Zachodniej, będące odpowiedzią na hojne dotacje państwowe i związany z nimi wzrost popytu. Jednocześnie nastąpił szybki rozwój fabryk produkujących panele solarne w Chinach. Doprowadziło to do nadprodukcji, szybkiego spadku cen i wyparcia z rynku części producentów.

W związku ze spadkiem cen, w niektórych przypadkach zastosowanie zintegrowanych paneli solarnych może okazać się obecnie inwestycją opłacalną, nawet bez dotacji lub systemów cen gwarantowanych za oddawaną do sieci energię.

Kluczem do uzyskania takiej opłacalności jest zastąpienie panelami solarnymi konwencjonalnych materiałów wykończeniowych przegród zewnętrznych. W ten sposób – po odjęciu od ceny instalacji solarnej kosztów niezbędnych konwencjonalnych materiałów fasadowych lub dachowych, które jest ona w stanie zastąpić – możliwa jest amortyzacja pozostałych kosztów solarnej inwestycji przez oszczędności powodowane wykorzystaniem pozyskanej w obiekcie energii solarnej. Spodziewany dalszy spadek cen ogniw fotowoltaicznych i wzrost cen energii elektrycznej może pogłębić te tendencje.

#### 1.5. OGRANICZENIA W INTEGRACJI PANELI SOLARNYCH

W stosunku do paneli solarnych instalowanych addytywnie – a więc większości spotykanych w praktyce rozwiązań, np. w postaci modułów solarnych umieszczanych na osobnych, dodanych konstrukcjach na dachach lub elewacjach – rozwiązania zintegrowane ograniczają swobodę w doborze optymalnego położenia względem słońca. Konieczność stosowania ich od samego początku eksploatacji obiektu pozbawia możliwości odkładania decyzji o ich rodzaju, ilości lub rozmieszczeniu dopiero na późniejsze fazy procesu inwestycyjnego. Jednocześnie bardzo wysokie są wymagania względem precyzji wykonania prac budowlanych.



W przypadku paneli fotowoltaicznych, wraz ze wzrostem temperatury spada ich wydajność – integracja w przegrody zewnętrzne ogranicza możliwości ich chłodzenia przez naturalną wentylację.

## 2. PRZYKŁADY Z WŁASNEJ PRAKTYKI PROJEKTOWEJ

Autor zastosował panele solarne zintegrowane z przegrodami zewnętrznymi w wielu projektach autorskich lub wykonywanych w ramach pracowni agn Group. Przedstawione poniżej przykłady stanowią wybór własnych prac projektowych.

### 2.1. STADIONY PIŁKARSKIE – PROJEKTY KONCEPCYJNE W PRACOWNI agn GROUP

W wykonywanym przez autora w pracowni agn Group projekcie konkursowym trzydziestotysięcznego stadionu piłkarskiego w Moguncji (2011) na dachu obiektu przewidziano 11000 modułów ogniw fotowoltaicznych, które rocznie wytwarzają ok. 700000 kWh energii elektrycznej. Kosztowne rozwiązanie (łącznie 3 mln Euro) finansowane było ze sprzedaży certyfikatów depozytowych oferowanych mieszkańcom Moguncji i okolic. Integracja zastosowanych w obiekcie ogniw cienkowarstwowych miała charakter aplikacji (rys. 5).



Rys. 5. Ogniwa fotowoltaiczne na dachu stadionu w Moguncji, fot. agn Group

Integrację paneli solarnych na zasadzie aplikacji zastosowano także w projekcie stadionu piłkarskiego w austriackim mieście St. Pölten (2012). Najbardziej charakterystycznym elementem obiektu jest tzw. „Sonnenscheibe” czyli „słoneczny krąg” – płaska, okrągła tarcza dachowa wykonana w konstrukcji drewnianej nad trybunami ośmiotysięcznego stadionu. Na jej powierzchni (ok. 14500 m<sup>2</sup>) umieszczone zostały baterie ogniw fotowoltaicznych o łącznej mocy nominalnej ok. 300000 kWp (rys. 6).



Rys. 6. „Słoneczna tarcza” z ogniwami fotowoltaicznymi na dachu stadionu w St. Paten, fot. agn Group

## 2.2. BIUROWIEC W OSNABRÜCK – PROJEKT AUTORA W PRACOWNI agn GROUP

Elewacja budynku biurowego dla przedsiębiorstwa energetycznego Stadtwerke w Osnabrück (2012) jest przykładem konstrukcyjnej addycji paneli solarnych w powierzchnię fasady budynku. Zastosowane moduły fotowoltaiczne przejmują funkcję zewnętrznej warstwy elewacji, zabezpieczając ścianę przed bezpośrednimi wpływami atmosferycznymi (rys. 7).



Rys. 7. Solarna fasada budynku biurowego Stadtwerke w Osnabrück, fot. agn Group

## 2.3. SAMOWYSTARCZALNA WILLA – PROJEKT AUTORSKI

Zamiarem inwestora było stworzenie domu, który w stosunku rocznym byłby całkowicie samowystarczalny pod względem energetycznym. W zaproponowanym rozwiązaniu budynek celowo otrzymał podłużną formę, aby uzyskać jak największą powierzchnię zwróconej w stronę słońca elewacji południowej, która w całości ma być pokryta bezramowymi, cienkowarstwowymi modułami ogniw fotowoltaicznych. Moduły te przejmują funkcję warstwy wykończeniowej elewacji (konstrukcyjna addycja), tworząc estetyczną powierzchnię zabezpieczającą przed oddziaływaniami atmosferycznymi (rys. 8). Cały projekt powstał w oparciu o siatkę modułów podyktowaną wymiarami paneli.



Rys. 8. Panele solarne na fasadzie samowystarczальной willi plus-energetycznej, oprac. własne

#### 2.4. „MĄDRIAN” – MODELOWY DOM PLUS-ENERGETYCZNY

Modelowy dom plus-energetyczny „Mądrian” jest przeznaczonym do powielania budynkiem w technologii pasywnej (posiada on wstępny certyfikat Polskiego Instytutu Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej). Południowa fasada i połać dachu całkowicie pokryte są bezramowymi, cienkowarstwowymi modułami fotowoltaicznymi. Są one estetycznym materiałem wykończeniowym elewacji i dachu oraz chronią pozostałe warstwy przegród przed oddziaływaniami pogodowymi. Łączna powierzchnia ogniw wynosi  $101 \text{ m}^2$ , a zakładana moc nominalna systemu  $11 \text{ kWp}$ .

Dom od samego początku projektowany był w oparciu o siatkę osi wynikającą z wymiarów zastosowanych paneli (rys. 9a, b). Jego koncepcja powstawała w ścisłej współpracy ze specjalistami z branż instalacyjnej, energetycznej i konstrukcyjnej.

W trakcie prac projektowych prowadzone były szczegółowe symulacje energetyczne i analizy ekonomiczne obiektu. W ich wyniku udało się zoptymalizować bilans energetyczny w taki sposób, żeby budynek w stosunku rocznym wytwarzał więcej energii w ogniwach solarnych, niż będzie zużywał w eksploatacji. Jak wynika z obliczeń, dom pozyskiwać będzie rocznie  $8900 \text{ kWh}$  energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych (miesięczne zyski energetyczne przedstawione są na rys. 9c), jego zapotrzebowanie na energię użytkową wyniesie w tym okresie ok.  $4600 \text{ kWh}$ , a na pozostałą energię elektryczną w gospodarstwie domowym  $3400 \text{ kWh}$ . Ogniwa solarne będą więc wytwarzać nadwyżkę energii rzędu ok.  $880 \text{ kWh/rok}$ .

Z przeprowadzonych analiz ekonomicznych wynika, że po odjęciu kosztów zaoszczędzonych materiałów fasadowych i dachowych zastąpionych przez panele, przy obecnych cenach ogniw udaje się zredukować cenę instalacji solarnej o 30%. Moduły fotowoltaiczne wytwarzać będą rocznie prąd o wartości ok. 7–10% tej pozostałej kwoty, więc możliwa jest amortyzacja inwestycji nawet w ciągu jednej dekady/kilkunastu lat. Jednocześnie dachu i fasady pokryte zostają trwałym i estetycznym materiałem. Projekt zdobył wyróżnienie honorowe i nagrodę sponsora w konkursie wydawnictwa Murator w roku 2013.



Rys. 9. Dom modelowy: a) elewacja, b) wizualizacja, c) wyniki symulacji energetycznej, oprac. własne

## 2.5. INNE PROJEKTY AUTORSKIE ZE ZINTEGROWANYMI PANELAMI SOLARNYMI

W roku 2005 autor zdobył 3. nagrodę w konkursie na Pomnik Wspólnej Pamięci we Wrocławiu, proponując integrację modułów fotowoltaicznych w połączenie skrzydeł centralnego założenia pomnikowego (rys. 10a). Pozyskiwana przez panele w ciągu dnia energia wykorzystywana byłaby do oświetlenia terenu po zachodzie słońca.



Rys. 10. a) Pomnik Wspólnej Pamięci, Wrocław 2005, b) Miami M, USA 2013, c) Budynek 3E dla Wydziału IŚ PWr – widok od strony wschodniej, Wrocław 2011, oprac. własne

W projekcie na międzynarodowy konkurs architektoniczny „Landmark of Miami” (2013 r.) w USA autor zaproponował wielopiętrową, modułową konstrukcję o kształcie litery M („Miami M”). Jedyńm materiałem wykończeniowym ścian zewnętrznych obiektu (od strony wschodniej i zachodniej) są bezramowe panele solarne. Projekt stanowi przykład integracji konstrukcyjnej (rys. 10b).

Integrację konstrukcyjną modułów solarnych autor zaproponował także w projekcie budynku 3E dla Wydziału Inżynierii Środowiska PWr (2011) we Wrocławiu. W obiekcie tym zaprojektowano ruchome, podążające za ruchem słońca osłony przeciwsłoneczne z paneli fotowoltaicznych. Rozwiązanie to wykorzystuje synergie po-

między optymalnym zacienieniem, a najkorzystniejszym ustawieniem ogniw w stosunku do słońca (rys. 10c).

### 3. PODSUMOWANIE

Zakłada się, że w Niemczech – kraju przodującym w dziedzinie aktywnego wykorzystania energii słonecznej – do integracji struktur solarnych nadaje się co najmniej 1700 mln m<sup>2</sup> powierzchni przegród zewnętrznych [4]. Biorąc pod uwagę zbliżone warunki klimatyczne i nasłonecznienie, można przyjąć, że także w Polsce istnieje znaczny potencjał zastosowania zintegrowanych rozwiązań solarnych. Spadek cen paneli i oszczędności uzyskiwane przez zastąpienie nimi materiałów przegród zewnętrznych przemawiają za integracją instalacji solarnych w dachy i fasady.

### LITERATURA

- [1] DANNER D., *Die klima-aktive Fassade*, Edition Intelligente Architektur, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden–Echterdingen 1999.
- [2] HERMANSDÖRFER I., RÜB CHR., *SolarDesign*, Jovis Verlag, Berlin 2005.
- [3] LEE E.J., *Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik an Gebäuden in Südkorea*, praca doktorska, Technische Universität Dortmund, Dortmund 1999.
- [4] KRIPPNER R., *Die Gebäudehülle als Wärmeerzeuger und Stromgenerator*, [w:] *Gebäudehüllen*, pod red. Schittich Chr., Berlin 2001.
- [5] KUCZIA P., *Tendencje rozwojowe architektury solarnej na przykładzie realizacji w Niemczech*, praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
- [6] REXROTH S., *Untersuchung von Gestaltungspotential von Photovoltaikmodulen als neue Bauelemente*, praca doktorska, Universität der Künste Berlin, Berlin 2005.

### SOLAR PANELS AS IMMANENT ELEMENTS OF THE BUILDING'S OUTER SHELL

Integrated solar panels adopt the functional, technological or aesthetic features of the elements or layers of the outer skin of the buildings. Using them opens new possibilities in the architectural design. The integrated solar solutions are classified; the planning-related requirements, economical chances and the pros and cons are discussed in the article. Examples from professional practice of the author demonstrate various possibilities of the integration of solar panels in the built structures.

## ROZDZIAŁ XVI

# MODERNIZACJA ZABUDOWY HISTORYCZNEJ CENTRALNYCH OBSZARÓW XIX/XX-WIECZNYCH MIAST JAKO SPOSÓB NA POPRAWĘ ENERGETYCZNĄ OBIEKTÓW

Anna BRZEZICKA\*

W miastach europejskich trwa proces rewitalizacji zabudowy XIX/XX-wiecznej tkanki miejskiej. Jest to problem złożony rozpatrywany w różnych aspektach takich, jak zastosowania nowych energooszczędnych technologii i materiałów w rewitalizacji tych obiektów, co przyczyni się do zachowania lub stworzenia tożsamości miejsca, a tym samym wizerunku przestrzeni opartego na dziedzictwie.

W pracy podjęto próbę przedstawienia wybranych działań termomodernizacyjnych omawianej tkanki miejskiej miast europejskich ze szczególnym uwzględnieniem materiałów i technologii wykorzystywanych w tych działaniach. Artykuł porusza problematykę przekształcania starej zabudowy w energooszczędną, jako kierunku w wykorzystaniu istniejącej, historycznej zabudowy miast charakterystycznej dla wielu miast polskich, w tym miast z terenu Dolnego Śląska.

Słowa kluczowe: *rewitalizacja budynków historycznych, energooszczędne materiały budowlane, energooszczędne technologie budowlane*

## 1. ASPEKTY DZIAŁAŃ REWITALIZACYJNYCH

### 1.1. ZARYS PROBLEMU

Proces rewitalizacji tkanki budowlanej XIX/XX-wiecznej jest działaniem koniecznym, nie tylko ze względu na podwyższenie standardu technicznego i funkcjonalnego budynków, ale także na występujące tendencje do ograniczenia zapotrzebowania budynków na energię. Tendencje te widać szczególnie w zmieniających się przepisach dotyczących wymogów ochrony termicznej budynków. W 1964 roku w Polsce wprowadzono pierwsze wymagania dotyczące między innymi współczynnika przenikania ciepła  $U(k)$ , a w późniejszych latach wprowadzono strategię obniżania zużycia energii

---

\* RAR-3 Katedra Strategii Projektowania i Nowych Technologii w Architekturze, Wydział Architektury, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice.

końcowej na cele grzewcze (w latach 90.) [21]. Wraz z rozwojem techniki obecne dążenia aspirują do zerowego zużycia energii.

Jednak w pracy skupiono się nad problemem dostosowania obiektów powstałych w XIX/XX wieku w centralnych obszarach miast, głównie zabudowy mieszkaniowej z usługami w parterach do obecnych wymogów technicznych.

Omawiana zabudowa powstała w związku z rozwojem przemysłu w II połowie XIX w. i początku XX w. między innymi na terenie Europy. Jest ona charakterystyczna także dla wielu miast polskich, w tym miast z terenu Dolnego Śląska. Zabudowa ta zajmuje znaczą część obszaru miast<sup>1</sup>, jest ważnym elementem miasta, często jego wizytówką. Cechami charakterystycznymi obiektów powstających w tym okresie była ich struktura i budowa.

Struktura budowlana tych obszarów to głównie kamienice o szerokości ok. 12 m, 3–5 kondygnacyjne, z przylegającymi oficynami. Wykonane były głównie z muru z cegieł i łupanego kamienia, później kamień stosowany był tylko do suterren, ściany na górnych piętrach murowane były z palonych cegieł pełnych lub pustaków, cegieł otworowych, bloczków z lekkich betonów (zazwyczaj z żużlobetonu lub pumeksu hutniczego) oraz pustaków, o grubości ścian nośnych 45 cm lub większych [26]. W parterach kamienic były usytuowane usługi. Zespoły kamienic tworzyły zwarte kwartały zabudowy, często pozbawionej zieleni i miejsc rekreacji.

Ówczesne standardy techniczne i funkcjonalne znacznie odbiegały od aktualnych.

Straty ciepła w budynkach najczęściej rozkładają się następująco: mur zewnętrzny – 30%, mostki termiczne – 10%, dach – 25%, grunt – 10%, okna – 10%, wentylacja – 15%. Wartości te są przybliżone, uzależnione od rodzaju konstrukcji, rodzaju przegród zewnętrznych, ich wilgotności, zastosowanych systemów grzewczych, itp. elementów [3].

W omawianych obiektach wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię może wynosić  $E > 300 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$  ( $EP \geq 1,5$ ), co kwalifikuje obiekty te do klasy energetycznej G, jako nieefektywne, niesprawne energetycznie. Wartość ta podnosi zapotrzebowanie energii dla budynku wielokrotnie w stosunku do potrzeb domu średnioenergochłonnego  $C/D$  ( $0,76 \leq EP \leq 1,0$ ), gdzie wskaźnik ten wynosi  $E = 100\text{--}150 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$  [11, 16].

Obowiązujące przepisy prawne nie pozwalają na zintegrowane działania rewitalizacyjne. Brak całościowej ustawy rewitalizacyjnej jest „zastępowany” dokumentami np. Lokalnymi Programami Rewitalizacji opartymi o przepisy prawne głównie z lat 90. i późniejszych [17].

W pracy podjęto próbę przedstawienia ważnego problemu związanego z wykorzystaniem nowoczesnych materiałów i technologii budowlanych dostosowania obiektów

---

<sup>1</sup> Szacowana wielkość zasobów zabudowy historycznej (powstałej przed 1945 rokiem) w Polsce to ok. 81 968 918 000 m<sup>2</sup> (3,82 mln mieszkań, 219 303 budynków wielorodzinnych), 90% z tego przeznaczonych jest do termomodernizacji [24, 25].

historycznych do współczesnych wymogów technicznych, w aspekcie ochrony wizerunku i zachowania tożsamości rewitalizowanej przestrzeni.

W opracowaniu pominięto natomiast takie elementy ważne dla efektywnej termomodernizacji, jak: okna, balkony, dachy, itp., a także aspekty techniczne – wilgotność, typ konstrukcji, mostki termiczne, kolor, itp., czy też stosowanie systemów obsługujących budynki (ogrzewanie, klimatyzacja).

## 1.2. DZIAŁANIA TERMOMODERNIZACYJNE

W działaniach modernizacyjnych nie można zapomnieć o zachowaniu cech przestrzeni i obiektu, które wpływają na dziedzictwo kulturowe miasta. Do takich cech można zaliczyć autentyczność np. materiału, formy, funkcji, miejsca (też kontekstu przestrzeni), oddziaływania i skojarzeń. Do bardzo trudnych zagadnień należy powiązanie aspektów funkcji i materiału [2].

W trendach rewitalizacji obiektów historycznych XIX/XX-wiecznych wyróżniają się następujące kierunki działań:

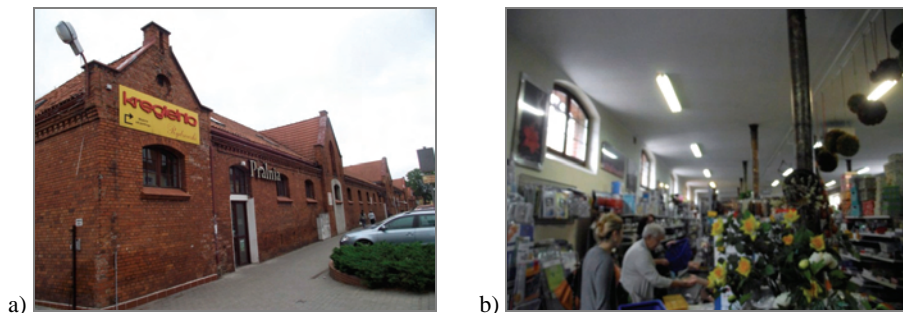
- działania zewnętrzne: odnowa i dostosowanie obiektu do aktualnych potrzeb poprzez stosowanie technologii i materiałów budowlanych nie zmieniających wyglądu i estetyki obiektu; rekonstrukcja zewnętrznej elewacji i równoczesnej zewnętrznej termomodernizacji często na podstawie dokumentacji zdjęciowej, badań archeologicznych, jak na rys. 1. przedstawiającym termomodernizację elewacji kamienicy w Żarach, przy głównym deptaku miejskim;



Rys. 1. Przykład zewnętrznej termomodernizacji: kamienica w trakcie termomodernizacji „od zewnątrz”, odnowa elewacji wraz z odtworzeniem elewacji i jej elementów dekoracyjnych; Żary, ul. B. Chrobrego, woj. Lubuskie 2012, fot. A. Brzezicka

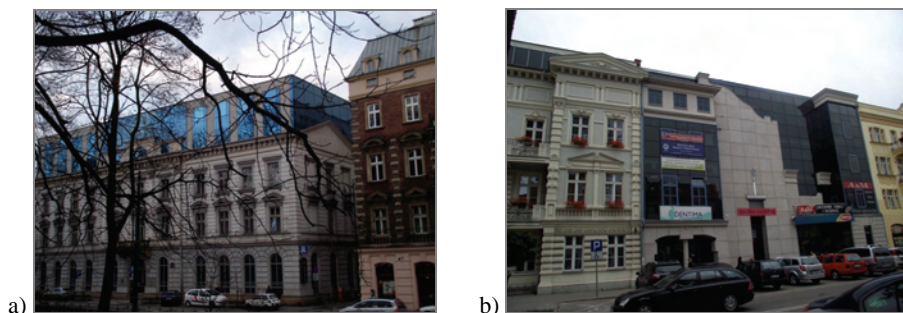
- działania wewnętrzne: odnowa zewnętrznej elewacji i wewnętrzna termomodernizacja, jak na rys. 2. przedstawiającym obiekt z zachowaną historyczną elewacją i ocieplenie zastosowane wewnątrz obiektu;





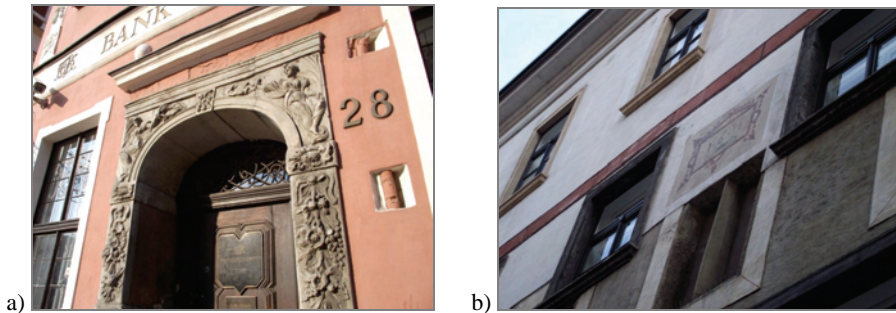
Rys. 2. Przykład obiektu przemysłowego po wewnętrznej termomodernizacji z odnową elewacji zewnętrznej (wyczyszczenie, uzupełnienie ubytków): a) ceglana elewacja zewnętrzna obiektu; b) wnętrze obiektu z nową funkcją, Elk, woj. warmińsko – mazurskie, 2013, fot. A. Brzezicka

- działania inne: pozostawienie i zabezpieczenie części historycznej jako wartościowej i dobudowanie nowego obiektu spełniającego nowe warunki techniczno-funkcjonalne, jak na rys. 3. przedstawiono przykłady zachowania starej elewacji z dobudowanym nowym obiektem w nowej technologii i o nowych funkcjach;



Rys. 3. Przykład adaptacji starej, historycznej elewacji poprzez dobudowę nowego obiektu do istniejącego obiektu historycznego: a) adaptacja historycznej elewacji, Kraków, 2012; b) adaptacja historycznej elewacji i części istniejącego obiektu, Elk, 2013, fot. A. Brzezicka

- działania inne: dbałość o zachowanie autentyczności architektury obiektu poprzez pozostawienie tzw. świadków historycznych, relikwów, swoistych artefaktów istniejącej elewacji, przykrytej nowszą elewacją. Stosowane w przypadku znacznej wartości historycznej, archeologicznej lub estetycznej obiektu głównie dla ułatwienia zrozumienia zabytku, udostępniania tych elementów historycznych, poszanowania autentycznego obiektu, a tym samym zachowania istotnych śladów będących częścią historii obiektu [18]. Poniżej na rys. 4. przedstawiono przykłady stosowania tych działań.



Rys. 4. Przykłady tzw. świadków historycznych, relikwów, artefaktów znajdujących się w elewacjach kamienic: a) udostępnienie elementów historycznych jako poszanowanie konstrukcji wcześniejszej obiektu, Toruń, 2013; b) elewacja zabytkowa z uwidocznieniem wcześniejszych elementów elewacji, duże nagromadzenie udostępnionych relikwów wprowadza chaos w postrzeganiu tej elewacji, Wiedeń, 2012, fot. A. Brzezicka

Zachowanie istotnych śladów będących częścią historii obiektu, oszczędne stosowanie tych środków pozytywnie wpływa na ostateczny odbiór obiektu, wzbudza zainteresowanie historią tego obiektu, jego budową.

### 1.3. MATERIAŁY I TECHNOLOGIE TERMOMODERNIZACYJNE

Do zminimalizowania zapotrzebowania na energię obiektów historycznych stosuje się izolację termiczną zewnętrznych przegród budowlanych, optymalnie dobrane systemy grzewcze i wentylacyjne, oparte na odnawialnych źródłach energii, a także sprzęt energooszczędny AGD (np. A+++). Straty ciepła można ograniczyć do 80% przez ściany zewnętrzne poprzez ich termomodernizację, co stanowi ograniczenie 20–40% strat ciepła całego obiektu [22].

Powszechnie używane izolacje według współczesnych wymagań technicznych mają współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,036\text{--}0,045\text{ W/(mK)}$ . Mniejszy współczynnik przewodzenia ciepła pozwala na zastosowanie cieńszej izolacji termicznej. Materiałami superciepłymi można nazwać takie, które mają współczynnik  $\lambda$  o wartościach  $\lambda \leq 0,035\text{ W/(mK)}$ , czy nawet  $\lambda = 0,014\text{ W/(mK)}$  [14].

Ważnym problemem w działaniach rewitalizacyjnych jest sposób zastosowania termoizolacji – zewnątrz bądź wewnątrz obiektu.

W przypadku możliwości odtworzenia historycznej elewacji najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie zewnętrznej izolacji termicznej o jak najmniejszym współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda$  (lambda), a tym samym jak najcieńszym materiale termoizolacyjnym (najmniejsze zmiany w wyglądzie elewacji) [28].

Rozróżnia się następujące technologie ocieplania budynków:

- metoda lekka mokra (tzw. BSO tj. bezspoinowy system ocieplenia lub ETICS, tj. ang. *External Thermal Insulation Composite System* – złożony system ze-

wewnętrznej izolacji termicznej) – użycie wody do sporządzenia klejów, zapraw i tynkowania,

- metoda lekka sucha – bez zapraw, klejów, wody, warstwy mocowane są mechanicznie kołkami, wkrętami, itp., wykonanie rusztu, wypełnienie pustki materiałem termoizolacyjnym oraz osłonięcie paroizolacją i ekranem z płyt gipsowo-kartonowych lub cementowych [23].

Stosowane są następujące materiały termoizolacyjne:

- wełna skalna mineralna MW – niepalna, nieszkodliwa chemicznie, nie wchodzi w reakcję z innymi substancjami, paroprzepuszczalna, zapewniająca przepływ wilgoci, odporna na wilgoć; współczynnik przewodności cieplnej  $\lambda = 0,036\text{--}0,045$  W/(mK); zalecana do metody BSO;
- wełna szklana – mniej wytrzymała, lżejsza niż MW, inne właściwości podobne do MW;  $\lambda = 0,03$  W/(mK);
- polistyren ekstrudowany XPS – mała nasiąkliwość, twarda pianka, wytrzymała, nie gnijący, odporny na wilgoć, uszkodzenia mechaniczne, samogasnący;  $\lambda = 0,030\text{--}0,04$  W/(mK); do stosowania od zewnątrz w miejscach narażonych na uszkodzenia, zawilgocenie;
- polistyren ekspandowany EPS – lekki, też jako rdzeń płyt warstwowych, mała chłonność wody, samogasnący; współczynnik przewodności cieplnej  $\lambda = 0,031\text{--}0,042$  W/(mK); zalecany do metody lekkiej mokrej, lekkiej suchej;
- pianka polistyrenowa (lepsze właściwości mechaniczne niż styropian i większa odporność na działanie mrozu, różnych czynników biologicznych i chemicznych, na ściskanie);  $\lambda = \text{W}/(\text{mK})$ ; wskazana do metody BSO;
- pianka fenolowa PF – izolacje wysokotemperaturowe, optymalny komfort cieplny, wysoka wytrzymałość mechaniczna, niska absorpcja wilgoci, występują jako bardzo sztywne płyty izolacyjne o zamkniętej strukturze komórkowej z rdzeniem z żywicy fenolowo-formaldehydowej;  $\lambda = 0,021$  W/(mK); polecana do metody ETICS;
- pianka poliuretanowa PUR i PIR – płyty obustronnie okładane folią aluminiowaną lub wzmocnionym papierem typu Kraft, odporne na wilgoć i wodę, nasiąkliwość maks. 9%, odporne na agresywne środowisko i rozwój mikroorganizmów, niewielka odporność na promieniowanie UV, dłuższy czas ognioodporności płyt PIR;  $\lambda = 0,023\text{--}0,035$  W/(mK); polecana do metody BSO;
- polietylen – wielowarstwowa folia z przeplatanych ze sobą 6–10 warstw folii i 2–3 warstw aluminium, folia aluminiowa odbija promieniowanie ciepłe (zmniejszenie straty ciepła);  $\lambda =$  nie ma wartości stałej W/(mK) = opór cieplny warstwy o określonej grubości; posiada wszechstronne zastosowanie;
- aerożel – też przezroczysty, lekki, porowatość do 99%, płyty, granulaty lub maty, gęstość 2–143 kg/m<sup>3</sup>, wytrzymała na ściskanie, izolacja akustyczna, obojętnym dla zdrowia i środowiska, nienasiąkliwość;  $\lambda = 0,012\text{--}0,030$  W/(mK); posiada

wszechstronne zastosowanie, m.in. do likwidowania mostków termicznych wzdłuż elementów budynku;

- perlit – lekki, ciepły, niepalny, nienasiąkliwy obojętny chemicznie i biologicznie, zaimpregnowany olejem, perlitobeton:  $\lambda = 0,066\text{--}0,110 \text{ W/(mK)}$ ; dodatek do tynków, zapraw (zamiast piasku), składnik obniżający ciężary odlewów gipsowych i prefabrykatów betonowych, płytek elewacyjnych, ozdobnych elementów betonowych, uzupełnia lub zastępuje styropian; wdmuchany między trudnodostępne przegrody budowlane usuwa z nich wilgoć i sól;
- włókna celulozowe – wysoka ochrona przed wahaniami temperatury, dobra ochrona przed pożarem, ochrona przed wodą kondensacyjną, wysoka zdolność zatrzymywania ciepła w czasie upałów, a także mrozów, ekologiczne, konieczność zabezpieczenia przed czynnikami atmosferycznymi;  $\lambda = 0,037\text{--}0,043 \text{ W/(mK)}$ ; wskazane do metod: wdmuchiwanie, natrysk do wnętrza przestrzeni międzyszkieletovej lub na powierzchnię ściany zewnętrznej [4, 14, 15, 19].

Także do poprawy termoizolacyjności przegrody zewnętrznej stosowane są tynki ciepłochronne, których technologia nie wymaga zastosowania żadnych płyt izolacyjnych (maks. przewodność cieplna  $0,2 \text{ W/(mK)}$ ). Tynki te mogą być stosowane zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz termomodernizowanego obiektu [6].

Natomiast w przypadku niemożności zastosowania zewnętrznej termomodernizacji (np. ograniczenia konserwatorskie, skomplikowana do odtworzenia elewacja) można wykonać wewnętrzną.

W tym typie termomodernizacji występuje niekorzystne dla warstwowej przegrody budowlanej zjawisko nadmiernego gromadzenia się wilgoci w przekroju ściany, dyfuzji pary wodnej. Dlatego też materiały i technologie budowlane w tym przypadku muszą uwzględniać ten problem. Także mała grubość ocieplenia jest ważnym elementem wpływającym na zachowanie klimatu estetycznego wnętrza.

W pracach termomodernizacyjnych obecnie stosuje się więc:

- tzw. płyty klimatyczne – mniej termoizolacyjne – lepsza akumulacja i transport kapilarny wilgoci [29]
- tzw. płyty kapilarno-dyfuzyjne – aktywna kapilarnie płyta krzemianowo-wapienna (głównie do wilgotnościowo-energetycznej renowacji wnętrz budynków) o współczynniku przewodzenia ciepła: ok.  $0,028\text{--}0,0626 \text{ W/(mK)}$  (np: system iQ-Therm; system KEIM iPor; płyta mineralna Lobatherm MI-XI Firmy QUICK-MIX; płyty Schimmel-Sanierplatten i tynki Schimmel-Sanierputz firmy Remmers) [27].
- płyta termoizolacyjna z pianki poliuretanowej (PIR-EUROTHANE G pokryta z jednej strony płytą gipsowo - kartonową z warstwą paroizolacji, współczynnik przewodzenia ciepła  $0,023 \text{ W/(mK)}$  [10, 29].

Najczęściej do ocieplania wewnątrz obiektów adaptowane są technologie zewnętrznych dociepleń opartych o metodę lekką moką (OSB, ETICS), czy też metodę

lekką suchą. Wewnętrzne technologie termomodernizacji możliwe są w oparciu o wszystkie rodzaje materiałów termicznych, z preferowanymi materiałami odpornymi na wilgoć i inne uszkodzenia.

Kluczowym problemem w termomodernizacji jest problem występowania wilgoci w modernizowanych obiektach. Nadmierna jej ilość znacznie obniża parametry izolacyjne przegród termicznych. Także występowanie mostków termicznych przyczynia się do większych strat energii. Dlatego ważne jest wspomaganie termomodernizacji działaniami polegającymi na zmniejszeniu kondensacji wilgoci w przegrodach zewnętrznych. Np. system przeciwkondensacyjny metody docieplania przegród od strony wewnętrznej „IN” autorstwa Roberta Wójcika. Stosowany w celu osiągnięcia stabilności cieplnej pomieszczeń i wyeliminowania wychłodzenia brzegowego docieplanych stref. Polega on na metodzie jednostronnego dogrzewania stref mostków, docieplanych stref przy zastosowaniu przewodów grzewczych w miejscach, gdzie jest odbierane ciepło<sup>2</sup>.

Metoda „IN” została już zastosowana w obiektach zabytkowych. Może być ona stosowana w różnych rozwiązaniach materiałowych dociepleń (poprawa współczynników termicznych przegrody) [29, 30].

## 2. PODSUMOWANIE

Poprzez działania między innymi termomodernizacyjne w rewitalizacji można osiągnąć zmniejszenie zużycia energii, co pozwala na ograniczenie kosztów środowiskowych i w rezultacie poprzez wyższe standardy zamieszkania podniesie wartość nieruchomości.

Zabudowa historyczna miasta poddawana jest ciągłym procesom rynkowym (zmiana wartości obiektów, degradacja struktury budowlanej, przekształcenia funkcjonalne) i powinna być pod szczególnym nadzorem przede wszystkim polityki przestrzennej samorządów terytorialnych [32].

Obecna technika pozwala na znaczne ograniczenie zużycia energii przez dany obiekt (przy całościowych działaniach), niemal na bezingerencyjne działania w historycznej tkance miejskiej z priorytetem zachowania w jak najlepszym stanie tej tkanki, jednocześnie zaspokajając zapotrzebowania techniczno-funkcjonalnego, przy zachowaniu dziedzictwa kulturowego danej przestrzeni, miejsca.

---

<sup>2</sup> Po obwodzie na styku warstwy termoizolacyjnej z podłożem w szczeliny wkłada się inteligentne przewody grzewcze z urządzeniami sterującymi, służącymi do uruchomienia grzania w momencie spadku temperatury na brzegu docieplenia poniżej punktu rosy. Przewody grzewcze emitują energię ciepłą głównie w strefach szczególnie wychładzanych, występuje konieczność pokrycia warstwy termoizolacyjnej szczelną paroizolacją [32, 33].

## LITERATURA

- [1] CZARNECKI J., MARYŃCZUK P., *Architektoniczne problemy odnowy historycznych przestrzeni miejskich na przykładzie Kolonii Robotniczej Zandek w Zabrze* [w:] Przegląd Budowlany, 4/2011, Renowacje, 62; Czerner O., *Wartość Autentyzmu w Zabytkach*, Ochrona Zabytków, [http://www.przegladbudowlany.pl/2011/04/2011-04-pb-60-70\\_czarnecki\\_dankowski.pdf](http://www.przegladbudowlany.pl/2011/04/2011-04-pb-60-70_czarnecki_dankowski.pdf). s. 61–65, Dostęp: 21.12.2010.
- [2] *Domy z dopłatą z NFOSiGW*, [w:] [http://www.cieplej.pl/imgturysta/file/szkolenia/architekt%202013/Szkolenie%20dla%20architekt%C3%B3w%20cz%202.pdf](http://www.cieplej.pl/imgturysta/file/szkolenia/architekt%C3%B3w%20cz%202.pdf), s. 5, Dostęp: 1.07.2013.
- [3] [http://www.e-izolacje.pl/a/4431\\_perlit-naturalna-izolacja/2](http://www.e-izolacje.pl/a/4431_perlit-naturalna-izolacja/2), Dostęp: 1.07.2013.
- [4] GRABOWSKI K., *Wizerunek miejsc*, <http://www.wizerunek-miejsc.pl/wizerunek-miejsc/wizerunek-a-tozsamosc/>, Dostęp: 6.05.2012.
- [5] *Fachowy Wykonawca*, <http://www.fachowywykonawca.pl/?item=artykul&artykul=1932&SID=298a00889ceb36ad265edfa32f80bbdc>, Dostęp: 9.12.2012.
- [6] INN-THERM, <http://www.inn-therm.pl/eurothane-g-plyta-poliuretanowa-izolacja-wewnetrzna.php>, Dostęp: 9.04.2012.
- [7] JANIĄK M., *Definiowanie to proces. Twórcy łódzkiego meta polis*, Fundacja Ulicy Piotrkowskiej, s. 3, [w:] [http://olduml.uml.lodz.pl/\\_plik.php?id=1975](http://olduml.uml.lodz.pl/_plik.php?id=1975), Dostęp: 22.08.2012.
- [8] KEIM, [http://www.keim.com.pl/media/file/09\\_system\\_antypleniowy\\_do\\_wnetrz.pdf](http://www.keim.com.pl/media/file/09_system_antypleniowy_do_wnetrz.pdf), Dostęp: 9.04.2012.
- [9] KEIM <http://www.recticelinsulation.be/nl-nl/node/4910>, Dostęp: 9.04.2012.
- [10] *Klasa energetyczna budynków*, <http://www.certprojekt.pl/certyfikat.html>, Dostęp: 1.07.2013.
- [11] LEWICKA M. L., *Nieinwazyjna metoda modernizacji i aranżacji wnętrza w budowlach zabytkowych*, [w:] *Adaptacja obiektów zabytkowych do współczesnych funkcji użytkowych*, pod red. Bogusława Szmygina; Lubelskie Towarzystwo Naukowe Międzynarodowa Rada Ochrony Zabytków ICOMOS, Politechnika Lubelska, Warszawa–Lublin 2009, <http://bc.pollub.pl/Content/631/adaptacja.pdf>. s. 55–68, Dostęp: 12.06.2013.
- [12] MACIEJEWSKI A., *ArchDaily, Geometryczny urok minimalistycznej prostoty*, [w:] <http://gadzetomania.pl/2012/03/09/geometryczny-urok-minimalistycznej-prostoty>, Dostęp: 9.03.2012.
- [13] [murator.com.pl](http://murator.com.pl), [http://murator.com.pl/budowa/izolacje/ocieplenie-domu-nowoczesne-materialy-izolacyjne,18\\_7796.html](http://murator.com.pl/budowa/izolacje/ocieplenie-domu-nowoczesne-materialy-izolacyjne,18_7796.html), Dostęp: 1.07.2013.
- [14] [www.muratorplus.pl](http://www.muratorplus.pl), [http://www.muratorplus.pl/technika/izolacje/ocieplenie-budynkow-wloknami-celulozowymi\\_65883.html](http://www.muratorplus.pl/technika/izolacje/ocieplenie-budynkow-wloknami-celulozowymi_65883.html), Dostęp: 1.07.2013.
- [15] *Ocena Energetyczna Budynku*, <http://www.cieplej.pl/imgturysta/file/szkolenia/WAPOL%20semestr%202%20wyklad%201%20cz%201.pdf>. s. 45, Dostęp: 1.07.2013.
- [16] *Podręcznik rewitalizacji*, Urząd mieszkalnictwa i rozwoju miast, GTZ GmbH, Warszawa 2003, Copyright 2003 by Mefisto Editions, ISBN: 83-912878-1-5, <http://www.m-borsa.net/edu/SGHpodrrewitUMiRM.pdf>. s. 14 i dalsze, Dostęp: 1.07.2013.
- [17] Przepisy prawne, obowiązujące: Prawo Budowlane, Dz.U. Nr 162 poz.1568, Dz.U. Nr 165, poz.987, WE nr 1080/2006, WE nr 1828/2006, WE nr 1083/2006, WE nr 1080/2006, Dz. Urz. UE L 371 z 2006, Dz.U. z 2009, Nr 84, poz. 712, Dz.U. z 2010, Nr 117, poz. 787; MRR/H/18(2)/08/08, <http://www.m-borsa.net/edu/SGHpodrrewitUMiRM.pdf>, Dostęp: 1.07.2013.
- [18] RADZISZEWSKA-ZIELINA E., <http://termopanele.com.pl/wp-content/uploads/2011/02/Porownanie-materialow-izolacyjnych.pdf>, Dostęp: 1.07.2013.
- [19] *Remmers*, [http://www.remmers.pl/fileadmin/dam/FOLDER\\_Y\\_I\\_ULOTKI/2010\\_brosz\\_d\\_iqtherm.pdf](http://www.remmers.pl/fileadmin/dam/FOLDER_Y_I_ULOTKI/2010_brosz_d_iqtherm.pdf), Dostęp: 9.06.2012
- [20] STEIDL T., *Zmiany izolacyjności cieplnej przegród budowlanych na tle modyfikacji obowiązujących norm i przepisów*, [w:] Energia budynek, 2.12.08, <http://www.buildup.eu/system/files/content/T.Steidl.pdf>, Dostęp: 12.06.2013.
- [21] *Straty ciepła*, <http://old.cieplej.pl/Zawodowcy/1050521015.shtml>, Dostęp: 9.04.2012.

- [22] SZEREMETA J., *Materiały termoizolacyjne stosowane w dociepleniach*, <http://globenergia.pl/termomodernizacja/materiały-termoizolacyjne-stosowane-w-dociepleniach>, Dostęp: 1.07.2013.
- [23] *Tabula – Typologia budynków dla oceny ich efektywności energetycznej*; <http://www.building-typology.eu/country/typology-pl.html>, Dostęp: 1.07.2013.
- [24] *Tabula*, <http://www.nape.pl/projekty/iee-intelligent-energy-europe/tabula.aspx>, Dostęp: 1.07.2013.
- [25] *Tabula*, [http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/scientific/PL\\_TABULA\\_Scientific\\_Report\\_NAPE.pdf](http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/scientific/PL_TABULA_Scientific_Report_NAPE.pdf), s.47-48, Dostęp: 1.07.2013.
- [26] TUBAG (QUICK-MIX); <http://www.quick-mix.pl/Systemy,tynkow,renowacyjnych,Tubag,147.html>, Dostęp: 9.04.2012.
- [27] *Współczynnik lambda*, [http://www.domenergooszczedny.eu/pl/content/16-wspolczynnik\\_lambda#](http://www.domenergooszczedny.eu/pl/content/16-wspolczynnik_lambda#), Dostęp: 9.07.2012.
- [28] WÓJCIK R., *Docieplenie od wewnątrz*, [w:] Inżynier Budownictwa, Miesięcznik Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, nr 4/2011, PL ISSN 1732-3428, s. 56 i dalsze; [http://piib.org.pl/pliki/ib/ib\\_04\\_11.pdf](http://piib.org.pl/pliki/ib/ib_04_11.pdf), Dostęp: 1.07.2013.
- [29] WÓJCIK R., *Rewitalizacja i remonty budynków zabytkowych* [w:] VIII dni oszczędzania energii, ..., Olsztyn, s. 19, [http://cieplej.pl/imgturysta/file/doe/DOE2010-wyklady/panel\\_doradcow/05-Wojcik\\_R.pdf](http://cieplej.pl/imgturysta/file/doe/DOE2010-wyklady/panel_doradcow/05-Wojcik_R.pdf), Dostęp: 9.04.2012.
- [30] *Zasady przygotowania LPR/ ZPRL w ramach RPO Woj. Łódzkiego 2007-2013*, Łódź, 5, <http://www.lodzkie.pl/wps/wcm/connect/2112>, Dostęp: 21.12.2010.
- [31] ZUZIĄK Z.K., *O tożsamości urbanistyki*, Wyd. 1, Politechnika Krakowska, Kraków 2008, ISBN 978-83-7242-479-2, 60.

MODERNIZATION OF HISTORICAL DEVELOPMENT  
OF CENTRAL AREAS NINETEENTH/TWENTIETH CENTURY CITIES  
AS A WAY TO IMPROVE ENERGY FACILITIES

In European cities, the process of revitalization of the nineteenth/twentieth century the urban tissue. It is a complex problem considered in various aspects, such as the use of new energy-efficient technologies and materials in the rehabilitation of these buildings, which contribute to the preservation/creation of identity, and thus the image of the space based on the legacy.

This paper attempts to provide some modernization measures discussed the urban tissue of European cities with particular emphasis on the materials and technologies used in these activities. The article discusses the problem of converting old buildings into energy-efficient, as the direction of the pre-existing, historic building towns typical of many Polish cities, including the city of Lower Silesia.

## ROZDZIAŁ XVII

# WYKORZYSTANIE PODWÓJNEJ FASADY W TERMOMODERNIZACJI BUDYNKÓW ZABYTKOWYCH – STUDIUM PRZYPADKU

Adam SWARCEWICZ\*, Karolina KURTZ-ORECKA\*

W referacie, na przykładzie budynku Wydziału Budownictwa i Architektury ZUT w Szczecinie, omówiono możliwość wykorzystania podwójnej fasady jako działania termomodernizacyjnego w obrębie obiektów zabytkowych. Budynek WBiA ZUT w Szczecinie jest obiektem pierwotnie wzniesionym w latach 30. XX wieku. Charakterystyczna dla modernizmu prosta bryła budynku, licowana za barwioną na czerwoną płytką klinkierową, rozbudowana została w okresie lat 60.–70. XX wieku z nawiązaniem do charakterystycznego wystroju zewnętrznego. Z uwagi na walory zachowanej części obiektu i ochronę konserwatorską, którą jest objęty, w celu poprawy warunków termicznych w budynku zaproponowano realizację podwójnej fasady w obrębie skrzydła zachodniego i części skrzydła południowego. Wyniki analiz wskazują na trzydziesto trzy procentowy potencjał redukcji rocznego zużycia energii na cele ogrzewania i wentylacji w rozpatrywanej strefie oraz znaczną poprawę warunków mikroklimatu bezpośrednio wpływających na jakość pracy. Proponowana podwójna fasada wykorzystuje w sposób pasywny odnawialne źródła energii.

Słowa kluczowe: *podwójna fasada, redukcja zużycia energii, termomodernizacja, budynki zabytkowe*

### 1. WPROWADZENIE

Gwałtowny wzrost cen surowców naturalnych, wynikający m.in. z ograniczenia ich zasobów, spowodował usankcjonowanie w europejskich [3] i polskich [11] przepisach prawnych racjonalizacji zużycia energii w budownictwie nowym, jak i już istniejącym. Procentowy udział budynków użyteczności publicznej w odniesieniu do obiektów mieszkalnych, jest stosunkowo niewielki. Biorąc dodatkowo pod uwagę szacowany udział wszystkich budynków powstałych przed rokiem 1980 stanowiący ponad 60% aktualnego istniejącego stanu zasobów budowlanych, należy wskazać

---

\* Wydział Budownictwa i Architektury ZUT w Szczecinie, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin.



konieczność poprawy ich jakości energetycznej poprzez zastosowanie odpowiednich działań termomodernizacyjnych.

### 1.1. PODWÓJNE FASADY – KRÓTKA CHARAKTEJRSTYKA

Wykorzystanie podwójnej fasady w budynku wpływa na zróżnicowane jego parametry. Podwójna fasada może poprawić jakość klimatu wewnętrznego i jednocześnie wpłynąć na zmniejszenie zapotrzebowania na energię w bieżącej eksploatacji obiektu.

Poirazis w [6] wskazuje, że wykorzystanie podwójnej fasady jest europejskim trendem, który można opisać czterema głównymi elementami, tj.: estetycznym dążeniem do transparentności fasad szklanych, poprawą jakości mikroklimatu pomieszczeń, poprawą warunków akustyki pomieszczeń, szczególnie w lokalizacjach o dużym obciążeniu hałasem zewnętrznym oraz redukcją zużycia energii w trakcie użytkowania budynku. Sama idea wykorzystania podwójnej fasady nie jest nowa, jednak nadal nie jest w pełni opisana w dostępnej literaturze fachowej [6]. Badania nad wykorzystaniem podwójnej fasady skupiają się, poza aspektem czysto projektowym, na zagadnieniach fizykalnych związanych z:

- komfortem cieplnym, obejmującym poszukiwanie możliwości całorocznego, kontrolowanego wykorzystania słonecznych zysków ciepła, przeciwdziałanie przegrzewaniu się pomieszczeń, czy osiągnięciu akceptowalnej temperatury powierzchni przegród zarówno zimą, jak i latem,
- komfortem wizualnym – wykorzystania oświetlenia naturalnego i zapobiegania występowaniu zjawiska olśnienia,
- komfortem akustycznym poprzez zwiększanie izolacyjności akustycznej obudowy budynku, a ponadto z wykorzystaniem przestrzeni podwójnej fasady do poprawy warunków wentylacji naturalnej w obiektach.

W zagadnieniach związanych z redukcją zużycia energii w budynkach wskazuje się cztery główne kierunki wykorzystania podwójnej fasady:

- w celu redukcji zapotrzebowania na ciepło w czasie trwania sezonu grzewczego,
- ograniczenia potrzeb chłodniczych budynku latem,
- spłaszczenia pików temperatury zarówno w trybie ogrzewania, jak i chłodzenia,
- ograniczenia zużycia energii na cele oświetlenia wbudowanego przez maksymalne wykorzystanie światła dziennego [6].

Konstrukcja podwójnej fasady składa się z [6, 12]:

- powłoki zewnętrznej, która z reguły wykonana jest z pojedynczej warstwy szkła hartowanego,
- struktury wewnętrznej z szybami zespolonymi o odpowiednich cechach, jak izolacyjność termiczna, czy współczynniki przepuszczalności promieniowania słonecznego, często z ograniczaniem powierzchni przeszklenia,

- przestrzeni pomiędzy powłokami, która może być wentylowana grawitacyjnie, w układzie hybrydowych lub w pełni mechanicznie.

Okna wewnętrzne podwójnej fasady powinny być otwieralne celem umożliwienia grawitacyjnej wentylacji pomieszczeń, natomiast cały układ powinien być wyposażony w automatycznie kontrolowane urządzenia zacieniające instalowane w przestrzeni wentylowanej. Powierzchnia zewnętrzna podwójnej fasady wykonywana jest w systemie paneli i z reguły jest w pełni przeszklona.

## 1.2. PODWÓJNE FASADY – RYS HISTORYCZNY

Pierwsze próby opisanie schematu działania podwójnej, dobrze wentylowanej fasady podjął w 1849 roku Jean-Baptiste Jobard [1, 2, 4], jednak pierwszy obiekt z zastosowaniem tego rozwiązania powstał w 1903 roku – był to obiekt produkcyjny, w którym przesłanką do realizacji podwójnej fasady była chęć poprawy warunków wewnętrznych, przede wszystkim maksymalne doświetlenie światłem dziennym, ale również zredukowanie wpływu niskich temperatur oraz silnego wiatru charakterystycznego dla lokalizacji obiektu [6]. Rozwiązanie to spełniło pokładane oczekiwania i zostało powielone w kolejnych realizacjach w latach 1904 i 1908 [6]. W latach 1904–1912 w Wiedniu wzniesiono budynek Pocztovej Kasy Oszczędności, projektu Otto Wagnera. W obiekcie zastosowano podwójne przeszklenie hallu głównego. Kolejne realizacje to zaprojektowane w 1928 roku budynki Narkomfin (Rosja), zrealizowane częściowo w 1932 roku oraz w kolejnych latach 1929–1930 Cite de Refuge i Immeuble Clarte (Francja) [Poirazis]. Ponownie w realizacjach podwójne fasady pojawiły się na przełomie lat 70. i 80. XX wieku. W 1984 roku zrealizowany został budynek biurowy Leslie and Godwich [2, 6]. Od końca ubiegłego wieku podwójna fasada często towarzyszy rozwiązaniom budynków w tzw. standardzie niskoenergetycznym lub pasywnym.

## 2. BUDYNEK WBIA ZUT W SZCZECINIE

Budynek Wydziału Budownictwa i Architektury ZUT w Szczecinie jest obiektem wzniesionym w latach 30. XX wieku. Charakterystyczna modernistyczna bryła obiektu licowana jest zabarwioną na czerwoną płytką klinkierową. Po II wojnie światowej budynek przeznaczono na cele edukacyjne i rozbudowano w latach 70. XX wieku z nawiązaniem do pierwotnego wystroju zewnętrznego (rys. 1). Datowanie budynku, rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe oraz jego ekspozycja w kierunku zachodnim, sprzyjają nadmiernemu zużyciu energii. W sezonie grzewczym wyraźnie odczuwalne jest obniżenie komfortu termicznego, natomiast latem przestrzeń ostatniej kondygnacji ulega często przegrzaniu. Pomieszczenia zlokalizowane w zachodnim skrzydle obiektu wyekspozowane są dodatkowo na działanie wiatru (sąsiedztwo z półotwartą

przestrzeni), hałas komunikacyjny oraz wstępujące w godzinach popołudniowych i wieczornych okresu wiosenno-letniego, zjawisko oślepienia. We wskazanym skrzydle w minionych latach wymieniono stolarkę okienną na szczelną, współczesną, z ramami z wielokomorowego PCV. Okna nie zostały wyposażone w nawietrzaki, co bezpośrednio wpływa na warunki eksploatacji pomieszczeń, ich niedostateczną wentylację i uzyskiwaną niską jakością powietrza.

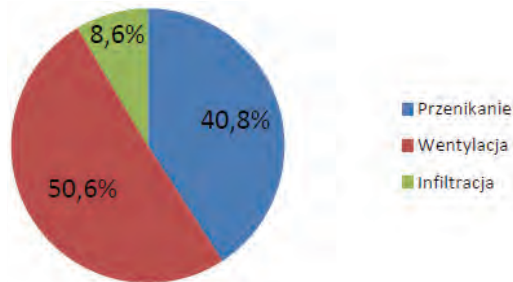


Rys. 1. Widok skrzydła zachodniego budynku WBIA ZUT w Szczecinie, fot. A. Swarczewicz

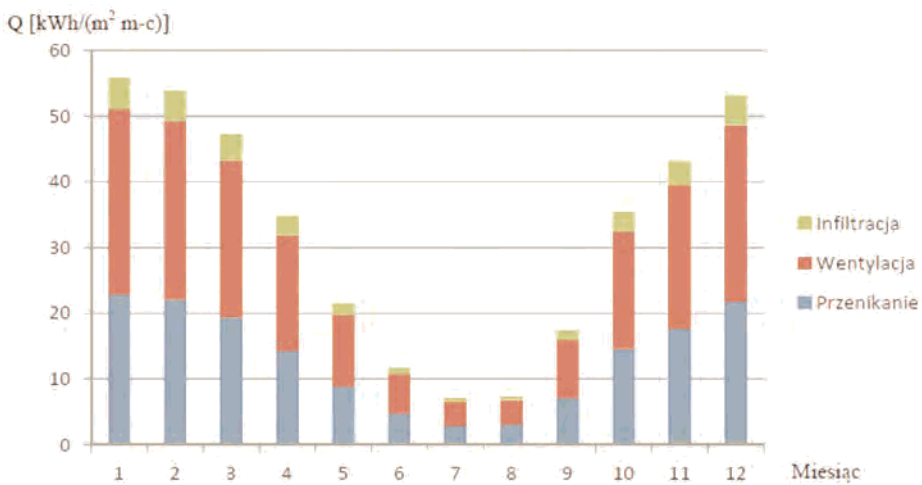
## 2.1. ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ SKRZYDŁA ZACHODNIEGO

Analizę potrzeb cieplnych budynku [10] ograniczono do zachodniego skrzydła, w którym zlokalizowane są głównie sale dydaktyczne oraz gabinety pracowników i wykonano zgodnie z obowiązującą metodyką [8] z wykorzystaniem danych typowego roku meteorologicznego dla lokalizacji Szczecin-Dąbie. Roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji w założonej strefie wyniosło 1524 MWh, zaś wskaźnik zapotrzebowania na ciepło osiągnął wartość 245,08 kWh/(m<sup>2</sup> rok). Procentowy udział składowych strat ciepła przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Wysoka energochłonność rozpatrywanej przestrzeni kwalifikuje ją do podjęcia działań termomodernizacyjnych. Należy jednak zwrócić uwagę na brak możliwości wtórnego ocieplenia budynku od strony zewnętrznej z uwagi na zachowane, oryginalne wykończenie elewacji budynku podlegające ochronie konserwatorskiej. Przy odpowiednich warunków projektowych i eksploatacyjnych wykonuje się ocieplenie przegród od strony wewnętrznej [5]. W rozpatrywanym przypadku rozwiązanie takie spowodowałoby znaczne zmniejszenie powierzchni użytkowej pomieszczeń i konieczność ingerencji w system c.o. stąd do analizy możliwości redukcji zużycia

energii i poprawy warunków użytkowania pomieszczeń przyjęto realizację podwójnej fasady.



Rys. 2. Składowe strat ciepła w roku meteorologicznym w rozpatrywanej przestrzeni, oprac. własne [10]



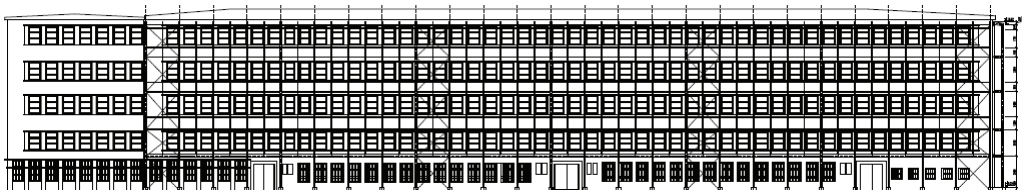
Rys. 3. Roczny rozkład strat ciepła rozpatrywanej przestrzeni skrzydła zachodniego, oprac. własne [10]

## 2.2. PODWÓJNA FASADA – ZAŁOŻENIA DO TERMOMODERNIZACJI

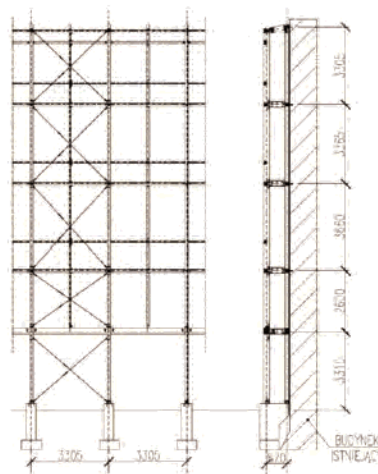
Założono realizację niezależnej, względem budynku, konstrukcji wykonanej na bazie drewna klejonego warstwowo, stanowiącej układ nośny dla systemu fasadowego MB-SR50 A [10]. Przyjęte rozwiązania ilustrują rysunki 4 i 5. Szklana fasada tworzyć będzie przestrzeń buforową, w której w okresie zimowym dzięki działaniu promieniowania słonecznego panuje podwyższona, w odniesieniu do otoczenia, temperatura powietrza. Zmniejszenie różnicy temperatury pomiędzy środowiskami bezpośrednio wpływa na redukcję strat ciepła zarówno przez przenikanie jak i przez wentylację.

W przestrzeni fasady następować będzie wstępne podgrzanie powietrza wprowadzającego do pomieszczeń w istniejącym w budynku systemie wentylacji grawitacyjnej.

W celu pełnego wykorzystania zysków słonecznych zimą i zabezpieczenia skrzydła zachodniego przed przegrzaniem w sezonie letnim przewidziano możliwość regulacji przepływu powietrza przez system klap otwierających i zamykających projektowaną przestrzeń. Zamknięcia zaprojektowano w podstawie i zwieńczeniu przestrzeni podwójnej fasady. W zależności od potrzeb pozwolą na ograniczenie przepływu powietrza lub regulację tworzącego się naturalnego ciągu kominowego. W okresie występowania podwyższonych temperatur, w sytuacji, gdy wentylacja naturalna jest mało skuteczna, ciąg kominowy usprawnia przepływ powietrza we wnętrzu budynku pozwalając na przewietrzanie przestrzeni. W tym przypadku świeże powietrze czerpane jest przez otwory (tu okna) rozmieszczone na przeciwległej fasadzie. Ponadto na okres letni założono wprowadzenie systemu rolet zewnętrznych, które ograniczą również zjawisko olśnienia dzięki rozpraszaniu promieniowania słonecznego padającego na fasadę. Dobrano optymalne wymiary otworów wentylacyjnych oraz wskazano graniczną wartość natężenia promieniowania słonecznego, przy wystąpieniu której założono wprowadzenie zacienienia fasady.



Rys. 4. Koncepcja podwójnej fasady – widok skrzydła zachodniego budynku WBIA, oprac. własne [10]



Rys. 5. Schemat koncepcyjny szklanej fasady, sekcja powtarzalna, oprac. własne [10]

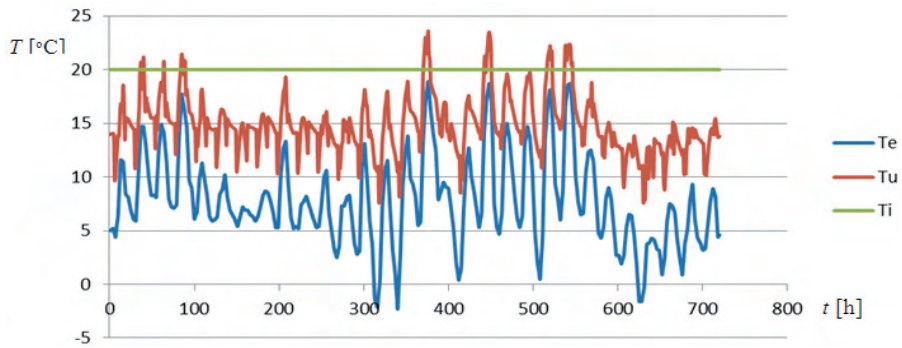
### 3. ANALIZA WPLYWU PODWÓJNEJ FASADY NA REDUKCJĘ ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ BUDYNKU WBiA

Do ustalenia wpływu zastosowania podwójnej fasady na redukcję zużycia energii w rozpatrywanej części budynku, zgodnie z normami [7, 9], wyznaczono temperaturę powietrza w przestrzeni fasady oraz powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu najbardziej narażonym na przegrzanie, które wskazano na ostatniej kondygnacji w południowo-zachodnim narożniku obiektu (rys. 6). W obliczeniach posłużono się metodą bilansów godzinowych. W miesiącach letnich od czerwca do sierpnia założono całkowite zacielenie fasady oraz otwarcie wszystkich żaluzji wentylacyjnych, w pozostałych okresach optymalizację nastaw w celu osiągnięcia jak najlepszych warunków mikroklimatu wnętrza oraz minimalizacji zapotrzebowania na ciepło. W miesiącach od kwietnia do września jako dopuszczalną w przestrzeni wewnętrznej budynku przyjęto temperaturę wynoszącą 26 °C, natomiast w pozostałych miesiącach 23 °C. Jak wynika z rysunku 7 nie udało się całkowicie uniknąć zjawiska przegrzania pomieszczeń w sezonie letnim. W krytycznym miesiącu – czerwcu<sup>1</sup>, założona dopuszczalna temperatura wnętrza przekroczone jest przez 37% czasu użytkowania strefy, w pozostałych miesiącach przez 15–20%. W typowym czerwcu, w scenariuszu całkowitego zacielenia oraz maksymalnej wentylacji przestrzeni fasady, przez około 5% czasu obliczeniowa temperatura wnętrza przekracza 30 °C i jest porównywalna z temperaturą powietrza zewnętrznego. Zważywszy na tą sytuację w dalszej analizie porównawczo określono temperaturę w zadanym pomieszczeniu w scenariuszu bazowym przed termomodernizacją. Uzyskano 95% przekroczenie temperatury 30 °C w rozpatrywanym okresie. Wynik ten daje podstawę do stwierdzenia, że realizacja fasady może przyczynić się do wyraźnego obniżenia obciążenia cieplnego pomieszczeń latem, a przez to poprawę warunków użytkowania i dalsze obniżenie zużycia energii.

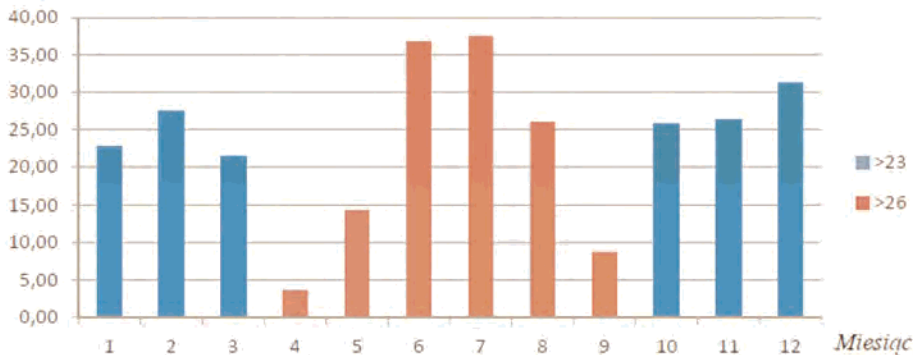
Dla założonych danych opisujących powłokę zewnętrzną fasady, charakterystyk elementów istniejących budynku oraz określonych rozkładów temperatury w przestrzeni fasady przeprowadzono obliczenia zapotrzebowania na ciepło w rozpatrywanym skrzydle zachodnim budynku WBiA. Roczne obliczeniowe zapotrzebowanie energii użytkowej na ogrzewanie i wentylację w przewidywanym stanie po termomodernizacji budynku z wykorzystaniem podwójnej dobrze wentylowanej fasady oszacowano na 1019 MWh/rok, co daje 33% redukcji zużycia energii w skali roku (rys. 8). Wskaźnik zapotrzebowania energii użytkowej na cele ogrzewania i wentylacji rozpatrywanej przestrzeni wyniósł 163,85 kWh/(m<sup>2</sup> rok).

---

<sup>1</sup> Miesiące lipiec i sierpień pominięto w analizach z uwagi na funkcję dydaktyczną przestrzeni.



Rys. 6. Przykładowy rozkład temperatury w miesiącu kwietniu, na rysunku oznaczono:  $T_e$  – temperatura powietrza zewnętrznego,  $T_u$  – temperatura przestrzeni fasady wentylowanej,  $T_i$  – temperatura powietrza wewnętrznego, oprac. własne [10]

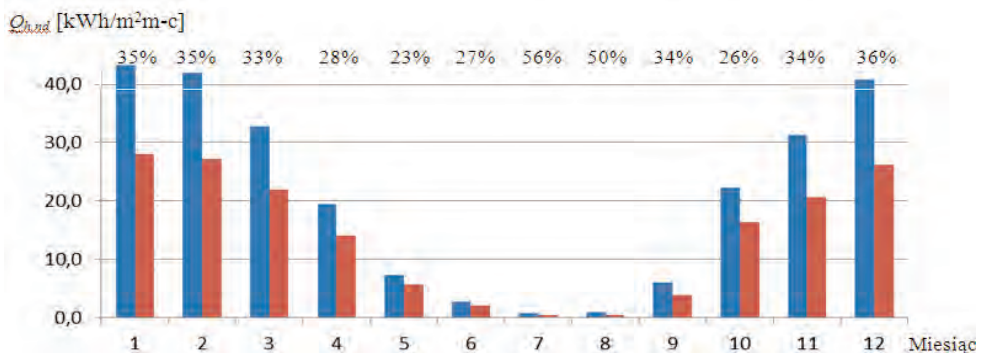


Rys. 7. Procentowy udział godzin o przekroczonej dopuszczalnej temperaturze w przestrzeni podwójnej fasady w typowym roku meteorologicznym (stacja Szczeci-Dąbie) przy założeniu temperatury pomieszczeń 23 °C w sezonie grzewczym oraz 26 °C w okresie letnim, oprac. własne [10]

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza możliwości ograniczenia zużycia energii w istniejących budynkach poprzez zastosowanie podwójnej fasady nie objęła aspektu ekonomicznego realizacji inwestycji. Jednak zważywszy na wykazaną obliczeniową redukcję zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji, wynoszącą w rozpatrywanym przykładzie 33% w skali roku (od 23 do 56% w poszczególnych miesiącach typowego roku meteorologicznego – rys. 8), wnioskuje się o zasadności proponowanego rozwiązania. Wykonanie podwójnej fasady przyczyni się w istotny sposób do poprawy warunków użytkowania przestrzeni ograniczając zjawisko przegrzewania się pomieszczeń latem i poprawiając warunki akustyczne. Korzystnie

wpłyne na poprawę funkcjonowania wentylacji naturalnej pomieszczeń znajdujących się w rozpatrywanym skrzydle zachodnim budynku WBIA. Ma to szczególne znaczenie w miesiącach wiosenno-letnich o znacznych, obserwowanych wartościach temperatury powietrza zewnętrznego i natężenia promieniowania słonecznego. Dzięki podniesieniu się temperatury w przestrzeni fasady będzie się tworzyć naturalny ciąg kominowy wspomagający przepływ powietrza we wnętrzu obiektu. Podwójna fasada szklana, zacieniana w okresie letnim, zapewni również poprawę warunków oświetlenia światłem dziennym niwelując zjawisko olśnienia. Ponadto przeszklenie stanowi będzie dodatkowe zabezpieczenie przed nadmiernym hałasem, co jest szczególnie istotne z uwagi na funkcję obiektu oraz znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie budynku ruchliwe arterie komunikacyjne.



Rys. 8. Obliczeniowa redukcja zużycia energii w warunkach roku meteorologicznego (stacja odniesienia Szczecin-Dąbie) w wyniku wprowadzenie podwójnej fasady wentylowanej, oprac. własne [10]

Wprowadzenie do istniejących obiektów zabytkowych dobrze wentylowanej podwójnej fasady, poza względami energetycznymi, pozwala na zachowanie oryginalnej struktury zewnętrznej budynku i nawiązanie swoistego dialogu pomiędzy historycznymi i współczesnymi rozwiązaniami. Istotną cechą podwójnej fasady jest wykorzystanie energii słonecznej do poprawy jakości energetycznej budynku. Należy mieć nadzieję, że tego typu rozwiązania znajdą swoje odzwierciedlenie w realizacjach i wytyczą nowy w skali Polski kierunek podejścia do tematu termomodernizacji istniejącej tkanki budowlanej.

#### LITERATURA

- [1] COMPAGNO A., *Intelligent Glass Facades: Materials, Practice, Design*, Springer DE, 2002, 119.  
 [2] DICKSON A., *Modeling Double-Skin Facades*, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc\\_2004/dickson.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2004/dickson.pdf), Dostęp 01.07.2013.



- [3] Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 05.04.2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG.
- [4] HEIM D., JANICKI M., *Izolacyjność fasad podwójnych*, „Izolacje” 7–8/2010, <http://www.izolacje.com.pl/artukul/id1093,izolacyjnosc-fasad-podwojnych>, Dostęp 01.07.2013.
- [5] KURTZ K., GARBALIŃSKA H., *Zapewnienie właściwych warunków ciepłno-wilgotnościowych w adoptowanych budynkach poprodukcyjnych*, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji „Problemy Techniczno-Prawne Utrzymania Obiektów Budowlanych”, Warszawa 2012, 229–234.
- [6] POIRAZIS H., *Double Skin Facades. A literature review*, Lund Institute of Technology, Lund University, 2004, [http://www.ecbcs.org/docs/Annex\\_43\\_Task34-Double\\_Skin\\_Facades\\_A\\_Literature\\_Review.pdf](http://www.ecbcs.org/docs/Annex_43_Task34-Double_Skin_Facades_A_Literature_Review.pdf), Dostęp 01.07.2013.
- [7] Polska Norma PN-EN ISO 13789 *Cieplne właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przeniesienia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008.
- [8] Polska Norma PN-EN ISO 13790 *Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
- [9] Polska Norma PN-EN ISO 13792 *Cieplne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie temperatury wewnętrznej pomieszczenia w lecie, bez mechanicznego chłodzenia. Metody uproszczone*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007.
- [10] SWARCEWICZ A., *Ocena możliwości redukcji zużycia energii na cele ogrzewania i wentylacji w budynku Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Praca magisterska*, ZUT w Szczecinie, Szczecin 2012.
- [11] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo budowlane*, Dz.U. (1994) 89, poz. 414, z późniejszymi zmianami.
- [12] *Ventilated Double Skin Facade*, Belgian Building Research Institute (BBRI), [http://www.bbri.be/activefacades/new/content/1\\_home/en.html](http://www.bbri.be/activefacades/new/content/1_home/en.html). Dostęp 01.07.2013.

#### THE USE OF DOUBLE SKIN FACEDE IN HISTORICAL BUILDINGS THERMO-MODERIZATION – A CASE OF STUDY

The paper discussed the possibility of using a double skin façade as thermo-modernization works within historic buildings. Calculations were performed on the example of the building of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of the Technical University of Szczecin. The building is originally built in the 30's XX Century and was expanded during the years 60–70 XX Century, with reference to the distinctive external design. The characteristic of modernism simple shape of the building is finished with the red-colored ceramic plates. Due to the advantages of the preserved part of the building and conservation of its envelope structure, in order to improve the thermal conditions in the building there was proposed implementation of the double skin façade within the west wing of the building. Results of the energy performance analysis indicate that there is 33-percent potential of reduction of the annual energy consumption for space heating and ventilation. The introducing of the double skin façade will also contribute to improving the internal microclimate and ventilation conditions.

## ROZDZIAŁ XVIII

# WPLYW STRATEGII PASYWNYCH NA FORMĘ ARCHITEKTONICZNĄ NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH Z WIELKIEJ BRYTANII

Mateusz SIKORSKI\*

Architektura budynku ma duży wpływ na jego zapotrzebowanie na energię. Wykorzystanie zjawiska komina słonecznego, łapacza wiatru, nastawienie na zyski solarne, ochrona przed utratą ciepła i nadmiernym przegrzewaniem, wpływa na obniżenie zapotrzebowania na energię, ale często determinuje sposób kształtowania formy architektonicznej. W skrajnych wypadkach forma wynika z zastosowanych technologii i strategii. W artykule zawarto opis modelowych budynków jednorodzinnych na terenie Wielkiej Brytanii. Obiekty te zaprojektowane są w myśl idei zrównoważonego rozwoju, w sposób wywierający minimalny negatywny wpływ na środowisko. W budynkach zastosowano strategie pasywne, obniżające energochłonność, które mają swoje odzwierciedlenie w formie.

Słowa kluczowe: *architektura energooszczędna, strategie pasywne, rozwiązania pasywne*

### 1. WSTĘP

Konieczność zmniejszenia zapotrzebowania na energię staje się coraz bardziej powszechnym problemem współczesnego budownictwa jako sektora, który zużywa jej znaczną część. Duży nacisk ekonomiczny, społeczny i polityczny sprawia, że podczas projektowania architekci coraz częściej proponują zastosowanie technologii aktywnych redukujących zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania i chłodzenia. Dużo rzadziej stosuje się jednak strategie pasywne, opierające się na prostych zjawiskach fizycznych. Są to rozwiązania, nie wymagające dostarczania energii z zewnątrz. Ponieważ odpowiednia orientacja, struktura, wykorzystane materiały, oraz kształt budynku wpływają na jego energochłonność, świadome projektowanie pod tym kątem może spowodować znaczne zmniejszenie udziału rozwiązań aktywnych w zmniejszeniu kosztów użytkowania budynku lub wydajne ich wspo-

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Wroclawska, ul. Bolesława Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

maganie. Stosowanie rozwiązań pasywnych powinno być rozważane na równi z tymi, które są wysoko zaawansowane technologicznie. Ich potencjał pozostaje jednak nadal niewykorzystywany w dostatecznym stopniu.

Rozwiązania, które opierają się na prostych zjawiskach fizycznych, mają przeważnie swoje odzwierciedlenie w formie architektonicznej. Powiązane są z gabarytami, proporcjami, kształtem, optymalizacją bryły obiektu, układem elewacji, oraz rozwiązaniem detali architektonicznych. Bezpośrednie powiązanie ze strukturą budynku powoduje, że wykorzystanie ich powinno być planowane już na wstępnym etapie koncepcji. Są często kontrowersyjne pod względem formy i wymagają dużo większego zaangażowania architekta w proces projektowy pod kątem optymalizacji energetycznej.

W państwach europejskich o klimacie umiarkowanym wybudowano wiele obiektów z zastosowaniem rozwiązań pasywnych. W okresie ostatniej dekady możemy zaobserwować znaczne zwiększenie promocji wykorzystywania odnawialnych źródeł energii (OZE) i zmniejszenia zapotrzebowania budynków na energię. W krajach Unii Europejskiej projektuje się modelowe budynki o zmniejszonym zużyciu energii, których efektywność badana jest również na etapie użytkowania. Europejski pakiet energetyczno-klimatyczny zakłada zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> o 20% oraz zwiększenie udziału OZE o 20%. Dla większości państw członkowskich oznacza to, że budynki projektowane od roku 2020 będą musiały osiągnąć poziom prawie zerowego zużycia energii.

Wielka Brytania zobowiązała się, że wszystkie budynki realizowane od 2016 roku będą wykazywać zerową emisję CO<sub>2</sub>. Domy takie uzyskiwałyby poziom 6 według wielokryterialnego systemu oceny Code for Sustainable Homes, wprowadzonego dla Anglii, Walii i Irlandii Północnej [11]. Obecnie większość budowanych w Wielkiej Brytanii obiektów mieszkalnych osiąga poziom 3 [1].

Wnioski wyciągnięte z weryfikacji założeń projektowych i użytkowania wzorcowych obiektów brytyjskich mogą stać się pomocne przy realizacji budynków, o znacznie zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię w Polsce. Jest to możliwe ze względu na podobieństwo cech klimatu, zbliżoną szerokości geograficznej i podobną ilości godzin słonecznych w regionie gdzie znajdują się opisane w artykule przykłady.

## 2. STRATEGIE PASYWNE I ROZWIĄZANIA AKTYWNE

Strategiami pasywnymi będą nazywane w artykule wszystkie rozwiązania i działania mające na celu zmniejszenie zapotrzebowania budynku na energię grzewczą i do chłodzenia, które nie wymagają dostarczenia prądu, a przepływ nośnika energii, którym jest w większości przypadków powietrze następuje w sposób nie wymuszony mechanicznie. Do takich strategii można zaliczyć odpowiednią orientację budynku, optymalizację kształtu, strefowanie mikroklimatyczne rzutu i przekroju, wykorzystanie materiałów akumulacyjnych, stosowanie wentylacji naturalnej, zjawiska komina słonecznego, nastawienie na pośrednie i bezpośrednie zyski solarne, itp.. Strategiami

pasywnymi będą również odpowiednie zabezpieczenia przed wychładzaniem i przegrzewaniem, co ma znaczący wpływ na bilans energetyczny budynku.

Przeciwnie, rozwiązania aktywne to systemy, w których przemiana energii słonecznej lub kinetycznej w użytkową następuje z udziałem urządzeń zasilanych energią zewnętrzną. Do takich rozwiązań można zaliczyć ogniwa fotowoltaiczne, kolektory słoneczne, wymienniki ciepła ze sztucznie wymuszonym przepływem czynnika roboczego.

### 3. KINGSPAN LIGHTHOUSE

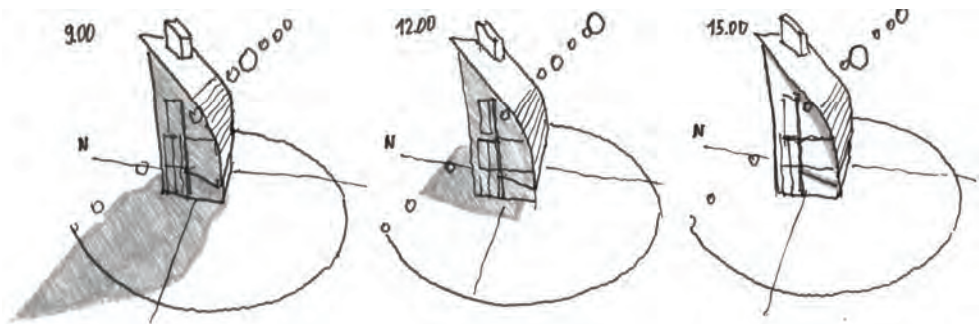
Kingspan Lighthouse jest pierwszym w Wielkiej Brytanii budynkiem prawie zero-energetycznym. Jako pierwszy uzyskał poziom 6 według kryteriów oceny Code for Sustainable Homes [1]. Został zaprojektowany przez Alana Shinglera z biura architektonicznego Sheppard Robbison. Pierwszy modelowy egzemplarz budynku został wybudowany w 2007 roku w parku technologicznym pod Watford na północ od Londynu. Budynek ma promować sposób projektowania w myśl zasad zrównoważonego rozwoju, oraz nowy styl życia, który zmniejsza obciążenie środowiska naturalnego. Projektanci zaproponowali różne warianty budynku wykonanego w tej technologii w zależności od potrzeb użytkowników [8].

Budynek zaprojektowany jest z założeniem, że istotnym zagrożeniem dla poprawnego bilansu energetycznego jest przegrzewanie wnętrza wynikające z bezpośrednich zysków promieniowania słonecznego w okresie letnim. Zmniejszenie kosztów użytkowania za pomocą strategii pasywnych opiera się głównie na selektywnym podejściu do energii słonecznej oraz zwiększeniu udziału wentylacji naturalnej w chłodzeniu [1].

Jednym z podstawowych sposobów obniżenia zapotrzebowania na energię jest zastosowanie izolacji przegród zewnętrznych budynku o niskich współczynnikach przenikania ciepła. Jest ona o około 60% lepsze niż w przeciętnym brytyjskim budynku mieszkalnym i wynosi mniej niż  $U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$  dla ścian, oraz  $U = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  dla okien. Mostki cieplne stanowią mniej niż 4,5% obudowy zewnętrznej domu. Zabiegi te redukują straty ciepła o około 60% w stosunku do tradycyjnego budownictwa [9].

Budynek posiada mniejszą niż przeciętną powierzchnię okien. Stanowi ona 18% całkowitej powierzchni przegród zewnętrznych, co jest ograniczeniem o około 15–18% w stosunku do tradycyjnych rozwiązań [1]. Od strony południowej znajdują się niewielkie okna doświetlające sypialnie i strefę dzienną budynku. Ściana południowa przechodzi płynnie w dach o nachyleniu  $40^\circ$ , na którym umieszczono aktywne systemy pozyskiwania energii słonecznej, nastawione na jej przechwycenie w czasie największej jej intensyfikacji. Pozwala to na skuteczne wykorzystanie energii, która powodowałaby przegrzewanie budynku w okresie letnim. Wnętrze domu oświetlone jest za pomocą okien od wschodu i zachodu, które wyposażone są w przesuwne osłony słoneczne. Ograniczenie w ten sposób o 90% dostępu promieniowania słonecznego zabezpiecza wnętrze przed nadmierną ilością promieniowania, zapewniając możliwość korzystania

z oświetlenia naturalnego w godzinach porannych i wieczornych. Okna te dodatkowo osłonięte są stałymi osłonami słonecznymi w postaci wysuniętych, drewnianych lameli z elewacji południowej oraz wertykalnych paneli przy oknach. Rozwiązanie to ogranicza dostęp promieni słonecznych w najwyższym położeniu słońca, kiedy zyski energii solarnej są największe. Zacienianie budynku w okresie letnim przedstawia rys. 1. Przestrzeń przeznaczona do pracy i częściowo strefa dzienna doświetlone są za pomocą specjalnej latarni usytuowanej w pulpitowym dachu. Stanowią ją okna biegnące wzdłuż całego budynku, nachylone pod kątem w kierunku północnym, które osłonięte są ażurowym przedłużeniem dachu. Rozwiązanie zapewnia oświetlenie rozproszonym światłem, ograniczając dostęp energii słonecznej [2, s. 263–270].

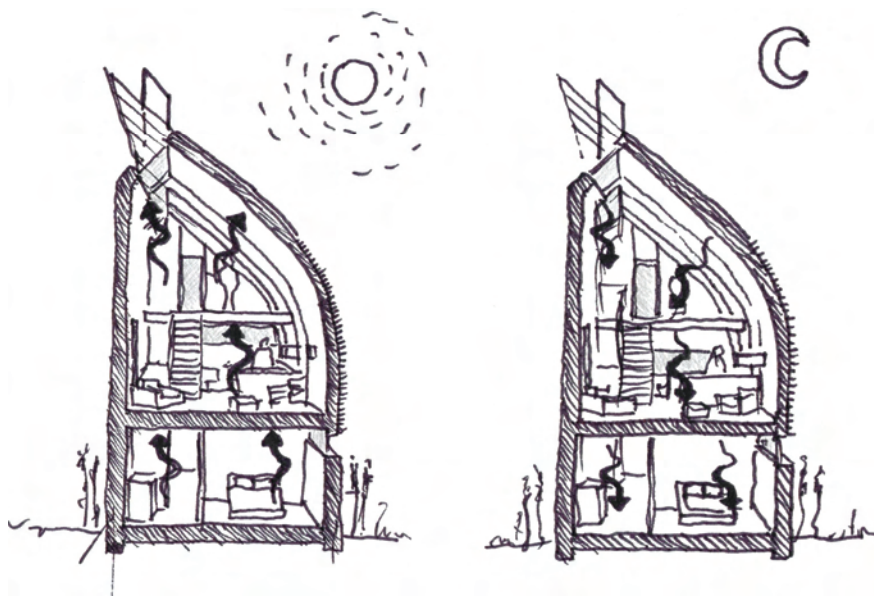


Rys. 1. Schemat oświetlenia budynku w okresie letnim,  
oprac. własne na podstawie materiałów udostępnionych przez Kingspan [1]

Strefowanie budynku w kontekście energii odnosi się głównie do kryteriów takich jak dostęp do oświetlenia dziennego i zapewnienie wentylacji naturalnej. Pomieszczenia techniczne zlokalizowane są w przyziemiu i pozbawione okien. Na tym samym poziomie od strony południowej zaprojektowano sypialnię z osłoniętymi przez drewniane lamele odsuniętej elewacji, wertykalnymi oknami. Od wschodu i zachodu zastosowano kształt okien pozwalający na korzystanie ze światła dziennego rano i wieczorem. Na piętrze znajduje się strefa dzienna oraz centralnie usytuowana kuchnia, ponad którymi zaprojektowano antresolę z miejscem do pracy. Funkcje te nie są wygrodzone i stanowią jednoprzestrzenne wnętrza. Układ taki zapewnia możliwość naturalnego przewietrzania budynku z wykorzystaniem komina słonecznego i łapacza wiatru [5]. Urządzenia te zlokalizowano w centralnej części kalenicy nad otwartą klatką schodową [4].

Pasywne chłodzenie budynku za pomocą systemu naturalnej wentylacji wspomagane jest przez zastosowanie materiałów do krótkotrwałej akumulacji ciepła [1]. Pozwala to na uzyskanie dużo lepszych warunków mikroklimatycznych wnętrza, oraz komfortowych warunków użytkowania. Wykorzystane do wykończenia sufitów płyty gipsowo-kartonowe z materiałem zmiennofazowym pozwalają na zmniejszenie dobowej amplitudy temperatur w budynku w stosunku do standardowych rozwiązań [10].

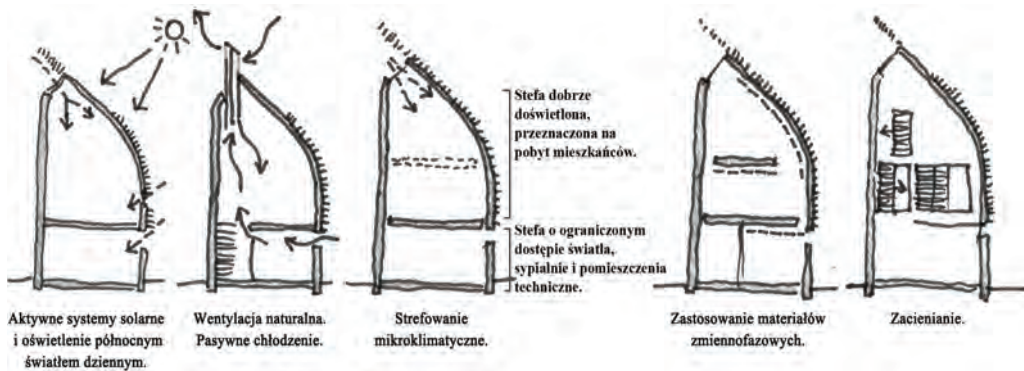
W ciągu dnia nadmiar energii cieplnej gromadzony jest przez powierzchnie akumulacyjne, powodując obniżenie temperatury w pomieszczeniach. W nocy intensywne przewietrzanie budynku chłodniejszym powietrzem powoduje odwrócenia procesu. Mikrokapsułki z materiałem zmiennofazowym zmieniają stan skupienia, oddając zgromadzone ciepło do przepływającego przez budynek powietrza [2, s. 271–274]. Schemat wykorzystania materiałów zmiennofazowych w budynku przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat sposobu wykorzystania materiałów zmiennofazowych do pasywnego chłodzenia, oprac. własne na podstawie materiałów udostępnionych przez Kingspan [1]

Pasywne chłodzenie budynku wspomaganego jest przez zastosowanie łapacza wiatru wspomaganego energią słoneczną. Wykorzystanie takiego rozwiązania znacznie zwiększa wymianę powietrza w budynku. Urządzenie przypomina szklano-aluminiowy komin o dynamicznej formie umieszczony w kalenicy dachu. Otwory nawiewne zwrócone są w kierunku północno-zachodnim, co pozwala na wykorzystanie najczęściej występujących południowo-zachodnich wiatrów i północnych latem [1, 9].

Główne założenia wynikające z zastosowania strategii pasywnych przedstawiają schematy na rys. 3. Trzypiętrowa bryła budynku jest zwarta i zwrócona dłuższą elewacją w kierunku północnym. Pulpitowy dach ma optymalny kąt nachylenia dla aktywnych systemów solarnych. Wysokość budynku z otwartą przestrzenią wewnątrz zapewnia intensyfikację przepływu powietrza. Na elewacji wyraźnie widoczne są zabiegi ograniczające dostęp południowego światła. Zastosowano stałe oraz ruchome elementy zacierniające okna od wschodu i zachodu w momencie najwyższego położenia słońca na nieboskłoniu [1].



Rys. 3. Schemat przyjętych rozwiązań,  
oprac. własne na podstawie materiałów udostępnionych przez Kingspan [1]

#### 4. VELUX CARBONLIGHT HOMES

Budynek w zabudowie bliźniaczej o nazwie CarbonLight Homes został zaprojektowany przez londyńskie biuro architektoniczne HTA. Obiekt został wybudowany w roku 2011 w Rothwell jako ostatni z pierwszej serii budynków w ramach projektu Model Homes 2020. Dom osiągnął poziom 4 według kryteriów oceny Code for Sustainable Homes [6]. Przedsięwzięcie firmy VELUX ma na celu stworzenie modelowych domów o bardzo niskiej emisji CO<sub>2</sub> dla różnych części Europy. Realizacja prototypu, który jest zamieszkały i poddawany ciągłym badaniom, pozwala zweryfikować założenia. Wyciągnięte wnioski mają służyć rozwojowi zrównoważonego budownictwa. Jest to niezwykle ważne dla projektu, który ma promować przyjazne budynki mieszkalne o niskim poziomie emisji CO<sub>2</sub>.

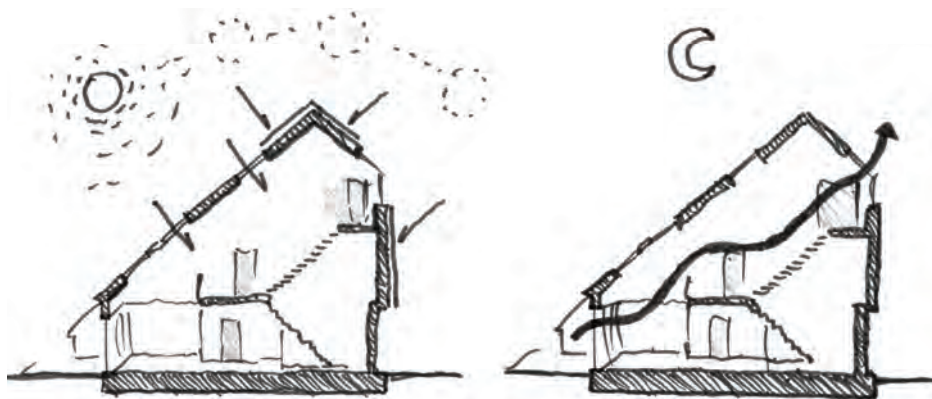
CarbonLight jest zespołem dwóch domów zlokalizowanych na typowych dla Wielkiej Brytanii wąskich i długich działkach. Charakter budynku odwołuje się do zabudowy szeregowej o wąskim froncie i głębokim trakcie. Układ taki powoduje, że budynek posiada niewielką ilość przegród zewnętrznych w stosunku do powierzchni kondygnacji [3].

Redukcja powierzchni ścian stykających się bezpośrednio ze środowiskiem zewnętrznym ogranicza możliwość utraty ciepła przez dobrze zaizolowane ściany. Wszystkie przegrody zewnętrzne, w tym płyta fundamentowa, posiadają współczynnik przenikania ciepła na poziomie  $U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$  [3].

Dom zorientowany jest na osi wschód–zachód. Na krótkiej połąi wschodniej zlokalizowane są kolektory słoneczne, dostarczające ciepłą wodę użytkową. Połąć od strony zachodniej ma dużo większą powierzchnię, na której usytuowano okna doświetlające strefę dzienną. Stanowią one, wraz ze znacznie przeszkloną elewacją, pasywny system bezpośrednich zysków solarnych. To rodzaj szklarni będącej archety-

piczną formą budownictwa słonecznego [7]. Dla wszystkich pomieszczeń w budynku zapewniono bardzo dobry dostęp światła dziennego [3]. Stosunek powierzchni szklenia w oknach do powierzchni użytkowej budynku wynosi aż 25%. Jest to współczynnik trzykrotnie lepszy niż wymagany przez brytyjskie prawo dla nowych budynków. Wynika to z jednego z głównych założeń projektowych, którym jest zapewnienie wysokiej jakości oświetlenia naturalnego.

Wszystkie okna połaciowe wyposażone są w zintegrowane przesłony przeciwsłoneczne. Warstwowa budowa zapewnia podwyższoną o 34% izolacyjność przegrody. Latem przesłony zabezpieczają budynek przed przegrzewaniem, ograniczając dostęp promieni słonecznych. Zimą zmniejszają straty ciepła w okresie niedostatku promieniowania. Opuszczanie żaluzji na noc znacząco ogranicza utratę energii cieplnej przez okna.



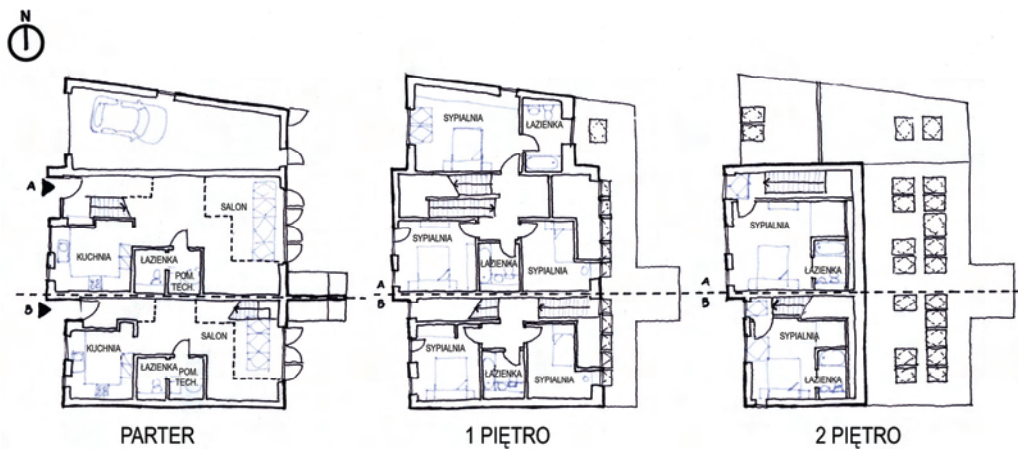
Rys. 4. Schemat wykorzystania energii promieniowania słonecznego oraz wentylacji naturalnej, oprac. własne na podstawie materiałów udostępnionych przez HTA [3]

W budynku zapewniony jest wydajny system wentylacji naturalnej. Kluczowym elementem jest wysoki, sięgający po ostatnią kondygnację salon, co przedstawione jest na rys. 4. We wnętrzu biegnącym przez trzy kondygnacje pod zachodnią połacią dachu, uzyskany jest w sposób niewymuszony przepływ powietrza. Występuje tu efekt zbliżony do zasady działania komina grawitacyjnego lub komina słonecznego. Ciepłe powietrze unosi się do góry i wypuszczane jest przez okna znajdujące się w prawie najwyższym punkcie dachu. Chłodne powietrze napływa do środka budynku przez nisko zlokalizowane otwory okienne. Uzyskany w ten sposób ciąg powietrza we wnętrzu, zapewnia pasywne chłodzenie latem poprzez przewietrzanie budynku nocą. Wydajność regulowana jest przez otwieranie lub zamykanie wysoko usytuowanych okien ponad pustką nad salonem [5]. Wokół tak zaprojektowanej przestrzeni, pełniącej rolę komina do pasywnej wentylacji i chłodzenia, rozmieszczone są poszczególne pomieszczenia. Pozwala to zachować bardzo dobrą jakość powietrza i wysoki komfort



użytkowania. W budynku całkowicie zrezygnowano z wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła na rzecz strategii pasywnych.

Strefowanie mikroklimatyczne uzależnione jest przede wszystkim od pasywnych zysków solarnych i zapewnienia oświetlenia naturalnego pomieszczeniom przeznaczonym na pobyt mieszkańców [7]. Sypialnie, kuchnia i salon stykają się z przegrodami zewnętrznymi. Zapewnia to dobry dostęp światła dziennego. Łazienki i pomieszczenia techniczne są ciemne, zlokalizowane w większości wewnątrz rzutów przy ścianie działowej z sąsiadem. Rozmieszczenie pomieszczeń przedstawia rys. 5. Takie rozwiązanie obniża energochłonność budynku dzięki ograniczeniu styku ze ścianami zewnętrznymi pomieszczeń o wyższej temperaturze.



Rys. 5. Strefowanie mikroklimatyczne budynku, schemat rozmieszczenia pomieszczeń pomocniczych i technicznych, oprac. własne na podstawie materiałów udostępnionych przez HTA [3]

## 5. WNIOSKI

Dążenie do ekstremalnie niskiego zużycia energii wymusza stosowanie systemów aktywnych, pozwalających w łatwiejszy sposób uzyskać oczekiwany poziom energooszczędności. Strategie pasywne przy projektowaniu budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię stanowią zazwyczaj ich istotne uzupełnienie, mogą jednak być głównymi założeniami projektowymi, co pokazuje przykład CarbonLight. Są niejednokrotnie elementami łatwo odczytywalnymi w formie architektonicznej, a odpowiednio zaprojektowane mogą stanowić interesujący detal, który kształtuje indywidualny charakter budynku. Stosowanie rozwiązań pasywnych wymaga jednak od architekta uwzględnienie ich we wstępnym etapie projektowania, ponieważ często mają one wpływ na strukturę obiektu i układ funkcjonalny. Rozwiązania takie wymagają od

projektanta większego zaangażowania i ściślejszej współpracy z projektantami innych branż.

Otwarty, wielopoziomowy układ przestrzeni w łatwy sposób można wykorzystać do zwiększenia wydajności wentylacji naturalnej, rezygnując z wentylacji mechanicznej. Zwiększoną wymianę powietrza uzyskuje się poprzez zastosowanie otworu okiennego w najwyższym punkcie budynku. Efekt ten można wzmocnić poprzez zastosowanie łapacza wiatru, który może stanowić interesujący detal architektoniczny. Wydajność systemu może być zwielokrotniona dzięki udziałowi energii słonecznej. Stosowanie pustki powietrznej nad pomieszczeniami oraz otwartych planów, zapewniających swobodny przepływ powietrza, pozwala łatwo kształtować ciekawą przestrzeń o prorodzinnym charakterze.

W strategiach pasywnych możemy wyróżnić dwa podejścia do energii słonecznej. Pierwsze to stosowanie jak największej ilości przeszkleń nastawionych na bezpośrednie zyski solarne, w celu zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło w okresie grzewczym. Podejście takie wymaga również skrupulatnego rozwiązania stałych i ruchomych osłon słonecznych. Brak możliwości odpowiedniej ochrony przed słońcem powoduje przegrzewanie budynku w okresie letnim, a co za tym idzie spadek komfortu użytkowania oraz wzrost kosztów.

Odpowiednia ochrona przed światłem południowym jest podejściem opozycyjnym. W okresie letnim ilość promieniowania słonecznego może stanowić zagrożenie dla utrzymania komfortu cieplnego w budynku. Odcięcie od nadmiaru promieniowania mogącego doprowadzić do przegrzewania wnętrza, powinno wiązać się z konwersją energii przez panele fotowoltaiczne. Podejście takie pozwala wykorzystać dużą ilość promieniowania latem, co ograniczone jest w przypadku strategii pasywnych. W takim podejściu do zysków solarnych charakterystycznymi elementami są odpowiednio zaprojektowane osłony oraz redukcja powierzchni okien od strony południowej na rzecz systemów służących do pozyskiwania energii słonecznej. Doświetlenie budynku odbywa się głównie w sposób bezpośredni od wschodu i zachodu, oraz promieniowaniem rozproszonym od północy. Zapewnia to dobre warunki oświetlenia naturalnego przy ograniczonych zyskach solarnych.

#### LITERATURA

- [1] AI SHARHAN D., OZCELIK E.S., *Kingspan Lighthouse*, <http://www.public.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>, Dostęp 03.07.2013.
- [2] CHWIEDUK D., *Energetyka słoneczna budynku*, Arkady, Warszawa 2011.
- [3] *Detail Das Architekturportal Toward CO<sub>2</sub> neutrality*, <http://www.detail-online.com/architecture/topics/toward-co2-neutrality-018728.html>, Dostęp 01.07.2013.
- [4] GACZOŁ T., *Kominy Słoneczne – Wybrane przykłady*, „Czasopismo techniczne Architektura”, 2010, z. 18, z. 8-A, 130–136.
- [5] GACZOŁ T., *Wentylacja naturalna systemy nawiewu – wybrane przykłady*, Czasopismo techniczne Architektura, 2007, z. 10, z. 4-A, 64–70.

- [6] HTA, <http://www.hta.co.uk/projects/velux-carbonlight-houses>, Dostęp 01.07.2013.
- [7] KUCZIA P., *Solarna aktywacja budynków: 10 rozwiązań strukturalnych*, Czasopismo techniczne Architektura, 2011, z. 11, z. 2-A2, 128–134.
- [8] *Kingspan Lighthouse*, [http://www.kingspanlighthouse.com/pdf/lighthouse\\_flyer.pdf](http://www.kingspanlighthouse.com/pdf/lighthouse_flyer.pdf), Dostęp 03.07.2013.
- [9] *Kingspan Lighthouse*, <http://www.kingspanlighthouse.com/pdf/lighthouse.pdf>, Dostęp 03.07.2013.
- [10] OSTRÝ M., BEČKOVSKÝ D., *Konstrukce z wykorzystaniem fazowo-zmiennych materiałów*, Czasopismo techniczne Architektura, 2010, z. 4, z. 2-B, 172–176.
- [11] *Code for Sustainable Homes A step-change in sustainable home building practice* [http://www.planningportal.gov.uk/uploads/code\\_for\\_sust\\_homes.pdf](http://www.planningportal.gov.uk/uploads/code_for_sust_homes.pdf), Dostęp 01.07.2013.

#### INFLUENCE OF PASSIVE STRATEGY ON ARCHITECTURAL FORM BASED ON SELECTED SINGLE-FAMILY HOUSES FROM GREAT BRITAIN

The building's architecture has a major impact on the demand for energy. Use of the phenomenon of solar chimney, wind catcher, focus on solar gains, high level of thermal insulation and excessive overheating, reduce energy demand, but often determines architectural form. In extreme cases, form follows the technologies and strategies. This article presents the overview of model single-family houses in the United Kingdom. These buildings are designed in accordance with the idea of sustainable development, in a way that exerts a minimal negative influence on the environment. The buildings use passive strategies that reduce energy consumption, which are reflected in the form.

## ROZDZIAŁ XIX

# ARCHITEKTURA NISKOENERGETYCZNA W PROJEKTACH TYPOWYCH

Piotr MICHALSKI\*

Artykuł przedstawia proces tworzenia projektów typowych domów jednorodzinnych energooszczędnych w oparciu o doświadczenia przy opracowaniu katalogu takich projektów. Obecnie najszybciej rozwijającą się gałęzią architektury niskoenergetycznej w Polsce jest architektura mieszkaniowa, zwłaszcza jednorodzinna. Zmieniające się wymogi dotyczące energooszczędności, niższe koszty utrzymania i dopłaty do tego typu budownictwa spowodowały znaczny wzrost zainteresowania inwestorów tą tematyką. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom inwestorów, powstaje coraz więcej katalogów z budynkami jednorodziennymi niskoenergetycznymi. Typowy projekt budynku mieszkalnego jednorodzinnego musi być uniwersalny, dostosowany do wielu potencjalnych lokalizacji i wymagań klienta. Takie podejście do projektowania jest sprzeczne z zasadami projektowania budynków niskoenergetycznych, które w przeważającej większości projektowane są jako zlecenia indywidualne. W artykule przybliżono problematykę tej dziedziny architektury.

Słowa kluczowe: *architektura niskoenergetyczna, projekty typowe domów jednorodzinnych, domy energooszczędne*

## 1. SYTUACJA ARCHITEKTURY NISKOENERGETYCZNEJ W POLSCE

### 1.1. ROSNĄCA ŚWIADOMOŚĆ EKOLOGICZNA

Budownictwo niskoenergetyczne stało się zagadnieniem, które na dobre zagościło już w polskiej architekturze. Jest to skutek szeroko zakrojonych akcji społecznych, edukacji jak również wzrastającej świadomości ekologicznej zarówno użytkowników jak i inwestorów. W dobie wszechobecnego kryzysu finansowego ta świadomość może być również w dużym stopniu kształtowana przez rosnące koszty utrzymania obiektów budowlanych. Do tego należałoby dodać zmieniające się przepisy, który na razie zachęcają, a już niedługo będą wymagać stosowania rozwiązań proekologicz-

---

\* Wydział Architektury i Urbanistyki, Politechnika Wrocławska, ul. Bolesława Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

nych i obniżających konsumpcję energii w budownictwie. Przyjęty w 2007 roku Pakiet Klimatyczny zakłada ograniczenie do 2020 roku emisji gazów cieplarnianych o 20%, zwiększenie udziału źródeł odnawialnych w bilansie energetycznych do 20% oraz podniesienie o 20% efektywności energetycznej.

Przyjęło się uważać, że budynek niskoenergetyczny to taki, którego bilans energetyczny jest o wiele niższy od budynków tradycyjnych i jest na poziomie 40 kWh/(m<sup>2</sup>\*rok) lub niższym. W praktyce oznacza to, że niskoenergetyczność takiego budynku powinna obejmować również ograniczenie zużycia energii już na etapie wytwarzania materiałów budowlanych oraz podczas budowy a także należy zadbać o pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych w sposób aktywny jak i pasywny.

Na podstawie Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, państwa członkowskie są zobowiązane by od początku 2021 roku wszystkie nowo powstające budynki były obiektami „o niemal zerowym zużyciu energii”[7]. W tym celu za pośrednictwem Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) został uruchomiony program dopłat do budynków niskoenergetycznych. Jest to program skierowany *do osób fizycznych budujących dom jednorodzinny lub kupujących dom/mieszkanie od dewelopera* [...] [4, s. 1]. Celem programu jest m.in. przygotowanie inwestorów, projektantów, producentów materiałów budowlanych oraz wykonawców do nowych wymagań, które w przyszłości będą stawiane w budownictwie.

W obliczu tak zmieniających się przepisów dotyczących przyszłości budownictwa, nieuchronnym jest rozwój architektury w kierunku niskoenergetyczności. Artykuł przybliży problematykę projektowania typowych budynków niskoenergetycznych, których udział w nowym budownictwie będzie na pewno znaczący.

## 1.2. PROGRAM DOPLAT DO KREDYTÓW NA DOMY ENERGOOSZCZĘDNE

Program dopłat do kredytów na domy energooszczędne uruchomiony przez NFOŚiGW na lata 2013–2018 ma być zachętą i impulsem do wdrażania rozwiązań niskoenergetycznych w polskim budownictwie jeszcze przed zmianą obowiązujących przepisów. Dopłaty będą realizowane jako częściowa spłata kapitału kredytu zaciągniętego na budowę domu lub zakup mieszkania. Będą one wypłacane po zakończeniu procesu budowy lub po zakupie gotowego domu bądź mieszkania i zweryfikowaniu czy obiekt odpowiada stawianym mu przez NFOŚiGW wymaganiom.

NFOŚiGW w „Załączniku nr 3 do Programu Priorytetowego” [6] ściśle określa wytyczne, które są *niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych* [5, s. 13]<sup>1</sup>. Wymagania te znacząco różnią się

---

<sup>1</sup> Niniejszy artykuł ograniczy się jedynie do analizy budownictwa energooszczędnego jednorodzinnego a tym samym zostaną omówione jedynie wymagania stawiane takim obiektom.

od tych stawianych obecnie w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie (Warunki Techniczne) [8] i są niejako zapowiedzią zmian, które nastąpią w niedalekiej przyszłości. Wymagania dotyczące budownictwa jednorodzinnego, a co za tym idzie również wysokości dopłat zostały podzielone na dwie kategorie: standard NF15 oraz standard NF40. Odpowiadają one uzyskanym wskaźnikom rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji (EUco). Standard NF15 zakłada wskaźnik EUco na poziomie mniejszym lub równym 15 kWh/(m<sup>2</sup>rok) i dopłatę wysokości 50 000zł brutto. W przypadku standardu NF40 jest to odpowiednio EUco na poziomie mniejszym lub równym 40 kWh/(m<sup>2</sup>rok) i dopłata w wysokości 30 000 zł brutto [7]. Również wymagane parametry zarówno budynku, jego konstrukcji oraz wyposażenia mocno różnią się pomiędzy standardami oraz obecnymi Warunkami Technicznymi, m.in. graniczne wartości współczynników przenikania ciepła przegród w standardzie NF40 są średnio dwa razy niższe od wartości w Warunkach Technicznych. Dla standardu NF15 te wartości są już średnio trzy razy niższe. Dodatkowe, dość surowe wymagania stawiane układom wentylacji oraz instalacjom grzewczym i sanitarnym mocno podnoszą koszty budowy. Według szacunkowych kosztorysów przeprowadzonych przez Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy, koszt wzniesienia przeciętnego budynku jednorodzinnego w standardzie NF40 do tzw. stanu deweloperskiego<sup>2</sup> jest o średnio 60 000 zł wyższy [8] niż w przypadku wznoszenia tego budynku wg obecnych Warunków Technicznych.

Dzięki akcjom społecznym i programom, takim jak program NFOŚiGW, świadomość ekonomiczna inwestorów w ostatnim czasie wzrosła. O ile nie każdy decyduje się na udział w programie dopłat z powodu wyższych kosztów budowy i skomplikowanych procedur, o tyle zainteresowanie domami jednorodzinnymi niskoenergetycznymi rośnie [3]. Najodpowiedniejszym trybem projektowym dla budownictwa energooszczędnego są tzw. projekty indywidualne wykonywane specjalnie pod określone wymagania inwestora oraz warunki lokalizacji. Niestety nie każdy, kto chce wybudować dom jednorodzinny decyduje się na tego typu usługę. Część, jak nie większość inwestorów prywatnych wybiera projekty typowe. Dzieje się tak nie tylko z powodu niższej ceny, ale również z obawy przed ostatecznym wyglądem projektu. Wychodząc naprzeciw nowym oczekiwaniom inwestorów, wiele biur projektowych postanowiło stworzyć katalogi typowych projektów domów jednorodzinnych w standardach niskoenergetycznych, również dostosowanych do programu dopłat NFOŚiGW. Przedstawiony proces opracowania takiego katalogu został oparty o doświadczenia własne autora zdobyte przy współpracy w przygotowaniu projektu Domy Czystej Energii dla Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> W kosztorysie nieuwjęte zostały instalacje sanitarne oraz niskoprądowe.

<sup>3</sup> Domy Czystej Energii – projekt zakładający utworzenie katalogu 50 projektów typowych domów jednorodzinnych w standardzie niskoenergetycznym.

## 2. LOGISTYKA PROJEKTOWANIA ARCHITEKTURY BUDYNKÓW TYPOWYCH NISKOENERGETYCZNYCH

### 2.1. PROJEKTY INDYWIDUALNE A TYPOWE W BUDOWNICTWIE NISKOENERGETYCZNYM

Projektowanie architektury niskoenergetycznej to proces o wiele bardziej złożony i składający się z większej liczby etapów pracy niż ma to miejsce w przypadku projektowania konwencjonalnego. Podczas tworzenia takiego projektu należy wziąć pod uwagę znacznie więcej czynników wpływających nie tylko na układ funkcjonalny czy wygląd budynku, ale przede wszystkim na jego parametry energetyczne. Parametry te zależą w bardzo dużej mierze od lokalizacji projektowanego budynku, czyli od czegoś, co w projektowaniu indywidualnym jest wartością stałą a w przypadku projektów typowych zmienną. Z założenia, projekt typowy jest projektem powtarzalnym, możliwym do zrealizowania w wielu miejscach, co jest sprzeczne z zasadami projektowania budynków niskoenergetycznych, które w przeważającej większości projektowane są obecnie jako zlecenia indywidualne. Umożliwia to gruntowne przestudiowanie czynników, które są niezbędne do dobrze zaplanowanego budynku niskoenergetycznego, czyli warunków panujących na działce jak i wokół niej, warunków zabudowy oraz oczekiwań klienta. W przypadku projektowania budynku typowego niskoenergetycznego niemożliwym jest określenie jego wszystkich docelowych lokalizacji a więc nie można wziąć pod uwagę wszystkich warunków lokalnych. Dlatego ważne jest, by w projekcie określić warunki, jakie dana lokalizacja musi spełnić by osiągnąć projektowany profil energetyczny. W przypadku typowych projektów niskoenergetycznych bardzo ważny jest więc proces ich adaptacji. Osoba adaptująca musi wziąć pod uwagę wszelkie wytyczne dotyczące precyzyjnego orientowania takiego obiektu a w razie odstępstw wykonać ponownie wszelkie analizy energetyczne i zmiany pozwalająca na utrzymanie zaprojektowanego profilu energetycznego.

### 2.2. PROCES TWORZENIA KATALOGU PROJEKTÓW TYPOWYCH

W trakcie pierwszych etapów tworzenia katalogu projektów powtarzalnych domów jednorodzinnych, musi zapaść szereg kluczowych decyzji, które będą miały bezpośredni wpływ na wygląd późniejszych projektów. Pierwszą z takich decyzji, w przypadku projektów energooszczędnych, jest ustalenie profilu niskoenergetyczności planowanych projektów. W obliczu uruchomionego programu dopłat NFOŚiGW, oczywistym wydaje się, że głównymi profilami powinny być projekty spełniające warunki standardów NF15 oraz NF40. Ponieważ spełnienie wszystkich kryteriów programu jest czasochłonne i kosztowne, warto również zadbać o projekty budynków osiągających współczynnik zapotrzebowania na energię użytkową na poziomie  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$  jednak niekoniecznie spełniających wszystkie punkty programu.

Rozsądnym wydaje się przygotowanie projektów wg. standardów NF40 z możliwością rezygnacji z niektórych elementów wymaganych przez NFOŚiGW tak by obniżyć koszt budowy przy jednoczesnym utrzymaniu niskiego zapotrzebowania na energię użytkową.

W kolejnym kroku należy również określić profil odbiorcy, biorąc pod uwagę wielkość projektowanych domów jak i ich styl. W przypadku katalogów zawierających projekty konwencjonalnych domów ich asortyment jest możliwie szeroki tak by zaspokoić oczekiwania jak największej grupy inwestorów. Projektuje się, zatem zarówno domy małe o ograniczonym budżecie na budowę jak i domy duże o znacznie wyższych kosztach budowy. To samo tyczy się ich stylistyki. Są domy o elewacjach klasycznych jak i bardzo nowoczesnych. W przypadku tworzenia katalogu typowych projektów niskoenergetycznych ta sprawa wygląda podobnie. Domy energooszczędne charakteryzują się wyższymi kosztami budowy od domów konwencjonalnych, dlatego ważnym jest by proponowany asortyment zapewniał zarówno domy duże, o wyższych kosztach budowy jak i domy małe, których koszt budowy będzie niewielki a ekonomika użytkowania duża. Stylistyka tych budynków również musi zaspokajać różne oczekiwania inwestorów. Część z nich szuka domów o bardzo nowoczesnym wyrazie, w który bardzo łatwo wpisują się m.in. instalacje kolektorów słonecznych czy paneli fotowoltaicznych. Naprzeciw oczekiwaniom inwestorów szukających projektów o klasycznej architekturze wychodzą producenci, którzy proponują instalacje solarne czy fotowoltaiczne, które można zaadoptować w domach klasycznych. Są to m.in. panele fotowoltaiczne o kolorze dachówki ceramicznej czy też systemy montażowe pozwalające na zintegrowanie kolektorów solarnych z płaszczyzną dachówki.

Podczas powstawania projektu Domy Czystej Energii kwestia stylistyki budynków została rozwiązana w inny sposób. Każdy z proponowanych domów posiada trzy warianty wykończeniowe, jak pokazano na przykładzie domu Twin (projekt autora), jest to wariant nowoczesny (rys. 1), tradycyjny (rys. 3) oraz ekonomiczny (rys. 2). Pierwszy z nich stara się podążać za aktualnie panującymi trendami w architekturze, nie tylko mieszkaniowej, proponując architekturą o nowoczesnym, awangardowym wyglądzie. Drugi wariant proponuje stylistykę spokojniejszą, lecz równie nowoczesną w swoim wyrazie. Trzeci stara się minimalizować koszty budowy domu tak by budynki energooszczędne nie były zarezerwowane jedynie dla inwestorów z większym budżetem.



Rys. 1. Twin Modern, oprac. własne [2]



Rys. 2. Twin Economic, oprac. własne [2]





Rys. 3. Twin Classic, oprac. własne [2]

### 3. PROBLEMATYKA W PROJEKTOWANIU TYPOWYCH BUDYNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH

#### 3.1. LOKALIZACJA I ORIENTACJA BUDYNKU

Projektowanie budynków niskoenergetycznych jest złożonym procesem i wymaga znacznie więcej od projektantów niż projekty konwencjonalne. Złożoność wszelkich analiz wykonywanych przed rozpoczęciem prac projektowych jak i w ich trakcie jest o wiele większa zwłaszcza w odniesieniu do lokalizacji budynku. Działka, na której ma powstać obiekt ma największy wpływ na jego kształt. Należy uwzględnić szereg czynników wpływających na parametry niskoenergetyczności jak położenie geograficzne, orientację, średnie nasłonecznienie, spadki terenu, zacienianie. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę kontekst położenia projektowanego budynku tak by współgrał on z otoczeniem oraz spełniał zapisy miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego czy warunków zabudowy. W przypadku projektowania typowego wszelkie analizy lokalizacji są niemożliwe. Projekt musi zawierać dokładne wyznaczniki, które należy spełnić by osiągnąć dany profil energetyczny. Jest to m.in. położenie geograficzne, orientacja względem północy czy zacienianie budynku przez otoczenie.

Do analiz i obliczeń energetycznych lokalizacja musi być realna by obliczyć choćby współczynniki przenikania ciepła przez przegrody czy zyski solarne. W takim wypadku niezbędne jest określenie jednej wspólnej i uniwersalnej dla wszystkich projektów lokalizacji. Ważnym jest by inwestora uświadomić, że obliczenia zostały wykonane dla tej ściśle określonej lokalizacji i umiejscowienie projektu w innej części kraju może znacząco wpłynąć na osiągnięte współczynniki zapotrzebowania na energię użytkową. Według obliczeń [9] wykonanych przy tworzeniu projektu Domy Czystej Energii wykazano, że przykładowy dom zlokalizowany w Legnicy posiada zapotrzebowanie na energię użytkową na poziomie 33,6 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Ten sam budynek wybudowany w tej samej technologii i zorientowany względem północy w ten sam sposób jednak na działce w Suwałkach ma zapotrzebowanie na energię użytkową na poziomie 50,9 kWh/(m<sup>2</sup>rok), czyli o 55,5% więcej a już wybudowanie go w Świnouj-

ściu da zapotrzebowanie niższe o 14,6% czyli 28,7 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Powyższe obliczenia wykazują, że w przypadku obiektu niskoenergetycznego krytycznym jest określenie jego lokalizacji bazowej, dla której wykonane zostały analizy energetyczne. W przypadku umiejscowienia takiego projektu w innej części kraju niezbędnym jest przeprowadzenie analiz potwierdzających utrzymanie projektowanych parametrów lub wykazujących dokonanie potrzebnych zmian.

Równie ważna, co lokalizacja, dla projektów niskoenergetycznych jest ich orientacja względem północy. Projektowane budynki mają ściśle określone wielkości przeszkleń na poszczególnych elewacjach. Są one dokładnie dobierane tak by bilans strat ciepła do zysków solarnych był możliwie jak najlepszy. By to spełnić przeważnie przeszklenia na elewacji południowej są spore tak, aby w pełni wykorzystać zyski solarne, zwłaszcza w zimie. Odwrotna sytuacja ma miejsce na elewacji północnej gdzie zyski solarne są minimalne a więc powierzchnia przeszkleń powinna być jak najmniejsza. Dodatkowo, budynki niskoenergetyczne często są projektowane tak by uzyskać jak największe powierzchnie połąci dachowych zorientowanych na południe, daje to możliwość najefektywniejszego wykorzystania systemów kolektorów słonecznych i/lub paneli fotowoltaicznych. Według analiz [9] przeprowadzonych na potrzeby projektu Domy Czystej Energii dla przykładowego projektu o zapotrzebowaniu na energię użytkową w wysokości 33,6 kWh/(m<sup>2</sup>rok) odchylenie jego orientacji do 30° na wschód bądź do 20° na zachód powoduje wzrost tego zapotrzebowania o 10,4%. Ponieważ niemożliwym jest przewidzenie dokładnej orientacji działki w przypadku projektu typowego, ważnym jest wyraźne zaznaczenie orientacji budynku, dla której zostały wykonane obliczenia energetyczne. Inwestor musi mieć świadomość, że niedopilnowanie tej orientacji w znaczący sposób wpłynie na osiągnięty współczynnik zapotrzebowania na energię użytkową, co ma znaczenie zwłaszcza w przypadku udziału w programie dopłat NFOŚiGW.

### 3.2. FORMA BUDYNKU

W przypadku projektowania niskoenergetycznego, forma budynku ma dodatkowe znaczenie. Budynki niskoenergetyczne mają możliwie zwartą i prostą formę. Do jej weryfikacji można zastosować współczynnik kształtu A/V, gdzie A to suma pól powierzchni wszystkich przegród budynku oddzielających część ogrzewana od powietrza zewnętrznego, V jest kubaturą ogrzewanej części budynku. Im wynik niższy tym, teoretycznie, budynek ma mniejsze zapotrzebowanie na energię użytkową jednak nie może on być jedynym wyznacznikiem tego czy dana bryła jest energooszczędna. Budynek o tych samych proporcjach, ale o większych gabarytach będzie mieć współczynnik kształtu niższy za sprawą większego przyrostu kubatury niż pól powierzchni przegród zewnętrznych. W tej kwestii zalecany jest umiar, jeżeli chodzi o skomplikowanie bryły. Z jednej strony znaczne rozrzeźbienie budynku daje znacznie większe powierzchnie, przez które może przenikać ciepła, a z drugiej są to dodatkowe, newral-

giczne miejsca gdzie łatwo o niezapewnienie odpowiedniej szczelności budynku. Jedną z dobrych praktyk projektowych jest podzielenie domu jednorodzinnego na dwie lub więcej brył. Pierwsza, zasadnicza to część mieszkalna, w której znajdują się pomieszczenia ogrzewane. Kolejnymi mogą być pomieszczenia nieogrzewane takie jak wiatrołapy, garaże, warsztaty. Rozbicie funkcjonalne daje możliwość uzyskania bryły, która wizualnie jest skomplikowana, atrakcyjna dla potencjalnego inwestora a jednak z energetycznego punktu widzenia jest bryłą prostą o niskim współczynniku kształtu. Dodatkowo, rozbiciu budynku na odrębne, odizolowane od siebie części pozwala uzyskać mniejszą kubaturę wentylowaną, co bezpośrednio przekłada się na niższe zapotrzebowanie na energię użytkową gdyż pomieszczenia nieogrzewane znajdują się poza ogrzewaną bryłą budynku.

Kolejnym zagadnieniem dotyczącym formy projektów typowych są odbicia lustrzane. Jest to praktyka szeroko stosowana w projektach konwencjonalnych jednak w przypadku budynków niskoenergetycznych nie jest ona do końca akceptowalna. Należy pamiętać, że odpowiednia orientacja ma kluczowe znaczenie w osiąganym współczynniku zapotrzebowania na energię użytkową i jej zmiana, również poprzez odbicie lustrzane budynku może ten współczynnik drastycznie zmienić. O ile odbicie lustrzane wzdłuż osi wschód-zachód absolutnie nie jest dopuszczalne, o tyle odbicia północ-południe w niektórych przypadkach mogą być akceptowane. Należy pamiętać, że ze względu na zyski solarnych, kluczowymi dla budynku niskoenergetycznego są elewacje północna i południowa. Elewacje wschodnie i zachodnie są elewacjami pośrednimi. Występują na nich, co prawda zyski słoneczne, jednak zależą one w dużym stopniu od lokalizacji projektu. W niektórych przypadkach lepsze nasłonecznienie występuje od strony wschodniej w innych od zachodniej. W takim wypadku warto rozważyć odbicie lustrzane względem osi północ-południe tak by możliwie w jak najlepszym stopniu wykorzystać potencjalne zyski solarne. Warto przy tym zwrócić uwagę na wnętrze projektowanego domu tak by zachować odpowiedni rozkład funkcji, m.in. w kuchni.

### 3.3. STANDARYZACJA

Tworzenie katalogu składającego się z wielu projektów typowych wymaga pewnej standaryzacji. Jeżeli jest to katalog domów niskoenergetycznych to tym bardziej wymaga on dokładniejszego przemyślenia procesu projektowego. Warto dokonać analiz prowadzących m.in. do wyboru systemu, w którym będą wznoszone budynki tak by był on na tyle uniwersalny i spełniał dość rygorystyczne wymagania by można go było stosować w większości planowanych projektów. Ponieważ w budynkach niskoenergetycznych ich szczelność oraz izolacyjność jest niewrażliwa to opracowanie uniwersalnych detali, które najczęściej pojawiają się w projektach wydaje się obowiązkowe. Dzięki temu inwestor może otrzymać gotowy przewodnik jak należy wznosić budynek, co może znacząco ograniczyć ilość potencjalnie popełnionych błędów na budowie.

#### 4. PODSUMOWANIE

Projekty budynków niskoenergetycznych wymagają większego nakładu pracy niż projekty konwencjonalne. Podjęcie próby stworzenia takich projektów w wersji powtarzalnej wymaga określenia jednej lokalizacji, dla której robione są analizy energetyczne. Należy wykazać się umiejętnością uniwersalnego i precyzyjnego projektowania by stworzyć projekt wraz z zestawem wytycznych dotyczących m.in. lokalizacji budynku tak by osiągnąć planowany profil energetyczny. Wymaga to przemyślenia wielu czynników, które miały wpływ na kształt ostatecznego projektu. W tym celu niezbędny jest zintegrowany proces projektowy, ponieważ ilość analiz podstawowych i ewentualnych wariantów projektu jest znaczna a potencjalne, nieprzewidziane zmiany mogą w bardzo negatywny sposób wpłynąć na energooszczędność budynku. Ponieważ projekty muszą być jak najbardziej uniwersalne by sprostać zarówno wymaganiom inwestorów, lokalizacji działki oraz ewentualnie spełniać standardy programu dofinansowań NFOŚiGW to proces projektowy wymaga nieustannego kontaktu pomiędzy projektantami zarówno architektury jak i konstrukcji, instalacji sanitarnych oraz osób odpowiedzialnych za optymalizację energetyczną by osiągnąć zakładany profil niskoenergetyczności.

Pomimo dokładnej analizy projektów, bardzo duży wpływ na ostateczny wygląd budynku mają osoby adaptujące obiekt do konkretnej lokalizacji. W przypadku konwencjonalnych projektów typowych projektant adaptujący musi zadbać jedynie o poprawne umiejscowienie projektowanego budynku na działce i o zapewnienie przyłączy mediów. W przypadku typowych projektów budynków niskoenergetycznych ich ulokowanie na działce i względem północy jest o wiele ważniejsza, w dodatku należy przeanalizować m.in. zacienianie tak by nie pogorszyć warunków działania ewentualnego systemów słonecznych. Takie projekty wymagają znacznie większej liczby bardzo dokładnych wytycznych dla projektanta adaptującego, które określą dopuszczalne odchyły od projektowanej orientacji czy wytyczne, co do zagospodarowania terenu tak by otoczenie pomagało a nie przeszkadzało w działaniu budynku.

#### LITERATURA

- [1] BAĆ A., *Podstawy projektowania zrównoważonego*, [w:] *Habitaty-zrównoważony rozwój środowiska mieszkaniowego*, pod red. Z. Bać, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011, 157–160.
- [2] *Domy Czystej Energii*, Opracowanie Centrum Technologii Energetycznych y, Świdnica 2013.
- [3] *Millward Brown SMG/KRC, Co Polacy wiedzą o energooszczędności*, [http://effectivepr.pl/a/1501/Co\\_Polacy\\_wiedza\\_o\\_energooszczednosci.html](http://effectivepr.pl/a/1501/Co_Polacy_wiedza_o_energooszczednosci.html), Dostęp 27.08.2013.
- [4] Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Dopłaty do kredytów na domy energooszczędne – Informacje o programie*, <http://www.nfosigw.gov.pl/srodki-krajowe/doplatty-do-kredytow/doplatty-do-kredytow-na-domy-energooszczedne/informacje-o-programie/>, Dostęp 09.07.2013.

- [5] Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Program Priorytetowy*, [http://www.nfosigw.gov.pl/download/gfx/nfosigw/pl/nfoopisy/791/1/21/program\\_priorytetowy-domy.pdf](http://www.nfosigw.gov.pl/download/gfx/nfosigw/pl/nfoopisy/791/1/21/program_priorytetowy-domy.pdf), Dostęp 09.07.2013.
- [6] Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Załącznik nr 3 do Programu Priorytetowego*, [http://www.nfosigw.gov.pl/download/gfx/nfosigw/pl/nfoopisy/803/1/8/wytyczne\\_do\\_pp.pdf](http://www.nfosigw.gov.pl/download/gfx/nfosigw/pl/nfoopisy/803/1/8/wytyczne_do_pp.pdf), Dostęp 09.07.2013.
- [7] PARLAMENT EUROPEJSKI I RADA UNII EUROPEJSKIEJ, *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków*, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 18.6.2010.
- [8] Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie, Dz. U. 2002 Nr 75 poz. 690 wraz ze zmianami: Dz.U. 2012 Nr 220, poz. 1289.
- [9] RYBIAŃSKI M., *Domy, które oszczędzają i zarabiają – ekonomika energooszczędnych domów*, wykład z dnia 11.06.2013, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury i Urbanistyki.

#### ENERGY-EFFICIENT ARCHITECTURE IN STANDARD PROJECTS

Article presents the process of creating standard projects of energy-efficient single-family houses based on experience gained during development of catalogue of such projects. Currently, the fastest growing low-energy architecture sector in Poland is architecture of housing, particularly single-family houses. Changing requirements for energy efficiency in architecture together with subsidies for this type of construction resulted in a significant increase in investors' interest in the subject. To meet the expectations of investors, more and more catalogues of standard projects of energy-efficient single-family houses are being developed. A standard single-family house project must be universal, suitable for many potential locations and requirements. This approach to design is in opposition to the principles of low-energy building design. The article will attempt to explain the problems of this field of architecture.

## ROZDZIAŁ XX

# ROLA ZIELENI W ROZWIĄZANIACH ENERGOOSZCZĘDNYCH

Anna JAKUBIŃSKA\*

Tematem artykułu są zagadnienia związane z zielenią oraz jej rolą w energooszczędnych projektach domów jednorodzinnych. Od kilku lat panuje moda na „bycie ‘eko’”. Podjęto szereg działań (kampanie, debaty, dyskusje, badania i publikacje, międzynarodowe działania polityczne) mających na celu zwiększenie zainteresowania globalnym problemem degradacji środowiska. Przyczyniają się one do popularyzacji rozwiązań ekologicznych oraz energooszczędnych w codziennym życiu i w budownictwie.

Projektowanie energooszczędne uwzględnia wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii oraz odpowiednie ukształtowanie bryły budynku. Nie można jednak pominąć roli, jaką pełni w całym projekcie zagospodarowanie terenu. Odpowiednio usytuowana i dobrana roślinność pozwala na obniżenie zużycia energii od kilku do kilkunastu procent. W artykule przedstawione zostaną zasady zagospodarowania działki przy domu jednorodzinym z uwzględnieniem naturalnych uwarunkowań na danym terenie oraz korzyści stosowania zieleni na elewacjach i dachach budynków mieszkalnych.

Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na rolę zieleni w rozwiązaniach energooszczędnych, połączenie nowoczesnych technologii oraz wykorzystywania odnawialnych źródeł energii wraz z poprawnym zagospodarowaniem terenu wokół budynku i prawidłowo dobraną roślinnością.

Słowa kluczowe: *zieleni, zagospodarowanie terenu, projektowanie energooszczędne*

## 1. WPROWADZENIE

### 1.1. EKOLOGICZNE TRENDY. WZROST ŚWIADOMOŚCI EKOLOGICZNEJ W POLSCE.

Zanieczyszczenie i nadmierna eksploatacja środowiska jest poważnym problemem współczesnej cywilizacji. Z badań CBOS wynika, że blisko połowa Polaków (46%) deklaruje zaniepokojenie stanem środowiska naturalnego w naszym kraju [9]. Postępująca degradacja planety, niezaprzeczalne zmiany klimatyczne oraz groźba wyczerpania naturalnych zasobów Ziemi skłoniła ludzi do podjęcia działań mających na celu zahamowanie tego procesu. Do ochrony środowiska przyczyniają się międzynarodowe dzia-

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Wroclawska, ul. Bolesława Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

łania polityczne. Wprowadzane są regulacje prawne, np. dotyczące emisji gazów cieplarnianych<sup>1</sup>. Prowadzone są badania nad nowymi rozwiązaniami i technologiami pozwalającymi na zmniejszone zużycie naturalnych zasobów i pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł. W globalny problem zaangażowanych jest wiele polskich organizacji pozarządowych, m. in. Polski Klub Ekologiczny, Biuro Wspierania Lobbyingu Ekologicznego. Działania uwzględniające ochronę środowiska i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii uwzględnione są także w planach strategii rozwoju regionów, również w strategii rozwoju Dolnego Śląska do 2020 roku. Kilka lat temu media włączyły się w promowanie działań proekologicznych. Wykreowana została moda na „bycie ‘eko’”.

Powyższe działania przyczyniły się do zmiany myślenia ludzi na temat ekologii oraz dbania o środowisko. W znacznym stopniu wpłynęły one również na zmianę stylu życia społeczeństwa (np. segregacja śmieci, recycling) oraz na obowiązujące przepisy.

Ochronę środowiska naturalnego zaczęto postrzegać także przez pryzmat oszczędzania energii. Wynikiem tego stał się dynamiczny rozwój branży budowlanej koncentrującej się na budownictwie energooszczędnym oraz technologiach pozwalających na pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł. Dostrzeżono również potencjał zieleni jako estetycznego elementu, który przyczynia się do oszczędności związanych z ogrzewaniem i chłodzeniem obiektów. Wpływa ona korzystnie na bilans energetyczny budynku stając się jednym z elementów rozwijającego się budownictwa energooszczędnego.

W Polsce z roku na rok obserwowany jest rozwój nowych technologii dla zieleni, co powoduje zwiększenie konkurencji w tej dziedzinie. W zielonych dachach i wertykalnych ogrodach dostrzeżono przyszłość dla rozwijających się, silnie zurbanizowanych miast. Realizacja tych założeń uwzględniona została również jako jedno z działań ukierunkowanych na redukcję emisji CO<sub>2</sub> podejmowanych w ramach „Planów działań na rzecz zrównoważonej energii”<sup>2</sup> [3]. Z terenu Dolnego Śląska takie plany opracowały Dzierżoniów i Bielawa.

W artykule przybliżone zostaną zagadnienia związane z rolą zieleni, jej wpływem na energooszczędność budynków mieszkalnych oraz rozwojem zielonych dachów i elewacji. Ze względu na obszerność zagadnienia przedstawiony zostanie zbiór wytycznych dla domów jednorodzinnych budowanych na płaskim terenie.

## 1.2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BUDYNKÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej oraz cen paliw zwiększyło się zainteresowanie budownictwem niskoenergetycznym. W związku z nowelizacją Dyrektywy

---

<sup>1</sup> Pakiet Klimatyczno-Energetyczny przyjęty przez UE 9.03.2007 roku zakłada między innymi ograniczenie emisji o 20% do 2020 roku.

<sup>2</sup> Sustainable Energy Action Plans (SEAP).

EPBD<sup>3</sup> [10], która dotyczy charakterystyki energetycznej budynków, rozwiązania energooszczędne w budownictwie wkrótce okażą się koniecznością. Zobowiązuje ona państwa członkowskie Unii Europejskiej, także Polskę, do stworzenia warunków prawnych oraz rynkowych umożliwiających od 31 grudnia 2020 roku realizację nowych obiektów<sup>4</sup> w standardzie niskoenergetycznym lub pasywnym [11].

Określenie domu energooszczędnego pojawiło się w latach 70., kiedy zaczęto badania i realizacje nowatorskich projektów [10]. Miały one na celu maksymalne obniżenie energochłonności budynków. W wyniku tych działań zaczął rozwijać się typ budownictwa nazywany „energooszczędnym”. Charakteryzuje się on zmniejszonym zużyciem energii oraz wykorzystaniem jej odnawialnych źródeł do zaspokojenia potrzeb energetycznych obiektu. Chociaż oszczędzanie energii często kojarzone jest jedynie z racjonalnym korzystaniem z urządzeń RTV i AGD oraz oświetlenia, analizy wykazują, że najbardziej energochłonne jest ogrzewanie i ochładzanie budynków [6] – 71% energii.

W polskich warunkach przyjmuje się, że w budynkach energooszczędnych roczne zapotrzebowanie na energię cieplną wynosi mniej niż 70 kWh/(m<sup>2</sup>rok)<sup>5</sup>. Koszty budowy domu energooszczędnego są o 10–20% wyższe [10] w porównaniu do standardowego rozwiązania. Zwrot nakładów ze względu na o wiele niższe koszty eksploatacyjne, w zależności od wielkości domu oraz zastosowanych urządzeń, następuje w czasie od kilku do kilkunastu lat.

Charakterystyczną cechą domów energooszczędnych jest bardzo dobra izolacyjność termiczna. Przyjmuje się, że przegrody zewnętrzne (z pominięciem okien i drzwi) powinny wykazywać się wartościami  $U \leq 0,20$ . W projektach energooszczędnych szczególną uwagę zwraca się na zredukowanie udziału mostków cieplnych oraz szczelność i wentylację wraz z maksymalnym odzyskiem ciepła dzięki stosowaniu wentylacji mechanicznej i rekuperatorów o dużej sprawności. Należy zaznaczyć jednak, że w domach tzw. 1,5 litrowych<sup>6</sup> komfortowy mikroklimat może być utrzymywany bez oddzielnego aktywnego systemu ogrzewania i/lub klimatyzacji. Dom w sposób bierny sam się nagrzewa i chłodzi.

Dla uzyskania dodatkowych oszczędności eksploatacyjnych stosowane są systemy i rozwiązania takie jak pompy ciepła, panele solarne, ogniwa fotowoltaiczne, przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz gromadzenie i wykorzystywanie wody deszczowej. Na etapie projektowania koniecznym jest odpowiednie usytuowanie budynku, wykorzystanie naturalnych warunków terenowych oraz wyraźny podział na strefy termiczne

---

<sup>3</sup> The Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/UE (recast Dyrektywy z 2002 roku).

<sup>4</sup> W przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz stanowiących ich własność ma to nastąpić do 31 grudnia 2018 roku.

<sup>5</sup> Dla porównania domy „tradycyjne” zużywają od 150 do 200 kWh/m<sup>2</sup> w ciągu roku.

<sup>6</sup> Zapotrzebowanie na energię cieplną wynosi maksymalnie 15 kWh/m<sup>2</sup>, czyli 1,5 l oleju opałowego lub 1,5 m<sup>3</sup> gazu ziemnego na m<sup>2</sup> w skali roku [10].



w domu<sup>7</sup>. Ważnym aspektem powstawania projektów energooszczędnych jest projektowanie zintegrowane. Dzięki współpracy wszystkich branż biorących udział w procesie projektowym możliwe jest stworzenie optymalnego rozwiązania, które będzie przyjazne zarówno dla przyszłych użytkowników jak i dla środowiska.

## 2. ROLA ZIELENI W ROZWIĄZANIACH ENERGOOSZCZĘDNYCH

### 2.1. USYTUOWANIE BUDYNKU NA DZIAŁCE. ZAGOSPODAROWANIE TERENU

Przy projektach budynków energooszczędnych jednym z ważniejszych czynników wpływających na kształt obiektu jest działka oraz jest położenie względem stron świata. Odpowiednie umieszczenie domu na wybranym terenie jest równie istotne jak prawidłowo dobrane przegrody zewnętrzne. Pozwala na znaczne zmniejszenie zapotrzebowania budynku na ciepło oraz spadek zużycia energii o 5–7% [12]. W tym celu konieczne jest przeprowadzenie szeregu analiz takich jak, np. analiza warunków klimatycznych, topografii terenu, wielkości zacieniania oraz średnich zysków solarnych. Usytuowanie budynku oraz projekt zagospodarowania terenu powinien uwzględniać nie tylko przepisy prawa budowlanego. Istotnym elementem jest położenie geograficzne działki, które warunkuje klimat danego obszaru, nasłonecznienie oraz kierunki najczęściej wiejących wiatrów.

Znaczny wpływ na wybór miejsca pod zabudowę ma topografia terenu oraz istniejąca roślinność. W przypadku płaskiego terenu<sup>8</sup> najkorzystniejsze jest umiejscowienie budynku jak najbliżej północnej granicy. Dzięki temu możliwe jest maksymalne wykorzystanie działki od najbardziej nasłonecznionej strony południowej. W przypadku istniejącej roślinności największe znaczenie mają wysokie drzewa lub lasy. Z jednej strony mogą one korzystnie wpływać na bilans cieplny chroniąc przed wiatrem, z drugiej jednak niekorzystnie zacieniając elewacje budynku.

Duże znaczenie w całkowitym bilansie ciepła budynku energooszczędnego ma dostępność promieniowania słonecznego. Zorientowanie domu dłuższą ścianą w kierunku południowym umożliwia montaż paneli solarnych oraz ogniw fotowoltaicznych na połaci, gdzie przypadają największe zyski energetyczne z nasłonecznienia. W polskich warunkach klimatycznych odchylenie od zalecanego południowego kierunku może wynosić maksymalnie 15° [7].

Poza odpowiednim ulokowaniem budynku na działce wpływ na bilans cieplny domu ma także odpowiednie zagospodarowanie terenu, którego nieodłączny element stanowi zieleń. Poza czysto estetycznymi walorami prawidłowo dobrana i ulokowana

---

<sup>7</sup> Od strony południowej, najbardziej nasłonecznionej powinno lokalizować się pomieszczenia dziennego pobytu, od strony północnej pomieszczenia gospodarcze, w których temperatura może być niższa.

<sup>8</sup> Odrębnym zagadnieniem jest projektowanie obiektów na działkach o zróżnicowanej rzeźbie terenu.

roślinność tworzy wielostopniowy układ ochrony termicznej. Zmniejsza prędkość wiatru przy ścianach budynku redukując straty ciepła. Eliminuje zawilgocenia na skutek opadów atmosferycznych, odbija promieniowanie słoneczne, poprawia mikroklimat, filtruje powietrze oraz pełni funkcję izolatora akustycznego. Dodatkowo zielona infrastruktura (głównie zielone dachy i zielone ściany) pozwalają na zarządzanie i gospodarowanie wodą opadową.

## 2.2. DOBÓR ODPOWIEDNIEJ ZIELENI

Wybierając gatunki roślin należy pamiętać przede wszystkim o tych rodzimych, które najlepiej sprawdzą się w danym środowisku. Ważnym jest także zapewnienie bioróżnorodności<sup>9</sup> zarówno gatunkowej, jak i ekologicznej. Przyczyniają się do tego tereny bogate w lokalnie występujące gatunki roślin, które w jak najmniejszym stopniu uległy przekształceniom przez człowieka. Krzewy oraz drzewa powinny być tak dobrane i umieszczone, aby zimą nie zacięniały południowej elewacji, natomiast latem chroniły cały budynek przed nadmiernym słońcem.

Drzewa iglaste<sup>10</sup> stwarzają zacienienie przez cały rok. Z tego względu powinno się je lokować od północy. Dodatkowo dzięki stałej gęstości igieł, umieszczone od strony nawietrznej, doskonale sprawdzają się jako osłona od wiatru, którego prędkość mogą zmniejszyć nawet o połowę. Dla uzyskania najlepszej ochrony powinny być zaprojektowane równoległe do ściany budynku w odległości około 1,5–2,5 wysokości budynku [7]. Polecanymi gatunkami drzew iglastych są świerki oraz tuje. Drzewa liściaste zacięniają budynek latem. Zimą natomiast ze względu na utratę liści, zwiększają dostęp promieni słonecznych do elewacji budynku. Z tego względu powinny być lokowane głównie od strony południowej. Uwzględniając jednak możliwość zacięnienia instalacji solarnych oraz fotowoltaicznych w lecie<sup>11</sup> najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie od południa drzew i krzewów, które są niższe i bardziej rozłożyste. Do polecanych gatunków liściastych, które powinno lokalizować się od nasłonecznionych stron w odpowiedniej odległości od budynku ze względu na znaczne rozmiary, należą: olchy, brzozy, jesiony, topole, kasztanowce oraz lipy drobnolistne. Zatrzymują one 70%–98% promieniowania słonecznego.

Coraz bardziej popularnym zastosowaniem zieleni w budynkach są zielone dachy oraz zielone ściany. Pozwalają one na duże oszczędności związane z klimatyzacją budynku stanowiąc dodatkową warstwę ochronną zapobiegającą przegrzewaniu się pomieszczeń latem oraz utracie ciepła zimą.

---

<sup>9</sup> Zróżnicowanie żywych organizmów występujących w ekosystemach, w obrębie gatunku i między gatunkami, oraz zróżnicowanie ekosystemów [3].

<sup>10</sup> Wyjątkiem jest modrzew, który jako jedyny z rodzimych gatunków iglastych zimą zrzuca igły.

<sup>11</sup> Jedno ogniwo w szeregu zasłonięte w 75% – prąd generowany przez ogniwo jest ograniczony do 25%, natomiast prąd całego szeregu spada do poziomu 25% [4].

## 2.3. ZIELONE DACHY

Zielone dachy są jednym z najpopularniejszych architektonicznych trendów ostatnich lat. Rozwój ich współczesnych konstrukcji rozpoczął się w latach 20. XX wieku [5]. Związany był z nowymi wizjami architektonicznymi, które zapoczątkował Le Corbusier. Obecnie kojarzone są przede wszystkim jako jedno z rozwiązań stosowanych w budownictwie ekologicznym i energooszczędnym. Pomimo, że nie są one nowym rozwiązaniem<sup>12</sup>, w Polsce zaczęto je stosować stosunkowo niedawno<sup>13</sup>.

Rozwój popularności zielonych dachów przyczynił się do ich różnorodności. W związku z tym w połowie lat 70. XX wieku podzielono je na dwa typy ekstensywne oraz intensywne<sup>14</sup>. Pierwsze z nich, nazywane także „eco roof”, charakteryzują się niewielkimi wymaganiami pielęgnacyjnymi. Stosowane zazwyczaj na dużych powierzchniach zapewniają odtworzenie powierzchni biologicznie czynnej<sup>15</sup>. Zielone dachy intensywne, zwane „roof garden”, tworzą ogrody z typowymi roślinami ozdobnymi. Ich nadrzędną funkcją jest użytkowość, dlatego wśród bujnej zieleni znajdują się ścieżki i elementy małej architektury.

Dostępne materiały i technologie pozwalają na prawidłowe wykonanie zielonego dachu na dowolnych konstrukcjach stropów i dachów o spadku od 0° do 45°. Jedynym warunkiem jest zapewnienie odpowiedniej nośności tych elementów.

Tradycyjny układ warstw zielonego dachu ekstensywnego przedstawiony został na rys. 1. Stosowany jest także dach o odwróconym układzie warstw, w którym termoizolacja znajduje się nad hydroizolacją i paroizolacją. Dodatkowo można wyodrębnić także warstwy filtracyjną, ochronną, rozdzielającą oraz chroniącą przed przerastaniem korzeni.

Zielone dachy posiadają liczne zalety zarówno ekologiczne jak i ekonomiczne. Przede wszystkim izolują budynek termicznie, szczególnie latem wspomagając pracę systemu klimatyzacji. Przeprowadzona przez D.J Sailora symulacja wykazała, że założenie zielonego dachu ogranicza zużycie energii elektrycznej o 2%, a gazu ziemnego o 9–11% [3]. Poprawiają one także mikroklimat i jakość powietrza pochłaniając CO<sub>2</sub><sup>16</sup> oraz redukując pyły i zanieczyszczenia<sup>17</sup> (10–20%). Dodatkowymi zaletami zielonych dachów są zwiększenie bioróżnorodności, atrakcyjności budynku, możliwość stwo-

---

<sup>12</sup> Pierwsze zielone dachy powstały w starożytnym Babilonie–wiszące ogrody królowej Semiramidy.

<sup>13</sup> Na początku lat 90. ubiegłego stulecia.

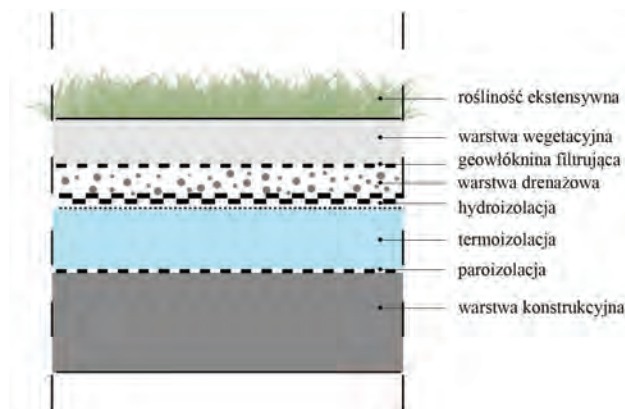
<sup>14</sup> Dachy można dzielić również ze względu na warstwę izolacji termicznej, zróżnicowanie stopnia nachylenia oraz na dachy systemowe i niesystemowe.

<sup>15</sup> Zgodnie z polskim prawem 50% powierzchni zielonego dachu można liczyć jako kompensację terenu biologicznie czynnego zajętego pod inwestycję.

<sup>16</sup> Badania na Uniwersytecie Stanowym Michigan wykazały, że ekstensywny zielony dach może zmagazynować 375 g węgla w 1 m<sup>2</sup> [3].

<sup>17</sup> Na podstawie badań przeprowadzonych w Niemczech: 1 m<sup>2</sup> powierzchni traw na zielonym dachu pochłania 0,2 kg cząstek pyłów z powietrza w ciągu roku [3].

rzenia dodatkowej strefy rekreacyjnej, tłumienie hałasu, ochrona elewacji, izolacja termiczna przed wiatrem, promieniowaniem słonecznym i gradem oraz umożliwienie gospodarowania wodą opadową zatrzymując ją częściowo (od 15 do nawet 90% z jednego opadu w danym miejscu [3]). Stanowią także ochronę przeciwpożarową dachu, a stosowane na większych powierzchniach wpływają na zmniejszenie wysp ciepła<sup>18</sup> w miastach [1]. Związane jest to ze znacznie mniejszymi temperaturami nagrzewania się zielonych dachów – nie przekracza ona 40 °C. Dla porównania powszechnie stosowane pokrycie bitumiczne dachów nagrzewa się do 80–100 °C [3].



Rys. 1. Układ warstw zielonego dachu ekstensywnego, oprac. własne

Systemy zielonych dachów nie są jednak pozbawione wad. Związane są one z kosztami projektu, wykonania oraz w razie konieczności remontu. Minusami są konieczność pielęgnacji roślinności, znaczny ciężar (do 500 kg/m<sup>2</sup>), możliwości skraplania pary wodnej w termoizolacji i tworzenie się zastoin wodnych.

Dobór odpowiednich roślin na zielone dachy związany jest z panującymi na nich warunkami. Latem temperatura jest dużo wyższa, natomiast zimą dużo niższa niż w przydomowych ogrodach. Dla dachów ekstensywnych polecane są rośliny o niewielkich wymaganiach wegetacyjnych, które potrafią samodzielnie się utrzymać i rozwijać podobnie jak roślinność stepowa, np. rozchodniki, rojniki, zioła, trawy, turzyce, byliny, krzewinki oraz mchy. Gatunki stosowane w przypadku dachów intensywnych wymagają pielęgnacji oraz stałego zaopatrzenia w wodę. Wykorzystywane są wszystkie rodzaje bylin, krzewów, traw oraz drzew, które sadi się sporadycznie w przypadku zazielenienia wysokiego. Polecane gatunki to berberyisy, róże, tawuły, cisy, jałowce oraz rośliny cebulowe.

<sup>18</sup> Zjawisko polegające na wyraźnym wzroście temperatury powietrza w intensywnie zabudowanym centrum miasta w porównaniu z jego przedmieściami. Różnice mogą sięgać nawet do 10–15 °C.

## 2.4. ZIELONE ŚCIANY. PNĄCZA. OGRODY WERTYKALNE

Zielone dachy okazały się rozwiązaniem, które przyniosło wiele korzyści dla środowiska i poprawiło walory estetyczne przestrzeni. Z tego powodu zaczęto rozważać możliwości wykorzystania roślinności na pozostałych, pionowych przegrodach budynków – ścianach. Istnieją dwa sposoby zazieleniania elewacji – tradycyjny oraz systemowy z wykorzystaniem modułów do tworzenia mniej lub bardziej intensywnych ogrodów wertykalnych.

Tańszym rozwiązaniem jest tworzenie zielonych ścian budynków w tradycyjny sposób wykorzystujący pnącza. Zajmują one mało miejsca<sup>19</sup> i posiadają niewielkie wymagania. Mogą rosnąć praktycznie wszędzie w zależności od gatunku i odmiany – na nasłonecznionych ścianach budynków, a także w ciemnych miejscach. Sąsiadując z innymi roślinami przydomowego ogrodu tworzą dla nich tło. Większość roślin pnących wymaga podpory. Występuje jednak kilka gatunków, które tworząc przyłgi (np. winobluszcz trójklapowy) bądź korzonki przybyszowe (np. milin amerykański, bluszcz) przyczepiają się bezpośrednio do porowatych elementów elewacji.

Metoda systemowa zyskała w ostatnich latach dużą popularność. Zapewnia szybki wzrost roślin oraz równomierne pokrywanie elewacji. Rozwiązanie to nazywane jest „żywymi ścianami” (*living walls*). Twórcą i pomysłodawcą ogrodu wertykalnego jest Patrick Blanc<sup>20</sup>, który stworzył specjalną konstrukcję z płyt PCV oraz poliamidowego filcu imitującego glebę.

Ściany zieleni montowane są w systemach modułowych kasetonów wykonanych z aluminium bądź stali hartowanej. Wypełnione substratem<sup>21</sup> zamocowanym na płytach wsporczych wykonanych z PCV, polietylenu lub polipropylenu umożliwiają hodowlę roślin ozdobnych, warzyw, ziół oraz owoców. Optymalna liczba sadzonek wynosi 50–70 roślin/m<sup>2</sup> [3]. Całą strukturę uzupełnia system nawadniający i rozprowadzający składniki odżywcze [1]. Modułowe ściany wymagają codziennego nawadniania – zimą 1 l wody/m<sup>2</sup>, latem 3–5 l wody/m<sup>2</sup> [3].

W dzisiejszych czasach możemy znaleźć wiele różnych systemów zielonych ścian. Dostosowane są one do odmiennych warunków klimatycznych, potrzeb i oczekiwań użytkowników oraz wizji projektantów. Dzięki kolejnym udoskonaleniom zminimalizowana jest ich ingerencja w konstrukcję budynków. Rozszerza się zakres stosowania zielonych ścian. Coraz częściej pojawiają się nie tylko na zewnątrz, ale także jako element dekoracyjny we wnętrzach, który poprawia mikroklimat.

Przy projekcie „żyjących ścian” niezbędne jest uwzględnienie wielu czynników takich jak temperatura, wilgotność, siła i kierunek wiatru oraz orientacja. Dzięki temu możliwe jest dobranie odpowiednich roślin i konstrukcji.

<sup>19</sup> Pnącze zajmujące 1 m<sup>2</sup> powierzchni ziemi jest w stanie pokryć 100 m<sup>2</sup> powierzchni ściany [1].

<sup>20</sup> Francuski botanik, jego pierwszy ogród wertykalny powstał w Paryżu w 1988 roku na ścianie Muzeum „Miasto Nauki i Przemysłu” (Cité des Sciences et de l'Industrie).

<sup>21</sup> Może to być ziemia lub tworzywa sztuczne, filc z pilśni, pianka, wełna mineralna, włóknina.

Zielone ściany posiadają liczne zalety. Poza walorami zieleni w wymiarze estetycznym i ekologicznym, atutem stosowania jej na elewacjach jest oszczędność miejsca. Dodatkowo pnącza pobierając wodę z gruntu osuszają fundamenty. Co więcej, zielone ściany stwarzają możliwość zakrywania nieciekawie wyglądających fasad budynków przyczyniając się do poprawy wizualnej przestrzeni życia człowieka.

Obydwa rozwiązania – pnącza oraz „żyjące ściany” – utrudniają remont ścian. Niewątpliwą wadą pnączy jest czas ich wzrostu, nierównomierność pokrywania ścian, wymagania dotyczące dodatkowych konstrukcji wsporczych oraz konieczność wcześniejszej renowacji uszkodzonych ścian budynku. Ta ostatnia ma zapobiec pogłębianiu ubytków w murach przez korzonki czepne lub przysawki roślin. Poza tym, w przypadku rozwiązań systemowych, trudno jednoznacznie określić ich trwałość, zwłaszcza w polskim, chłodnym klimacie [1].

### 3. PODSUMOWANIE.

Przyroda od wieków była inspiracją dla projektantów i architektów. Obserwując doskonałość występujących w niej rozwiązań oraz zachodzących procesów próbowano ją naśladować. Budowano w oparciu o naturalne uwarunkowania danego terenu.

W dzisiejszych czasach przyroda nadal jest docenianym i istotnym elementem wykorzystywanym przez ludzi. Działania mające na celu zmniejszenie zużycia energii oraz ograniczenie niekorzystnego oddziaływania na środowisko naturalne przyczyniło się do rozwoju budownictwa energooszczędnego. Dzięki rozwijającym się technologiom możliwe jest coraz bardziej efektywne pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł. Opracowywane i udoskonalane zielone systemy dachów oraz fasad stanowią „naturalny element” wspomagający zmniejszenie energochłonności budynków jednocześnie tworząc przyjazny mikroklimat dla człowieka. W celu osiągnięcia kompletnej, współczesnej propozycji obiektu energooszczędnego należy uzupełnić nowoczesne technologie o dobrze zagospodarowaną działkę z prawidłowo ulokowanym i ukształtowanym budynkiem oraz odpowiednio dobraną roślinnością.

### LITERATURA

- [1] BARTNICKA M., ULLMAN I., *Wykorzystać wszystkie atuty zieleni*, 2009 <http://www.wa.pb.edu.pl/uploads/downloads/3--WYKORZYSTAC-WSZYSTKIE-ATUTY-ZIELENI.pdf>, Dostęp 01.07.2013.
- [2] GLAC R., *Energooszczędna zieleni*, <http://www.taniebudowanie.pl/informacje-i-porady-budowlane.php?a=pokaz&tekst=124>, Dostęp 2.06.2013.
- [3] KANIA A., MIODUSZEWSKA M., PŁONKA P., RABIŃSKI J.A., SKARŻYŃSKI D., WALTER E., WEBER-SIWIRSKA R., *Zasady projektowania i wykonywania zielonych dachów i żyjących ścian. Poradnik dla gmin*, Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków 2013.
- [4] KRAC E., GÓRECKI K., *Współczesne problemy energetyki solarnej*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 75, 2012.

- [5] KSIT B., MAJCHEREK M., *Green Walls, czyli zielone ściany jako ekologiczne przegrody budowlane*, [http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały\\_i\\_technologie,artykuł,green\\_walls\\_czyli\\_zielone\\_ściany\\_jako\\_ekologiczne\\_przegrody\\_budowlane\\_-\\_cz\\_\\_i,6612](http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_technologie,artykuł,green_walls_czyli_zielone_ściany_jako_ekologiczne_przegrody_budowlane_-_cz__i,6612). Dostęp 12.07.2013.
- [6] LIS P., *Efektywność energetyczna w systemach budowlano-instalacyjnych*, [http://www.planrozwoju.pcz.pl/wyklady/ener\\_srod/ener\\_lis.pdf](http://www.planrozwoju.pcz.pl/wyklady/ener_srod/ener_lis.pdf), Dostęp: 03.09.2013.
- [7] MARCHWIŃSKI J., ZIELONKO-JUNG K., *Współczesna architektura proekologiczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.
- [8] ROKIEL M., *Dachy zielone*, <http://www.arcadiapress.pl/numery-archiwalne/numer-archiwalny-32012/dachy-zielone>, Dostęp 5.06.2013.
- [9] WĄDOŁOWSKA K., *Zachowania proekologiczne Polaków*, BS/23/2011, Centrum Badania Opinii Społecznej, Warszawa 2011.
- [10] WĘGLARZ A., PIETRACZYK P., STĘPIEŃ R., Krajowa Agencja, Poszanowania Energii S.A..., *Energooszczędny dom i mieszkanie*, Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2011.
- [11] PARLAMENT EUROPEJSKI I RADA UNII EUROPEJSKIEJ, *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków*, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 18.6.2010.
- [12] ŻURAWSKI J., *Energochłonność budynków mieszkalnych*, Energooszczędność w budownictwie cz. 2., [http://cieplej.pl/imgturysta/file/artykuly/Energooszczedne\\_budynki\\_cz2.pdf](http://cieplej.pl/imgturysta/file/artykuly/Energooszczedne_budynki_cz2.pdf), Dostęp 03.09.2013.

#### THE ROLE OF GREENERY IN ENERGY-SAVING SOLUTIONS

The theme of the article is the portrayal of issues related to vegetation and its role in energy-saving projects of single – family houses. In the last couple of years being “eco-friendly” has become quite trendy. Various campaigns designed to make people more aware of looking after the environments are taking place. They are contributing to the growing popularity of environmentally friendly solutions which include saving energy not only in everyday life, but also in architecture.

By mentioning energy-saving projects we mean the usage of renewable energy resources or the appropriate formation of the building structure. We are overlooking the role played in the whole project by the land development. Except for the undoubtedly valuable elements of the surrounding, which improve the quality of the area neighbouring the building, affecting its aesthetical value, a suitably situated and well chosen vegetation allows the energy use to be reduced by a few, up to over ten percent. The article presents several tips of management of the land with the consideration of natural conditions in the area and advantages of the use of greenery on the elevations and the roof tops of buildings.

The aim of the article is to show that the energy-saving projects are not only modern technologies, complicated systems and the use of renewable energy sources. It is intended to inform architects and investors of how important to the whole project, the role played by correct management of the area surrounding the building is, together with well designed greenery.

## ROZDZIAŁ XXI

# DOUBLE SKIN HOUSE – PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA DLA DOSTĘPNYCH DOMÓW BLISKO-ZEROENERGETYCZNYCH

Anna BACĆ\*, Krzysztof CEBRAT\*\*, Łukasz NOWAK\*\*\*

Podwójne fasady wydają się rozwiązaniem zarezerwowanym dla budynków dużych kubaturowo bądź wysokich. Stwarzają bufor pomiędzy środowiskiem zewnętrznym a wnętrzem, nie dopuszczając do przegrzania pomieszczeń, umożliwiając naturalną wentylację przestrzeni pomiędzy przegrodami.

Praca obszernie omawia koncepcję architektoniczno-konstrukcyjno-instalacyjną małego domu jednorodzinne, w którym autorzy zaproponowali nie tylko podwójną fasadę, ale również dach. Charakter projektu (wyróżniona koncepcja konkursowa) pozwolił sprawdzić niestandardowe rozwiązanie i jego wpływ na zużycie energii w budynku i jest podstawą do dalszych badań związanych z konstruowaniem niewielkich kubaturowo, tanich i wysokoenergooszczędnych budynków z podwójną przegrodą zewnętrzną.

Dane przedstawione przez autorów pozwalają określić opłacalność zastosowania „podwójnej przegrody”, która, przy określonych kosztach, zapewnia dodatkową ochronę właściwej, ogrzewanej strefy mieszkalnej przed warunkami atmosferycznymi: stwarzając zacienienie w lecie, chroniąc przed wiatrem i zimnem z jednoczesnym dobrym dostępem światła dziennego i pasywnymi zyskami solarnymi w zimie, stwarza także bufor ciepły, osłonę wyposażenia technicznego oraz dodatkową przestrzeń magazynową, jednocześnie umożliwiając zachowanie ciągłości izolacji termicznej.

Słowa kluczowe: *domy niskoenergetyczne, zrównoważona architektura, podwójna przegroda zewnętrzna*

---

\* Zakład Projektowania Architektury Mieszkaniowej, Wydział Architektury, Politechnika Wroclawska, ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

\*\* Zakład Kształtowania Środowiska, Wydział Architektury, Politechnika Wroclawska, ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

\*\*\* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego PWR, Politechnika Wroclawska, plac Grunwaldzki 11, 50-377 Wrocław.



## 1. DOM W DOMU. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Dom–w–Domu, taką nazwę zyskała koncepcja w tytule zwana „double skin house”, jest odpowiedzią na potrzeby średniozamożnej polskiej rodziny zainteresowanej budową nowoczesnego energooszczędnego domu jednorodzinnego, który charakteryzuje się znacznym obniżeniem kosztów eksploatacji w trakcie użytkowania. Zastosowane rozwiązania i parametry techniczne spełniają także wymagania Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – NFOŚiGW i umożliwiają skorzystanie z państwowego programu dopłat do budownictwa energooszczędnego. Zaprojektowany dom osiąga standard tzw. NF15 [1]<sup>1</sup>. Idea domu doskonale wpisuje się w poszukiwania rozwiązań dla domów energooszczędnych na terenie Dolnego Śląska, ale także i w całej Polsce, dzięki możliwości adaptacji dla lokalnych warunków i potencjału lokalnych materiałów wykończeniowych.

Koncepcja Domu–w–Domu wynika z autorskiej interpretacji historii ewolucji domostwa. Można zauważyć, że na przestrzeni wieków, człowiek miał tendencję do obejmowania „regulacją” klimatu coraz to większej przestrzeni, która go otaczała. Obok podstawowej funkcji schronienia, dom musiał spełniać coraz wyższe wymagania związane z komfortem, a współcześnie - sprostać także zasadom efektywności energetycznej (rys. 1).



Rys. 1. Schemat obrazujący ewolucję schronienia, oprac. K. Cebart

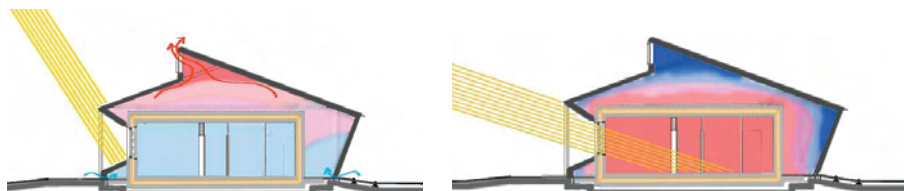
Rozwiązania proponowane w koncepcji Domu–w–Domu koncentrują się wokół czterech podstawowych zagadnień, realizujących idee architektury zrównoważonej, które omówiono poniżej.

### 1.1. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA

Dom–w–Domu ma bardzo niskie, w porównaniu z zapotrzebowaniem wynikającym z obowiązujących przepisów, zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, tj. 9,49 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Podwójna powłoka, do tej pory z powodzeniem

<sup>1</sup> Zgodnie z wymogami NFOŚiGW oznacza, to że budynek musi spełniać warunek zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji na poziomie nie wyższym niż 15 kWh/(m<sup>2</sup>rok). W programie określono podstawowe wymogi, niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkaniowych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych [2].

stosowana raczej w budynkach wysokich, o dużych kubaturach, zapewnia ochronę właściwej, ogrzewanej strefy mieszkalnej przed warunkami atmosferycznymi: zacielenie w lecie (rys. 2a), ochronę przed wiatrem i zimnem z jednoczesnym dobrym doświetleniem i pasywnymi zyskami solarnymi w zimie (rys. 2b). Stwarza także bufor cieplny ograniczający dobowe wahania temperatury i osłonę wyposażenia technicznego. Równocześnie zapewnia ciągłość izolacji cieplnej strefy mieszkalnej (brak przebieg konstrukcyjnych) i zapewnia maksymalną szczelność powłoki wnętrza ogrzewanego minimalizując występowanie i wpływ mostków cieplnych. Ponadto dom charakteryzuje zwarta jednolita bryła (współczynnik  $A/V$  domu na poziomie 0,84), a także całkowita eliminacja przeszkleń od północy.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny. Funkcje strefy buforowej:  
a. Lato – ochrona przed przegrzaniem, b. Zima – ochrona cieplna i pasywne zyski solarne,  
oprac. K. Cebrat

## 1.2. KOMFORT, POTRZEBY I ZDROWIE MIESZKAŃCÓW

Wysoka jakość architektury realizowana jest przez nowoczesną estetykę domu oraz przemyślane rozwiązania funkcjonalne i konstrukcyjne. Modułowy i szkieletowy układ konstrukcyjny obydwu warstw „skóry” domu, umożliwi łatwe zmiany funkcji wynikające ze zmieniających się z biegiem lat potrzeb użytkowników. Pozwala na rozbudowę lub zmniejszenie domu w krótkim czasie i przy użyciu minimalnych nakładów finansowych. Parterowa bryła domu oraz przestronność przestrzeni zapewniają komfortowe użytkowanie zarówno przez dzieci, osoby starsze oraz osoby



Rys. 3. Układ funkcjonalny budynku, oprac. K. Cebrat

o ograniczonej zdolności poruszania się, w tym na wózkach dla niepełnosprawnych. Rozplanowanie strefy wspólnej, poprzez otwarcie kuchni i zwrócenie przestrzeni roboczej kuchni na salon – sprzyja integracji mieszkańców (rys. 3).

Zadaszony taras, stanowiący strefę wejściową i równocześnie przestrzeń rekreacyjną mieszkańców, pozwala na powiększenie strefy wspólnej w ciepłych porach roku. Umożliwia także lokalizację domu nawet na działkach o minimalnej wielkości. Zastosowany system dwóch powłok eliminuje częsty problem zapewnienia odpowiedniej wielkości przestrzeni magazynowej (prześcierzeń za północną ścianą). Równocześnie zapewniono komfortowe oświetlenie, nasłonecznienie i kontakt z otoczeniem. Bezpieczeństwo użytkowników zapewniono poprzez system otwieranych żaluzji.

### 1.3. EKONOMIKA ROZWIĄZAŃ

Przy inwestycji rzędu 450 tys. PLN netto, za koszt stanu surowego zamkniętego, wraz z pełnym wyposażeniem technicznym domu dla czteroosobowej rodziny, zapewnia się bardzo niskie koszty eksploatacji domu (ogrzewanie i ciepła woda użytkowa) na poziomie 125 PLN miesięcznie. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom projekt może być powtarzalny i adaptowalny do działek o różnych wielkościach i lokalizacji w całej Polsce.

Ponieważ koszty budowy i eksploatacji zależą od przyjętego wyposażenia instalacyjnego, podjęto decyzję o porównaniu trzech wariantów różniących się źródłem ciepła dla systemu centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej:

- podstawowy: pompa ciepła glikol–woda,
- 1: pompa ciepła powietrze–woda,
- 2: dwufunkcyjny kocioł gazowy.

Porównanie tych trzech wariantów dla obecnych warunków ekonomicznych (styczeń 2013) zamieszczono w tabeli nr 1. Z uzyskanych obliczeń wynika, że wybór kotła gazowego jest najbardziej uzasadniony ekonomicznie, jednak, ponieważ nośnik energii, jakim jest gaz nie jest jeszcze powszechnie dostępny – szczególnie na tere-

Tabela 1. Porównanie kosztów i zapotrzebowania na energię końcową dla trzech wariantów wyposażenia instalacyjnego, oprac. K. Cebrat

Wariant	Koszt inwestycji [PLN netto]	Szacunkowe roczne koszty (C.O., C.W.U. i prace urządzeń) [PLN brutto]	Zapotrzebowanie na energię końcową (C.O., C.W.U. i praca urządzeń) [kWh/m <sup>2</sup> /rok]
Pompa ciepła glikol–woda	38 000	1500	21,07
Pompa ciepła powietrze–woda	33 600	1600	22,05
Kocioł gazowy dwufunkcyjny	9 000	2500	56,12

nach podmiejskich i wiejskich – zdecydowano się wybrać pompę ciepła glikol–woda jako wariant podstawowy do dalszego opracowania. Tym bardziej, że koszty ekologiczne produkcji energii elektrycznej w przyszłości powinny maleć.

#### 1.4. INNE ROZWIĄZANIA PROŚRODOWISKOWE

Zastosowano także szereg rozwiązań mających na celu ochronę środowiska naturalnego. Podzielono je na zagadnienia w zakresie materiałowym, gospodarki odpadami, oszczędności energii oraz wody pitnej [3]. W trakcie projektowania wskazane jest wykonanie szczegółowych przedmiarów materiałów budowlanych pozwalające na oszczędne ich zużycie. Przewidziano materiały budowlane potencjalnie pochodzące z recyklingu i recyklingowalne. Projektuje się wyłącznie stosowanie materiałów lokalnych o niskim bagażu ekologicznym. W większości zastosowano materiały naturalne i możliwie nisko przetworzone (konstrukcja drewniana szkieletowa i drewniane wykończenie). W domu i na działce przewidziano przestrzeń do segregacji odpadów, w tym pojemnik na odpady biodegradowalne na działce. W czasie budowy zaleca się sortowanie i odzysk odpadów budowlanych. Zastosowano system ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej oparty na odnawialnym źródle energii. Dach jest dostosowany do montażu kolektorów słonecznych i paneli fotowoltaicznych. Wskazane jest stosowanie energooszczędnego oświetlenia, urządzeń i wyposażenia AGD, co najmniej klasy A++ i posiadających certyfikat Energy Star. Zalecane są rozwiązania ograniczające zużycie wody pitnej i wykorzystanie wody deszczowej na działce, którego schemat pokazano na rysunku (rys. 4).



Rys. 4. Gospodarowanie wodą deszczową, oprac. K. Cebrat

## 2. DOM W DOMU. WYBRANE ELEMENTY PROJEKTU

### 2.1. PROGRAM FUNKCJONALNY DOMU

Dom–w–Domu jest budynkiem wolnostojącym, przeznaczonym w wersji standardowej dla czteroosobowej rodziny. Budynek zaprojektowano bez barier architektonicznych, jako w pełni przystosowany dla osoby poruszającej się na wózku. Po-

wierzchnia netto domu wynosi: 122,83 m<sup>2</sup>, powierzchnia zabudowy 255,26 m<sup>2</sup>, kubatura wewnętrzna 331,64 m<sup>3</sup>.

W rozplanowaniu pomieszczeń zastosowano strefowanie temperaturowe pomieszczeń. Polega ono na lokalizowaniu pomieszczeń o najwyższych temperaturach wewnątrz domu, dlatego pomieszczenia higieniczno-sanitarne umieszczone są centralnie na planie domu. Ponadto zaplanowano strefę wspólną, z możliwością powiększania jej przy sprzyjających warunkach zewnętrznych – zwróconą na południe i zachód, oraz strefę indywidualną zwróconą na południe i wschód. Od strony północnej przewidziano pomieszczenia magazynowe i przestrzeń techniczną domu.

## 2.2. PARAMETRY TECHNICZNE DOMU

Przedstawiony dom mieści się w definicji budynków pasywnych Wolfganga Feista [4], czyli budynków o ekstremalnie niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania wnętrza, na poziomie < 15 kWh/(m<sup>2</sup> rok), w których komfort cieplny jest zapewniony w większości przez pasywne źródła ciepła (mieszkańcy, urządzenia elektryczne, ciepło „słoneczne”, ciepło odzyskane z wentylacji) oraz nieznaczną ilość energii pochodzącej z zewnętrznego źródła ciepła wytwarzającego jednocześnie ciepłą wodę użytkową. Tak zaprojektowany dom spełnia wymagania standardu NF15 w celu uzyskania dofinansowania NFOŚiGW, o jakim była mowa we wstępie.

Podstawą uzyskania niskiego zapotrzebowania na energię jest znaczne zmniejszenie strat ciepła przez przegrody (ściany, podłogę, stropodach, okna, drzwi), zminimalizowanie mostków cieplnych, odpowiednia szczelność budynku oraz zastosowanie mechanizmów odzysku ciepła z powietrza wywiewanego. W projektowanym domu zastosowano konstrukcję szkieletu drewnianego wypełnianego wełną mineralną w ścianach i stropodachu oraz żelbetową płytę podłogową (pełniącą także rolę masy termicznej), izolowaną cieplnie od spodu, co pozwoliło na zachowanie ciągłości izolacji i minimalizację mostków cieplnych. Współczynniki przenikania ciepła obliczono zgodnie z obowiązującymi standardami [5] a ich wartości uzyskano na poziomie:

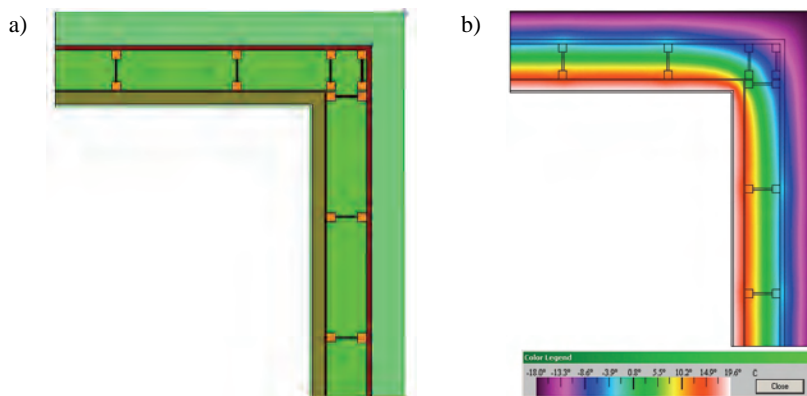
- dla ścian zewnętrznych: 0,086 W/m<sup>2</sup>K i 0,091 W/m<sup>2</sup>K,
- dla stropodachu: 0,074 W/m<sup>2</sup>K,
- dla podłogi na gruncie: 0,117 W/m<sup>2</sup>K.

Wszystkie przegrody osiągają wartości współczynnika  $U$  poniżej wymogów dla budynków pasywnych tj.  $U \leq 0,15$  W/m<sup>2</sup>K [6]. Dodatkowo zastosowano stolarkę okienną i drzwiową wysokiej klasy, zamocowaną w warstwie izolacji cieplnej, dla której obliczono współczynniki przenikania ciepła  $U$  dla każdego elementu osobno, co dało wartości dla okien w zakresie 0,67–0,78 oraz dla drzwi 0,76–0,77 W/m<sup>2</sup>K.

Dzięki zastosowanej koncepcji Dom-w-Domu konstrukcja nie przerywa ciągłości izolacji termicznych i paroszczelnych wnętrza o regulowanej temperaturze, dzięki czemu można było zminimalizować wpływ mostków termicznych. Obliczenia numeryczne przeprowadzono zgodnie z wymaganiami normowymi [7] w programie

THERM [8] (rys. 8), a następnie wyznaczono wartości liniowych współczynników przenikania ciepła  $\Psi_e$ , które osiągnęły wartość w zakresie od  $-0,056$  do  $0,025$  W/mK.

Wysoką szczelność określoną na poziomie  $n_{50} = 0,6$  1/h [2], osiągnięto dzięki zminimalizowaniu przebieg instalacyjnych, uszczelnieniu ich oraz osadzenia stolarki, a także połączeń powłok paroszczelnych dociskiem i za pomocą odpowiednich mas i taśm uszczelniających. Elementem uzupełniającym całość jest wysokosprawna centralna wentylacyjna nawiewno-wywiewna, która ma poziom odzysku ciepła rzędu 90–95%.



Rys. 5. Przykład obliczeń: naroże zewnętrzne: a) schemat, b) rozkład temperatur, oprac. Ł. Nowak

### 2.3. KOSZTY BUDOWY, DOSTĘPNOŚĆ

Ze względu na modułowy charakter konstrukcji, gabaryty budynku i jego program funkcjonalny dom można łatwo dostosować do indywidualnych potrzeb. Koszty użytkowania związane z ogrzewaniem, wentylacją i wytworzeniem ciepłej wody użytkowej wyniosą szacunkowo średnio 125 zł miesięcznie. Zestawienie kosztów budowy w stanie tzw. deweloperskim przedstawiono w tabeli 1.

### 2.4. CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA – WYBRANE ELEMENTY

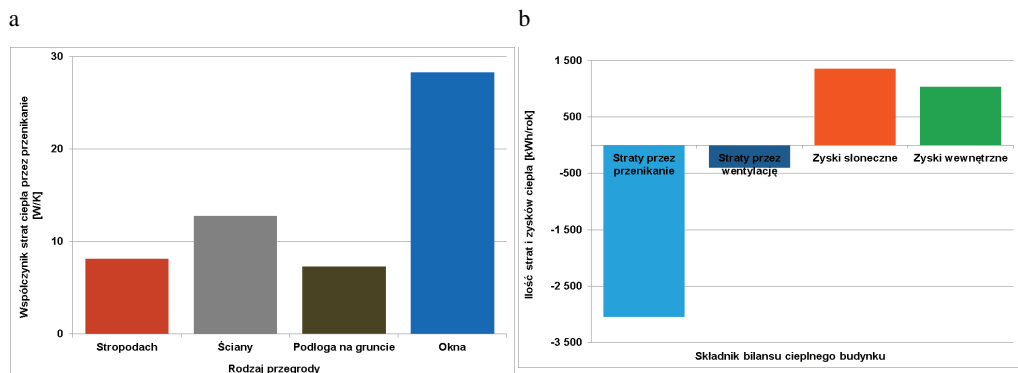
Domu-w-Domu, zlokalizowany w Kole (woj. Wielkopolskie), charakteryzuje się wskaźnikiem zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji na poziomie  $EU_{co} = 9,5$  kWh/m<sup>2</sup>rok, co spełnia z dużym zapasem kryteria budynków pasywnych ( $EU_{co} < 15$  kWh/m<sup>2</sup>rok). Można zauważyć, że mimo niewielkiej liczby okien oraz ich powierzchni, mają one największy udział w stratach ciepła w budynku (rys. 6a). Wiąże się to bezpośrednio z ich izolacyjnością cieplną, która mimo wysokich wartości współczynników  $U$  jak na elementy okienne, jest słabym wynikiem w stosunku do wysokiej izolacyjności cieplnej przegród nieprzeziernych.

Tabela 1. Zestawienie materiałów i kosztów budowy porównujących koszty Domu-w-Domu oraz budynku standardowego z pojedynczą elewacją, oprac. własne na podstawie [9]

1	2	3	4
Lp.	Opis materiałów i robót	Wartość netto Dom-w-Domu	Wartość netto standard
<b>I</b>	<b>ROBOTY ZIEMNE</b>	<b>1 682,57</b>	<b>1682,57</b>
<b>II</b>	<b>STAN ZERO</b>	<b>53 842,85</b>	<b>52 221,42</b>
	Fundament płytowy, ze stopami fundamentowymi pod słupami konstrukcji zewnętrznej. Izolacja cieplna pod płytą fundamentową: styropian BS200 gr. 20cm. Izolacje przeciwwilgociowe poziome i pionowe – standardowe		
<b>III</b>	<b>STAN SUROWY OTWARTY</b>	<b>100 996,68</b>	<b>83 093,24</b>
	Konstrukcja ścian i stropów – szkieletowa, na bazie elementów belek i słupów dwuteowych STEICO 45x200mm. Wypełnienie/izolacja termiczna: wełna mineralna ISOVER Super-Mata 15+5cm. Poszycie: płyty OSB Wersja DwD: konstrukcja przestrzenna obudowy elewacji drewniana Wersja standard: konstrukcja dachu: drewniana	w tym: 26 855,10	w tym: 9 200,00
<b>IV</b>	<b>ROBOTY WYKOŃCZENIOWE</b>	<b>185 081,22</b>	<b>185 081,22</b>
	Elewacja: dodatkowe ocieplenie z wełny mineralnej ISOVER Fasoterm NF 15cm systemowe wykończenie tynkiem oraz deskowanie. Pokrycie dachu blacha trapezowa. Od wewnątrz ocieplenie ISOVER Super-Mata gr.5cm, płyty G-K. Okna PCV trzyszybowe pasywne.		
<b>V</b>	<b>ZAGOSPODAROWANIE TERENU</b>	<b>16 351,75</b>	<b>16 351,75</b>
	Nawierzchnie utwardzone, półprzepuszczalne, kostka betonowa		
<b>VI</b>	<b>INSTALACJA ELEKTRYCZNA</b>	<b>8 782,70</b>	<b>8 782,70</b>
<b>VII</b>	<b>INSTALACJA CENTRALNEGO OGRZEWANIA I WENTYLACJI</b>	<b>63 460,30</b>	<b>63 460,30</b>
	Ogrzewanie podłogowe na całości powierzchni użytkowej, centrala wentylacyjna z automatyką, pompa ciepła z automatyką		
<b>VII I</b>	<b>INSTALACJA WOD-KAN</b>	<b>3 332,75</b>	<b>3 332,75</b>
<b>IX</b>	<b>PRZYŁĄCZA</b>	<b>14 680,00</b>	<b>14 680,00</b>
	wariant źródła ciepła: pompa ciepła glikol-woda	<b>448 210,82</b>	<b>428 685,95</b>
	wariant źródła ciepła: pompa ciepła powietrze-woda	441 810,82	
	wariant źródła ciepła: kocioł gazowy dwufunkcyjny	413 810,82	
	<b>RAZEM NETTO</b>		

Porównując składniki bilansu zapotrzebowania energii użytkowej na ogrzewanie i wentylację, przedstawione na rys. 9b, widać mały udział zysków słonecznych, co wiąże się bezpośrednio z niewielką ilością okien, które pełnią funkcje wspomaganie

budynku zimą dostarczając zyski słoneczne, jednak mają też zapewniać ochronę przed nadmiernym nagrzewaniem się w okresie letnim, co w budynkach tego typu jest wyraźnie widoczne (efekt termosu). Straty wentylacyjne zostały mocno zredukowane poprzez wysoki stopień odzysku ciepła w mechanicznej centrali wentylacyjnej. Dzięki wszystkim powyższym rozwiązaniom budynek wymaga ogrzewania przez praktycznie cztery miesiące w roku, z ewentualnym dogrzewaniem początkiem marca i końcem października.



Rys. 9. Bilans cieplny budynku: a) jednostkowe straty ciepła przez poszczególne elementy obudowy budynku, b) straty i zyski cieplne budynku w skali roku, oprac. Ł. Nowak

### 3. DOM–W–DOMU. PODSUMOWANIE ROZWIĄZANIA

Dom–w–Domu stanowi autorską odpowiedź na potrzeby średniozamożnej polskiej rodziny zainteresowanej budową nowoczesnego energooszczędnego domu jednorodzinnego, który charakteryzuje się znacznym obniżeniem kosztów eksploatacji, wynoszącym miesięcznie 125 PLN. Dom jest także odpowiedzią dla inwestorów zaangażowanych w ochronę środowiska naturalnego, którzy gotowi są na racjonalną gospodarkę materiałami, odpadami, energią oraz wodą, zarówno w trakcie budowy, jak i użytkowania domu. Architektura domu podporządkowana jest efektywności energetycznej i minimalnej energochłonności, co przejawia się w prostej, zwartej bryle, która może być łatwo adaptowalna do potencjału lokalizacji i potrzeb inwestora zmieniających się z upływem lat. Wysoką efektywność energetyczną zapewniono przede wszystkim dzięki zastosowaniu innowacyjnej w skali domu jednorodzinnego metodzie Dom–w–Domu, gdzie zewnętrzna powłoka chroni wewnątrz mieszkalne przed wpływami atmosferycznymi oraz stanowi bufor cieplny. Od północy bufor ten znalazł zastosowanie jako przestrzeń magazynowa i techniczna, oraz został pozbawiony okien. W pozostałych kierunkach zapewniono pasywne zyski solarne w zimie, przy równoczesnej ochronie przed przegrzewaniem w lecie. Idea Dom–w–Domu doskonale wpisuje się



w poszukiwaniu ekonomicznych rozwiązań dla domów energooszczędnych na terenie Dolnego Śląska, ale także i w całej Polsce. Jest to możliwe dzięki adaptacyjności poszczególnych rozwiązań dla miejscowych warunków, potencjału lokalnych materiałów wykończeniowych oraz potrzeb inwestorów.

#### LITERATURA

- [1] [http://www.nfosigw.gov.pl/gfx/ees/userfiles/files/inteligentne\\_sieci\\_energetyczne/wytyczne\\_do\\_programu\\_domow\\_energooszczednych.pdf](http://www.nfosigw.gov.pl/gfx/ees/userfiles/files/inteligentne_sieci_energetyczne/wytyczne_do_programu_domow_energooszczednych.pdf). Dostęp 08.07.2013.
- [2] *Określenie podstawowych wymogów, niezbędnych do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkaniowych oraz sposobu weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych*. Krajowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa 08.2012.
- [3] MCLENNAN J.F., *The Philosophy of Sustainable Design: The Future of Architecture*, Ecotone Publishing 2004.
- [4] FEIST W., *Podstawy budownictwa pasywnego*, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, 2009.
- [5] PN-EN ISO 6946: 2008P, *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*.
- [6] WNUK R., *Budowa Domu Pasywnego w praktyce*, Wydawnictwo Przewodnik Budowlany, Warszawa 2006.
- [7] PN-EN ISO 10211: 2008P, *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe*.
- [8] <http://www.windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>, Dostęp 10.06.2013.
- [9] FANTAZIŃSKI S., *Kosztorys inwestorski dla dwóch typów domów: Dom-w-Domu oraz standard*. Dokumentacja projektowa, Archiwum biura grupa synergia, Wrocław 2013.

#### DOUBLE SKIN HOUSE – A PROPOSAL FOR NEAR ZEROENERGY HOUSES

Double facades seem to be a solution reserved for large or high buildings. They create a buffer between the outside and the inside, prevent overheating and enable natural ventilation of the space in between the shells.

This work discusses the architectural, construction and installation concept of a small single-family home in which the authors propose not only a double façade, but also a double roof. The nature of the project enabled verification of the solution and its impact on energy consumption of the building, designed at the level of 9.49 kWh/(m<sup>2</sup>a), and is the basis for further studies related to the construction of small, low-cost and highly energy efficient buildings with double façades.

The data presented here allow to determine the profitability of the application of “double skin” which, under certain costs, provides extra protection for the heated living area from the weather: creating shade in the summer, protection from wind and cold and at the same time easy access to daylight and passive energy gains in winter, creates a thermal buffer, covers technical equipment and gives additional storage space, while allowing the continuity of thermal insulation.

## ROZDZIAŁ XXII

# ANALIZA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWA ŚCIAN SZACHULCOWYCH NIEOCIEPLONYCH I OCIEPLONYCH

Paweł NOSZCZYK\*

Praca porusza temat budownictwa szachulcowego, które obecnie jest niewykorzystywane, jednakże często spotykane na terenach Polski. We wstępie wytłumaczono problem zabytkowego charakteru opisywanej ściany oraz podano jego konsekwencje dla sposobów ociepleń. Pierwsza zasadnicza część dotyczy budowy tradycyjnej ściany szachulcowej oraz praktycznych sposobów jej ociepleń. Podane są różne możliwości ocieplenia zabytkowej przegrody. Opisane są tradycyjne materiały używane do budowy ścian szachulcowych oraz te nowoczesne umożliwiające prawidłową izolację cieplną. Druga część artykułu skupia się na obliczeniach cieplno-wilgotnościowych. Analizy prowadzone są zarówno dla kilku rodzajów ścian tradycyjnych, z jakimi można się spotkać na terenie Polski jak i dla wszystkich proponowanych sposobów ociepleń ścian szachulcowych. Analizy przeprowadzono przy założeniu jednokierunkowego przepływu ciepła oraz wilgoci i obliczono wg polskich norm. Dodatkowo dla zobrazowania zagadnień cieplno-wilgotnościowych, dla jednego modelu ściany tradycyjnej i jednego modelu ściany ocieplonej, wykonano obliczenia dla przepływu ciepła dwukierunkowego oraz zamodelowano przepływ wilgoci w czasie z wykorzystaniem programu komputerowego.

Słowa kluczowe: *ściana szachulcowa, przegroda niejednorodna, praktyczne rozwiązania ociepleń ścian zabytkowych, jednokierunkowy przepływ ciepła, parametry cieplne przegrody*

### 1. WSTĘP

Rozwój budownictwa energooszczędnego skupia się na budynkach nowych. Ważnym aspektem postępu tego procesu jest niezapominanie o budynkach historycznych, w których aspekt energooszczędności jest tak samo ważny jak dla budynków nowych. Przykładem takiego budownictwa są ściany szachulcowe stanowiące wartość historyczną z uwagi na swoją budowę, użyte materiały oraz niepowtarzalny wygląd. Cechy te powodują, że przegrody te stają się elementami zabytkowymi, które wedle prawa polskiego są chronione [6]. W wyniku czego ocieplenie ściany szachulcowej stanowi wyzwanie projektowo-

---

\* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27.

-wykonawcze. Takiej przegrody nie można ocieplić w tradycyjny sposób przykrywając od zewnątrz konstrukcję ściany materiałem termoizolującym. Niniejszy artykuł przybliża budowę ściany tradycyjnej oraz ocieplonej, która została wzniesiona w technologii szachulcowej. Zostały przedstawione praktyczne, możliwe sposoby ocieplenia rozpatrywanej przegrody. Dzięki wykonanym obliczeniom można ocenić pod względem cieplno-wilgotnościowym istniejące ściany szachulcowe oraz przegrody po proponowanych metodach ocieplenia. Głównym problemem obliczeniowym był niewątpliwie niejednorodny charakter przegrody, co sprawiało trudności przy wykonywaniu obliczeń.

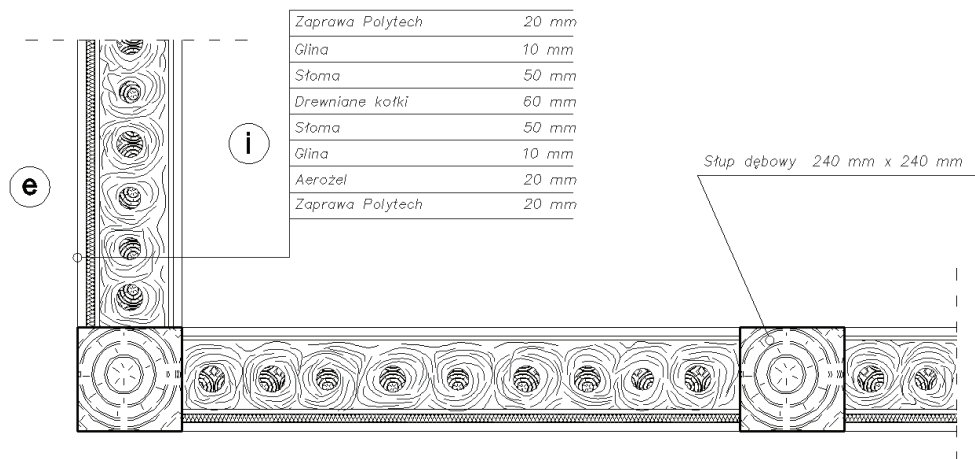
## 2. BUDOWA ŚCIANY SZACHULCOWEJ

### 2.1. PRZEGRODA TRADYCYJNA NIEOCIEPLONA

Istnieje kilka sposobów wznoszenia ścian szachulcowych. Wszystkie metody różnią się sposobem wypełnienia pola szachulca. Podane sposoby wyszczególniono na podstawie opracowania Krzyczkowskiego [1]. Przestrzeń między drewnianą konstrukcją nośną może wypełniać torf osadzony między deskami, na które położona jest siatka słomiana, a całość obrzucona jest zaprawą wapienno-gipsową. Innym sposobem wypełnienia jest ułożenie drewnianych kłód przypominających półbale między słupami oraz uzupełnienie obustronne gliną wymieszaną z sieczką, tak aby zlicować wypełnienie z konstrukcją drewnianą. Kolejną odmianą wypełnienia jest zastosowanie cegły pełnej. Taką przegrodę tradycyjnie nazywa się murem pruskim. Jednakże najbardziej złożony sposób wypełnienia stanowi metoda, w której między słupami ułożone są kołki o średnicy około 60 mm, które oddalone są od siebie na odległość zbliżoną do średnicy. Elementy te owinięte są słomą lub chrustem. Na całość obustronnie narzucona jest warstwa gliny wymieszanej z sieczką oraz całość wykończona jest zaprawą wapienno-gipsową. Właśnie tak skonstruowaną przegrodą zajmuje się niniejszy artykuł w części obliczeniowej, gdyż jest to najczęściej spotykany model ściany szachulcowej, a zarazem najbardziej złożony obliczeniowo.

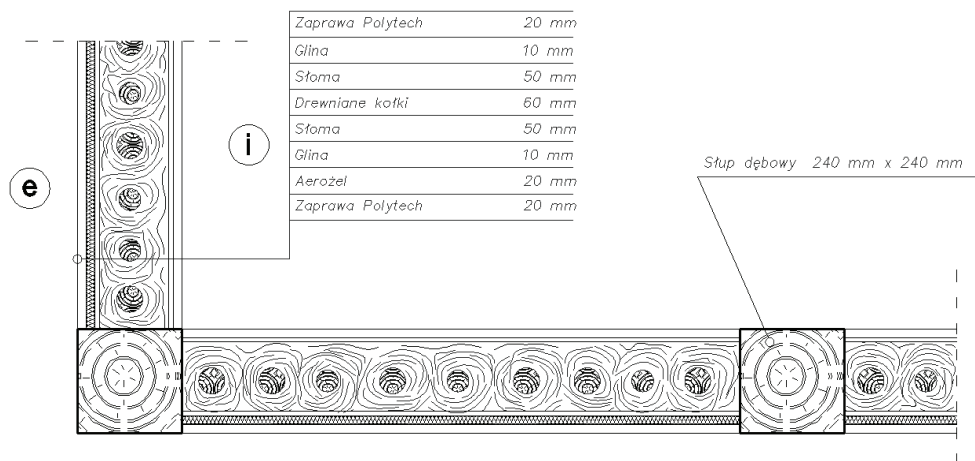
### 2.2. PRZEGRODA TRADYCYJNA OCIEPLONA

Z uwagi na zabytkowy charakter przegrody, zaproponowane zostały takie sposoby ocieplenia, które potencjalnie mogą być zaakceptowane przez konserwatora zabytków. Poniżej przedstawiono praktyczne sposoby ocieplenia ściany szachulcowej. Pierwsza z metod polega na całkowitym usunięciu materiału z pól między elementami drewnianymi konstrukcji (rys. 1). Wolną przestrzeń należy wymurować bloczkami z betonu komórkowego oraz ocieplić styropianem od zewnątrz i obustronnie otynkować. Kolejna metoda jest odmianą sposobu pierwszego. Różnica polega na tym, że na całej grubości przegrody należy zastosować styropian.



Rys. 1. Przekrój ściany ocieplonej bloczkiem z betonu komórkowego i styropianu, oprac. własne [2]

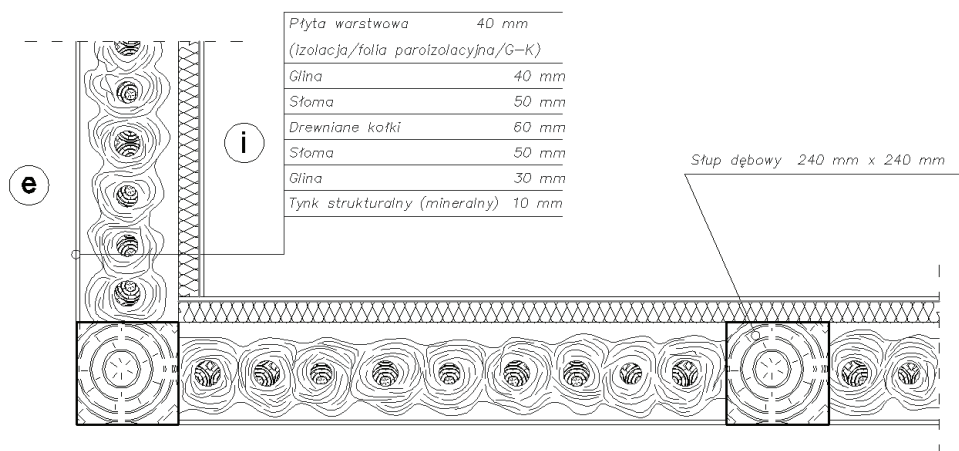
Metoda trzecia (rys. 2) uwzględnia pozostawienie zabytkowego wypełnienia konstrukcji szachulcowej. Usunięty zostanie tylko tynk zewnętrzny i wewnętrzny. Po dokładnym wygładzeniu powierzchni, z uwagi na bardzo małą grubość nowego materiału należy zastosować bardzo dobry materiał termoizolujący, idealnym rozwiązaniem w tym przypadku jest aerożel. Warstwa termoizolacji ułożona po stronie zewnętrznej, powinna mieć grubość 20 mm. Następnie po obu stronach przegrody należy zastosować tynk termoizolacyjny, który również ma dobre właściwości cieplne.



Rys. 2. Przekrój ściany tradycyjnej ocieplonej aerożelem i tynkiem termoizolacyjnym, oprac. własne [2]

Ostatni, czwarty proponowany sposób ocieplenia (rys. 3) jest uzależniony od decyzji konserwatora zabytków. W przypadku jego zgody na zasłonięcie konstrukcji od strony

wewnętrznej istnieje możliwość wykonania warstwy termoizolacji od tej strony. Dzięki czemu można zastosować płyty wielowarstwowe, które przyklejane są od wewnątrz. Płyta taka składa się z materiału termoizolacyjnego (pianki poliuretanowej), cienkiej folii paroizolacyjnej oraz warstwy płyty gipsowej. Płyta przywożona jest na budowę jako jeden element i gotowa do zamontowania, dzięki czemu skraca się czas wykonania ocieplenia. Zastosowanie ocieplenia od wewnątrz jest możliwe dzięki paroizolacji.



Rys. 3. Przekrój ściany tradycyjnej ocieplonej płytą warstwową od wewnątrz, oprac. własne [2]

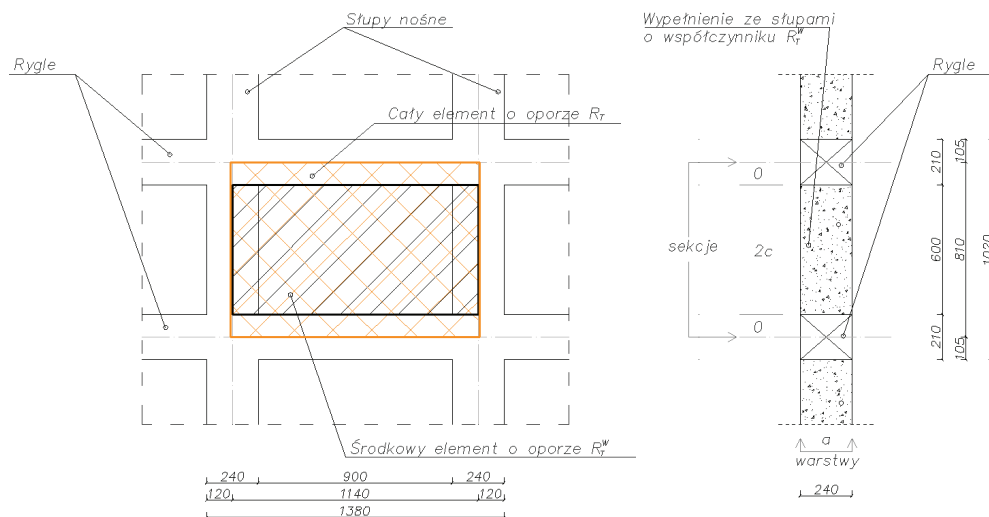
Wszystkie powyższe metody nie umniejszają wartości zabytku i nie zasłaniają oryginalnej konstrukcji drewnianej, dzięki czemu przyszłe pokolenia nadal mogą podziwiać oryginalne rozwiązanie, a jednocześnie użytkownicy obiektu będą odczuwali komfort cieplny wynikający z ocieplenia obiektu. Ważnym aspektem prawnym jest uzyskanie przez ścianę zewnętrzną dla budynków mieszkalnych współczynnika przenikania ciepła  $U < 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , wartość ta wymagana jest w rozporządzeniu dotyczącym warunków technicznych dla obiektów budowlanych [5].

### 3. ANALIZA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWA

#### 3.1. ANALIZA CIEPLNA

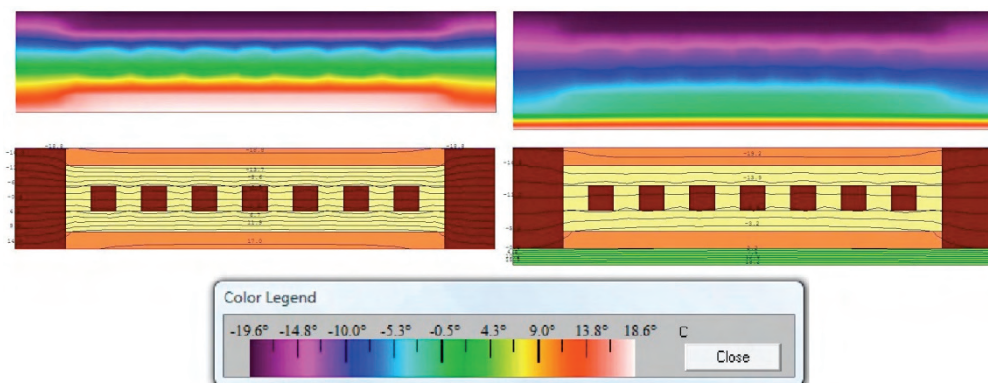
Obliczenia cieplne zostały wykonane dla założonego jednokierunkowego przepływu ciepła i obliczone wg [3]. W celu wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła  $U$  wyodrębniono reprezentatywny element przegrody, który jest powtarzalny dla całej ściany, a mianowicie jedno pole szachulca wraz z konstrukcją drewnianą w osiach. Obliczenia wykonano dwukrotnie jak dla przegrody niejednorodnej. W pierwszej kolejności dla wycinka między ryglami, a następnie ponownie już dla całego elementu.

W wyniku czego otrzymano parametr  $U$ , który bierze pod uwagę zarówno wypełnienie pola szachulca jak i elementy konstrukcji drewnianej (poziome i pionowe). Sytuację obliczeniową pokazuje (rys. 4).



Rys. 4. Schemat elementu rozpatrywanego jako reprezentatywny dla całej konstrukcji ściany szachulcowej, dla którego wykonano obliczenia przy wyznaczaniu współczynnika  $U$ , oprac. własne [2]

Obliczenia wykonano zarówno dla konstrukcji tradycyjnej nieocieplonej jak i dla przegrody ocieplonej 4 sposobami przedstawionymi w rozdziale 2.2. Poniżej zestawiono wszystkie współczynniki całkowitego przenikania ciepła  $U_c$  (tab. 1). Obliczenia współczynnika  $U$  zostały skorygowane o poprawki  $\Delta U$ . Uwzględniono poprawkę z uwagi na występowanie pustek powietrznych. Dla ścian nieocieplonych przyjęto poprawkę na poziomie 0,04 gdyż stare ściany szachulcowe tradycyjne charakteryzują się małą dokładnością wykonania wypełnienia, które nie przylega dobrze do konstrukcji drewnianej, co powoduje chwilami prześwity na całą grubość przegrody. Ściana ocieplona w wyniku korozji biologicznej drewna również posiada pustki powietrzne, lecz nie powodują one cyrkulacji powietrza przez przegrodę, w tym przypadku współczynnik korygujący przyjęto na poziomie 0,01. Nie ma potrzeby uwzględniania poprawki ze względu na łączniki mechaniczne, ponieważ ocieplenie jest mocowane za pomocą klejów montażowych, dzięki czemu nie dochodzi do przebicia warstwy termoizolacyjnej. Wykonano również analizę dwukierunkowego przepływu ciepła przez przegrodę dla ściany nieocieplonej z wypełnieniem drewnianymi kłódami, słomą i gliną oraz dla tej samej przegrody ocieplonej płytą wielowarstwową. Obliczenia przeprowadzono w programie Therm 6.3. Poniżej przedstawiono otrzymane wyniki. Współczynniki przenikania ciepła dla przepływu ciepła 2D wynoszą odpowiednio dla ściany nieocieplonej i ocieplonej 0,579 oraz 0,289  $W/(m^2K)$ .



Rys. 5. Rozkład temperatury oraz izoterm w przegrodzie nieocieplonej (lewa strona) oraz przegrodzie ocieplonej (prawa strona), oprac. własne

Tabela 1. Zestawienie współczynników przenikania ciepła dla ścian tradycyjnych nieocieplonych oraz ścian po zastosowaniu ocieplenia (przepływ ciepła jednokierunkowy), oprac. własne

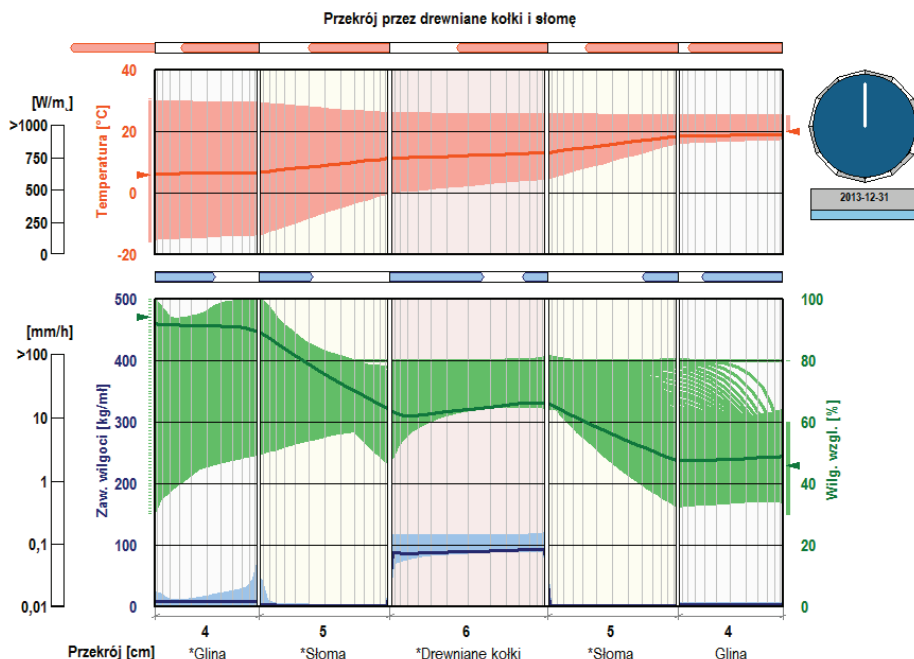
Ściana tradycyjna nieocieplona				
Sposób wypełnienia		$U$	$\Delta U_g$	$U_c$
		[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]
1	miał torfowy	0,57	0,04	0,61
2	drewniane kołki owinięte słomą	0,61	0,04	0,65
3	plennice i gruba warstwa gliny	0,78	0,04	0,82
4	drewniane kołki owinięte chrustem	0,80	0,04	0,84
5	cegła pełna	1,22	0,04	1,26
Ściana ocieplona				
Metoda ocieplenia		$U$	$\Delta U_g$	$U_c$
		[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]
1	beton komórkowy i styropian	0,48	0,01	0,49
2	styropian na całej grubości	0,41	0,01	0,42
3*	aerożel z tynkiem termoizolacyjnym	0,51	0,01	0,52
4*	plyta wielowarstwowa od wewnątrz	0,26	0,01	0,27

\* elementy wypełnienia środka szachulca jak dla ściany nieocieplonej nr 2

Dużym problemem było również dobranie parametrów materiałowych dla niespotykanych materiałów tradycyjnych. Współczynniki przewodzenia ciepła zostały odczytane w polskich normach [3] oraz wyszukane na stronie internetowej w bazie danych firmy Rockwool. Dodatkowym uproszczeniem było również przyjęcie jednakowych grubości warstw przegrody. W rzeczywistości warstwy gliny i słomy lub chrustu przenikają się między sobą, a grubość materiału jest zmienna. Wszystkie współczynniki przenikania ciepła podane są dla tego samego reprezentatywnego elementu (rys. 4) o grubości przegrody 24 cm.

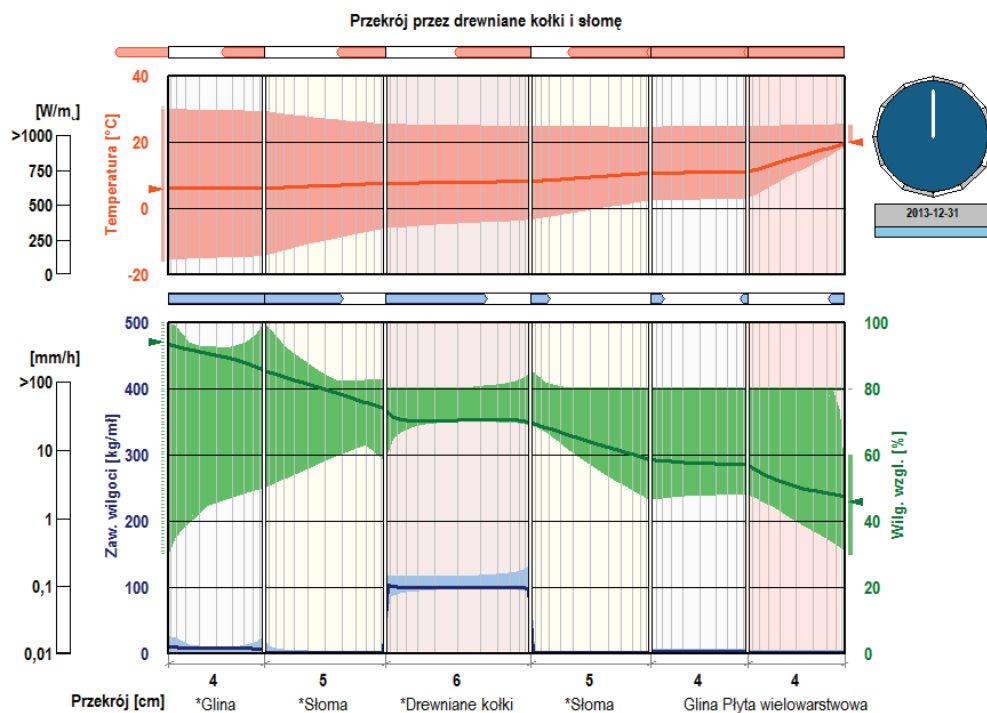
## 3.2. ANALIZA WILGOTNOŚCIOWA

Analiza wilgotnościowa została przeprowadzona dla wszystkich przypadków wznoszenia ściany szachulcowej w sposób tradycyjny oraz dla każdego z przyjętych praktycznych rozwiązań ocieplenia przegrody. Obliczenia dokonano dla założonego jednokierunkowego przepływu wilgoci. Wykonano je w prostym programie firmy Rockwool „Cieplno-wilgotnościowe właściwości przegród budowlanych”. Przegrodę sprawdzono na wypadek wystąpienia kondensacji pary wodnej na powierzchni wewnętrznej, na możliwość wystąpienia kondensacji międzywarstwowej oraz sprawdzenie przekroczenia punktu rosy. Wyniki wykazały, że każda z przegród, zarówno tradycyjna jak i po zastosowanym ociepleniu, spełnia wymogi wilgotnościowe. Jedynym zastrzeżeniem jest występowanie kondensacji powierzchniowej w przegrodzie tradycyjnej; gdzie do wypełnienia zastosowano cegłę pełną, tzw. mur pruski. W pozostałych przypadkach jeśli dochodziło do kondensacji międzywarstwowej to były to niewielkie ilości kondensatu, które w okresie wakacyjnym ulegały odparowaniu. Dodatkowo wykonano dokładniejszą analizę przepływu wilgoci i jej kondensacji dla przegrody najbardziej niejednorodnej, czyli tej której wypełnienie stanowią kolki owinięte słomą z narzuconą warstwą gliny po obu stronach. Analizy dokonano w programie komputerowym WUFI. Poniżej na rys. 6 oraz rys. 7 przedstawiono porównanie



Rys. 6. Schemat rozkładu temperatury w przegrodzie nieocieplonej (na górze) oraz rozkład zawartości wilgoci całkowitej w ścianie i wilgotności względnej (na dole) w czasie całego roku, oprac. własne





Rys. 7. Schemat rozkładu temperatury w przegrodzie ocieplonej płytą wielowarstwową (na górze) oraz rozkład zawartości wilgoci całkowitej w ścianie i wilgotności względnej (na dole) w czasie całego roku, oprac. własne

przepływu wilgoci i rozkładu temperatury w czasie dla przegrody nieocieplonej i ocieplonej płytą wielowarstwową od strony wewnętrznej. Na poniższych rysunkach strona wewnętrzna znajduje się po lewej stronie przegrody. Można zauważyć, że ruch wilgoci postępuje od powierzchni przegrody do jej wnętrza w wyniku, czego dochodzi do kondensacji pary wodnej w elemencie drewnianym (kierunek niebieskich strzałek nad rysunkiem). Pogrubione linie ukazują wartości dla daty 31 grudnia, a zakresy jasnozielony i jasnoczerwony wykazują wahania parametrów na przestrzeni całego roku obliczeniowego. Na rysunku 7 widocznie jest zmniejszenie wilgotności względnej w przegrodzie na przestrzeni całego roku oraz mniejsza kondensacja międzywarstwowa między warstwą gliny i słomy po stronie zewnętrznej. Przeprowadzone obliczenia wykazują prawidłowe zaprojektowanie ocieplenia ściany szachulcowej. Każdy przedstawiony praktyczny przypadek ocieplenia spełnia warunki wilgotnościowe. Dodatkowe obliczenia wilgotnościowe wykonano dla przegrody spełniającej wymogi cieplne wyniki przedstawiono w tabeli poniżej. Dla porównania pokazano wyniki (tab. 2) dla ściany tradycyjnej jak i ocieploną płytą wielowarstwową.

Tabela 2. Zestawienie wyników dla analizy wilgotnościowej dla przegrody ocieplonej i nieocieplonej, oprac. własne

1	2	3	4	5	6
Parametr	Jedn.	Ściana nieocieplona		Ściana ocieplona	
		Przekrój przez warstwę:			
		Gлина/Kołki + Słoma/Gлина	Gлина/Słoma /Gлина	Kolumna 3 + płyta wielow.	Kolumna 4 + płyta wielow.
Całk. min zawart. wilg.	[kg/m <sup>2</sup> ]	5,65	0,31	6,31	0,31
Data min wilg.	[-]	23-cze	02-maj	23-wrz	04-maj
Całk. max zawart. wilg.	[kg/m <sup>2</sup> ]	7,37	0,85	7,48	0,66
Data max wilg.	[-]	06-sty	21-gru	08-sty	07-sty

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ściany szachulcowe z uwagi na ich niejednorodność przysparzają wielu problemów projektowych. Do najczęstszych problemów projektowo-wykonawczych można zaliczyć: trudności przy określaniu parametrów fizycznych materiałów, niejednorodność przegrody w każdym kierunku, problemy przy wykonawstwie wynikające z nierówności powierzchni drewnianej oraz zabytkowy charakter obiektu wymuszający pozostawienie części drewnianej odkrytej.

Z uwagi na parametry wilgotnościowe omawiane ściany nie sprawiają wielu problemów, obliczenia wykazały, że materiały użyte do budowy ścian tradycyjnych jak i ocieplonych bardzo dobrze sobie radzą z wilgocią. Dużo większym problemem jest zaprojektowanie ścian z uwagi na ich przenikalność cieplną. Jedynie ocieplenie konstrukcji od środka (jako dodatkowa warstwa) umożliwia otrzymanie współczynnika  $U_c$  poniżej jego granicznej wartości. Wynika to z faktu dużej powierzchni drewnianej, która ma swój udział w stratach ciepła. W obiektach o ścianach szachulcowych zaleca się stosowanie izolacji cieplnej od środka, najlepiej w postaci płyty wielowarstwowej z uwagi na prosty i wygodny montaż. Przy samodzielnym ocieplaniu tego typu przegród od środka należy pamiętać o stosowaniu paroizolacji od strony wewnętrznej, ułożonej bezpośrednio pod płytami gipsowo-kartonowymi. Wszystkie inne sposoby ocieplenia ściany, które uwzględniają jedynie ocieplenie wypełnienia pola szachulca nie spełniają norm cieplnym obowiązujących aktualnie w Polsce. Nawet całkowite ocieplenie ściany styropianem nie pozwala uzyskać odpowiednich współczynników cieplnych ściany. Ponadto należy pamiętać, że w kolejnych latach graniczne współczynniki przenikania ciepła będą jeszcze bardziej obniżane, co mocniej utrudniać będzie projektowanie izolacji cieplnej takich przegród. Myśląc o rozwoju budownictwa energooszczędnego nie należy skupiać się jedynie na budynkach nowych, ale również pamiętać o historycznych obiektach, jakimi są niewątpliwie ściany szachulcowe.

## LITERATURA

- [1] KRZYCZKOWSKI D., *Wykład popularny zasad konstrukcji budowlanych dla budowniczych, majstrów, przedsiębiorców budowlanych i samouków*, Księgarnia Polska Bernard Połoniecki, 1932.
- [2] NOSZCZYK P. *Analiza sposobów ociepleń ścian szachurowych w obiektach zabytkowych*, Praca magisterska PWr., 2013.
- [3] PN EN ISO 6946 *Komponenty i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczania*.
- [4] PN EN ISO 13788 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metoda obliczania*.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [6] Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Tekst jednolity).

THERMAL-MOISTURE ANALYSIS OF INSULATED AND NOT INSULATED  
IN BRICK NOGGED TIMBER WALLS

In introduction historical nature of the described walls has been explained and its implications for the various possibilities of insulation have been given. In first part of paper construction of the traditional brick nogged timber walls and practical ways of its insulation have been described. Different possibilities of warming historic division have been given. The second part of the article focuses on the thermal-moisture calculations. Analyses have been made both for the several traditional types of wall, often occurring in Poland, as well as for all the methods of timber-framed walls thermal insulation. Analyses were based on a one-way flow of heat and moisture and have been calculated on polish standards. In addition to thermal-moisture issues exposure calculations of bi-directional flow of heat and moisture, for traditional and insulated wall models, have been made using a computer program with flow modeling in time. Finally, results of heat – moisture calculations have been summarized.

## ROZDZIAŁ XXIII

# DOMY PODHALAŃSKIE JAKO PRZEJAW ARCHITEKTURY ENERGOOSZCZĘDNEJ

Paweł OWCZAREK\*

Tematem artykułu jest wpływ czynników klimatycznych i kulturowych na formę architektoniczną budynków mieszkalnych powstałych w XVIII i XIX wieku na obszarze Podhala. Tereny górskie stawiają szczególnie wysokie wymagania wobec powstającej i rozwijającej się architektury. Artykuł przybliży model domów podhalańskich, które powstały w wyniku wielowiekowej ewolucji. Były to obiekty wykonane po mistrzowsku zazwyczaj w drewnianej konstrukcji zrębowej. Z pokolenia na pokolenie przekazywano wypracowany i udoskonalany schemat funkcjonalny, metody przygotowania drewna i sposoby łączenia węglów, ścian, podwalin i dachów. Modelowy typ chaty stał się niemal „prefabrykatem” o bezbłędnie funkcjonalnej i logicznej formie, zwartej bryle, starannie dobranych proporcjach oraz dobrej gospodarce cieplnej. Dzięki swojej konstrukcji obiekt mógł być również w dużym stopniu zmieniany i przebudowywany. Przeanalizowanie budynków mieszkalnych z obszarów Podhala pozwoli odpowiedzieć na pytanie – czy w domu podhalańskim występowały rozwiązania architektury pasywnej?

Słowa kluczowe: *architektura drewniana, architektura wernakularna, architektura podhalańska, architektura energooszczędna, czynniki klimatyczne*

### 1. WPŁYW CZYNNIKÓW KLIMATYCZNYCH I KULTUROWYCH NA FORMĘ ARCHITEKTONICZNĄ NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH BUDYNKÓW DREWNIANYCH Z TERENÓW ZIEM GÓRSKICH

#### 1.1. ARCHITEKTURA ZIEM GÓRSKICH

Architektura ziem górskich zawsze odróżniała się formą od architektury innych niegórskich obszarów. Bez względu na narodowość, mieszkańiec gór tworzył architekturę podporządkowaną specyficznym warunkom klimatycznym, kulturowym, terenowym, jak również dostosowaną do własnych potrzeb i wrodzonej gospodarności. Warto podkreślić, że góral projektując pozostawał w warunkach bardzo ścisłego kontaktu z naturą.

---

\* Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, ul. Bolesława Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

W XVIII i XIX wieku na terenie Podhala, czyli w rozległej kotlinie pomiędzy Beskidami na północy a ścianą Tatr na południu, zrodził się i rozwinął styl architektoniczny, zwany podhalańskim [8, s. 11].

Już wtedy ówczesni cieśle i majstrowie podświadomie budowali domy w oparciu o rozwiązania, które współcześnie uznać można jako przejaw architektury energooszczędnej [2, s. 8]. Wspomniane standardy uformowały się w wyniku wielowiekowej ewolucji polegającej na obserwacji przyrody i klimatu, analizie terenu, szacowaniu zużycia energii, a także oceny komfortu życia. Dogodne usytuowanie obiektu względem stron świata, wykorzystanie lokalnego materiału, odpowiedni kąt nachylenia dachu czy doświetlenie izb mieszkalnych wpływały na energooszczędność domu.

Styl podhalański jest przykładem architektury wernakularnej [7], tj. zakorzenionej w tradycji lokalnej. Z upływem czasu pierwotne regionalne założenia projektowe uległy jednak znacznym przeobrażeniom. Konieczne było szukanie nowych rozwiązań funkcjonalnych i technicznych wynikających ze zmiany sposobu myślenia, humanizacji mieszkania, nowych trendów architektonicznych, a przede wszystkim ze zmiany adresata tej architektury, jakim stał się masowo turysta. Olbrzymie hotele i przeskalowane pensjonaty wyrosły jako zupełnie obce obiekty, niepasujące do starego krajobrazu architektonicznego tych ziem. Również wszechobecna fascynacja typowymi projektami domów jednorodzinnych prymitywnie przekształcanymi na styl podhalański, nowoczesne materiały i współczesne technologie tak obce środowisku naturalnemu, nie mają już wiele wspólnego z dawną sztuką ciesielską i wypracowanymi z pokolenia na pokolenie świadomymi rozwiązaniami projektowymi [1, s. 16]. Przedmiotem inspiracji stały się jedynie detale architektoniczne, a idea „domu pasywnego” niestety nie została kontynuowana.

### 1.2. ROZWIĄZANIA PASYWNE

Rozwiązaniami pasywnymi w artykule będą nazywane systemy, których istotą jest maksymalizacja zysków energetycznych pochodzących od słońca i ograniczenie strat ciepła. Do takich metod zaliczyć można odpowiednią orientację budynku względem stron świata, strefowanie pomieszczeń i grupowanie ich w zespoły o zbliżonych funkcjach i temperaturach oraz właściwą lokalizację otworów okiennych. Częściowo zapotrzebowanie na ciepło zostaje zaspokojone dzięki ciepłu oddawanemu przez urządzenia i przebywających w budynku ludzi. Rozwiązaniami pasywnymi są także pomieszczenia buforowe pomiędzy wnętrzem i zewnątrz, właściwe zaprojektowanie przegród zewnętrznych oraz szczelność w miejscach połączeń elementów konstrukcyjnych.

### 1.3. DREWNO – NATURALNY SUROWIEC

Architektura podhalańska oparta była przede wszystkim na naturalnym surowcu, jakim jest drewno. Jest to podstawowy materiał budowlany domów jednorodzinnych

z terenów górskich. Dzięki swoim właściwościom budulec ten jest prosty w obróbce, łatwo dostępny i ze względu na swoją niewielką masę w porównaniu do innych surowców naturalnych takich jak np. kamień, zdecydowanie łatwiejszy w transporcie.

Najczęściej używanym materiałem do konstrukcji ścian i dachów było drewno świerkowe, gdyż ten gatunek jest dominującą odmianą lasów podhalańskich. W mniejszej ilości spotkać można drewno jodłowe. Fundamenty domów, piwnice i podmurówki tworzone były z kamieni rzecznych a za spoiwo służyła powszechnie dostępna glina [3, s. 23]. Do budowy budynków mieszkalnych i obiektów gospodarczych dobierano zdecydowanie gorsze jakościowo drzewa niż do np. budowli sakralnych [5, s. 3]. Niewątpliwie wadą drewna jest jego palność i podatność na działanie szkodników oraz korozję biologiczną [2, s. 124]. Liczne pożary regionalnych obiektów drewnianych spowodowały, że zniknęła znaczna ilość unikatowych budynków architektury drewnianej [5, s. 1]. Biorąc jednak pod uwagę aspekt ekologiczny, wyeksploatowane drewniane elementy budowlane łatwo jest ponownie przetworzyć na inny produkt lub wykorzystać jako biomasa w trakcie spalania<sup>1</sup>.

Warto również nadmienić, że obiekty mało kubaturowe wykonane z drewna sprawdzają się znacznie lepiej niż budynki wykonane w technologii żelbetowej bądź stalowej, jeżeli zliczyć niezbędną energię wbudowaną i pierwotną na wytworzenie, eksploatację i rozbiórkę. Dla przykładu wydatkowana energia na obiekt o kubaturze 1000 m<sup>3</sup> wykonany z drewna wynosi 1480000 kWh, wykonany z żelbetu 2223000 kWh, natomiast wykonany ze stali 1827000 kWh [2, s. 124, 126]. Biorąc pod uwagę zużytą energię budownictwo drewniane w obiektach mało kubaturowych bardzo dobrze wpisuje się w budownictwo energooszczędne i wypada zdecydowanie lepiej niż inne popularne materiały budowlane takie jak żelbet czy stal.

#### 1.4. ZWARTA BRYŁA I STABILNA KONSTRUKCJA

W trudnym klimacie i terenie architektura podhalańska musiała przeciwstawić się wielu czynnikom. Duże opady deszczu, długo utrzymujący się śnieg, ostre mrozy i silny wiatr dyktowały budownictwu szczególne wymagania. Zwarta i prosta bryła gwarantowała stabilność i szybki czas realizacji. Miała również korzystną proporcję przegród zewnętrznych do kubatury, a co za tym idzie mniejsze straty ciepłe spowodowane przenikaniem ciepła. Dla przykładu dom Walczaka na Skibówce w Zakopanem (rys. 1) o wymiarach rzutu 14,8 m × 7,6 m i wysokości mierzonej od poziomu gruntu do kalenicy 7,5 m, posiadał stosunek przegród zewnętrznych do kubatury 0,7. Współczesne domy pasywne dążą do jak najniższego wskaźnika  $A/V$ , a więc do jak najmniejszego stosunku powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury obiektu, co

---

<sup>1</sup> W procesie tym dochodzi do uwalniania się do atmosfery CO<sub>2</sub>. Nie jest to pożądanym efektem, natomiast szkodliwy związek nie pozostaje w środowisku naturalnym jako substancja, która musi przejść taką samą drogę rozkładu jak ta wytworzona w procesach przemysłowych [2, s. 124].

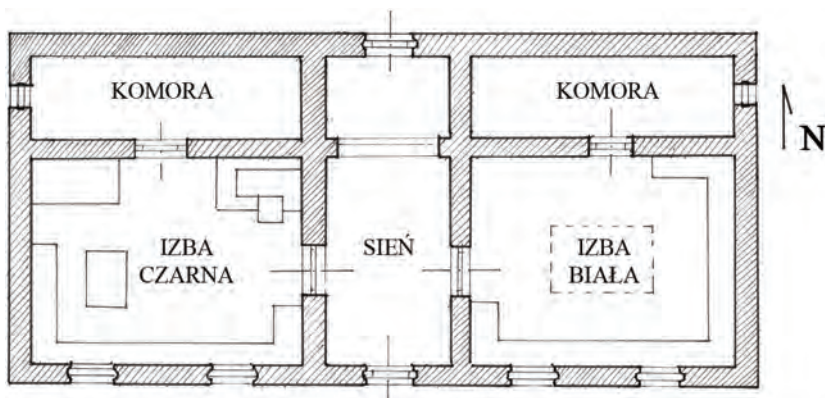
wiąże się z mniejszym zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania. Współczynnik kształtu  $A/V$  wynoszący 0,7 jest wynikiem pozwalającym osiągnąć mniejszy wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię grzewczą [4, s. 196–197].

Jak wspomniano w artykule, podstawowym materiałem budowlanym domu było drewno. Do rzadkości należały domy murowane z kamienia, gdyż w środowisku mokrym i niskich temperaturach wywołuje on dużą wilgotność wewnątrz budynku i problemy z ogrzewaniem, ze względu na swoją dobrą przenikalność termiczną. Również obiekty ceglane nie należały do popularnych, ponieważ glina znajdująca się na terenach górskich nie nadawała się do wyrobu cegieł.

Kamienia w budynkach mieszkalnych używano głównie do wznoszenia fundamentów. Układano go bezpośrednio na ziemi lub na warstwie wapna [3, s. 25]. Ściany domu budowane najczęściej z bali świerkowych posiadały charakterystyczną konstrukcję zrębowo-węglową. W rozwiązaniu tym belki układano poziomo, jedna na drugiej i łączono sztywno w narożnikach – węglach. Łączenie wykonywano na wiele sposobów, takich jak: na obłap, na nakładkę, na „jaskółczy ogon” czy na „zamek” [6, s. 3]. Każdy z systemów różnił się od siebie, ale wszystkie stanowiły niezwykle mocne połączenie i spajały cały budynek w jeden zwarty obiekt, który mógł się oprzeć silnym naporom wiatru. Pomimo długotrwałej wilgotności oraz długo zalegających śniegów węgly budowano na tyle dokładnie, że wilgoć występująca w szczelinach nie wpływała na osłabienie narożników [3, s. 26].

#### 1.5. DOM PODHALAŃSKI

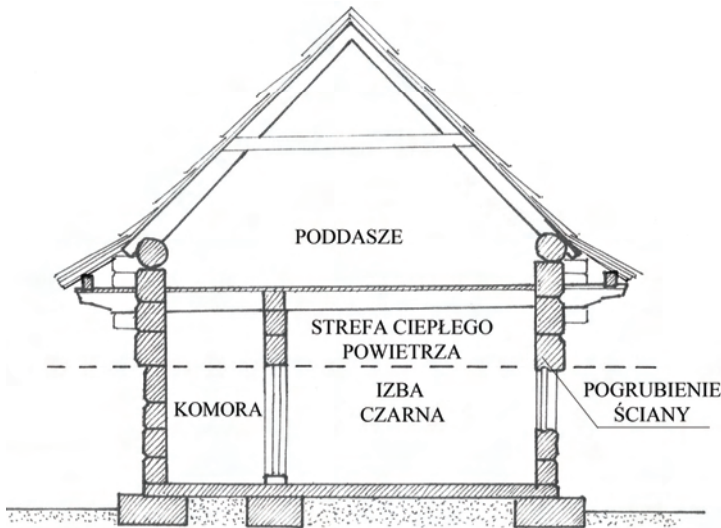
Typowy budynek mieszkalny na Podhalu zaplanowany był z reguły na rzucie prostokąta, dłuższymi bokami skierowany w stronę północną i południową (rys. 1). Od strony południowej znajdowały się pomieszczenia do stałego przebywania ludzi. Nazywano je izbami.



Rys. 1. Szkic chałupy Walczaka na Skibówce w Zakopanem, oprac. własne na podstawie [3]

W większości przypadków dom składał się z dwóch izb, jednej białej, drugiej czarnej. Pierwszą zamieszkiwali domownicy latem. Nie posiadała ona pieca i nie była w żaden sposób ogrzewana. Służyła jako czyste pomieszczenie do różnego rodzaju spotkań i biesiad, a w zimie wykorzystywana była jako chłodnia.

Druga izba, zamieszkiwana zimą, posiadała piec, a jej ściany zewnętrzne były dobrze przystosowane do utrzymywania ciepła wewnątrz domostwa. Powyżej górnej krawędzi okna ściana budowana była jako półtora do dwóch razy grubsza niż ta poniżej. (rys. 2). Dzięki takiemu rozwiązaniu ciepło gromadzące się pod sufitem pozwalało zachować wyższą temperaturę w pomieszczeniu przez dłuższy czas [3, s. 51].



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez budynek mieszkalny przedstawiający pogrubienie ściany zewnętrznej, oprac. własne na podstawie [3]

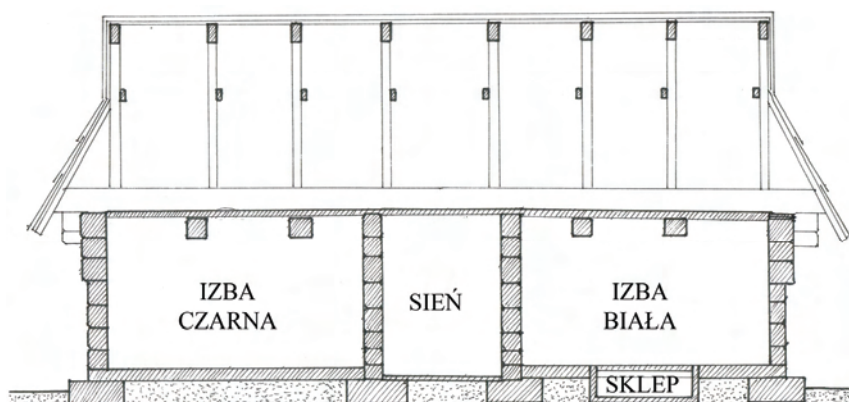
Biała izba znajdowała się we wschodniej części domostwa, a czarna w zachodniej [3, s. 28]. Wejście do izb prowadziło poprzez przedsionek zwany sienią. Służył on jednocześnie jako wiatrołap i pomieszczenie, które znacznie zmniejszało straty ciepła w zimie. Doświetlenie przedsionka zapewniało niewielkie okienko znajdujące się ponad drzwiami, które zazwyczaj wycinano w poprzecznym balu. Izba biała i czarna ze względów konstrukcyjnych była niższa od sieni o grubość jednego bala (rys. 3). Takie rozwiązanie powodowało, że do tych pomieszczeń wchodziło się po jednym stopniu. Zmniejszyła się jednocześnie kubatura pomieszczenia ogrzewanego.

Okna w izbach mieszkalnych, a więc w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi znajdowały się tylko od strony południowej, co zmniejszało straty wynikające z przenikania ciepła przez okna i było częściowo zbilansowane zyskami pochodzącymi od, wpadającego przez nie, promieniowania. Przez takie rozmieszczenie



okien dom był zabezpieczony przed stratą ciepła w szczególności w okresie zimowym. Z zewnątrz domostwa styk ściany drewnianej oraz podmurówki wykonane z kamienia często przysłaniano darnią, aby wiatr nie podwiewał izb. Był to jeden z zabiegów, który zmniejszał występowanie mostków termicznych.

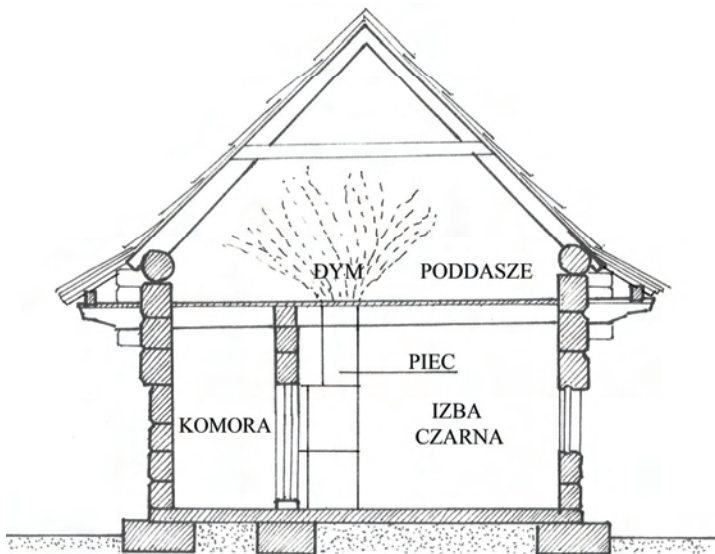
Wewnątrz domu znajdował się niewielki otwór zwany sklepem, w którym przechowywano żywność (rys. 3). Mieścił się on w przestrzeni pomiędzy ławami fundamentowymi, pod podłogą izby białej, ponieważ izba czarna, jako jedyne dogrzewane pomieszczenie, musiała być dobrze chroniona od mrozów w trakcie zimy [3, s. 29]. Dom podhalański składał się z dwóch kondygnacji. Pierwszej użytkowo mieszkalnej i drugiej magazynowo spichlerzowej. Nad izbami mieszkalnymi znajdowały się pomieszczenia do przechowywania sprzętów gospodarskich i suszenia zboża. Na poddaszu niewielkie otwory okienne lokalizowano w ścianach szczytowych tylko po stronie wschodniej, aby dominujące wiatry zachodnie nie nadmuchiwały powietrza do wnętrza. Przez takie rozplanowanie nadmiar ciepłego powietrza w lecie uciekał przez otwory okienne, natomiast w ciągu dnia wyższa temperatura na poddaszu powodowała lepsze wysuszanie zboża [3, s. 38].



Rys. 3. Przekrój podłużny przez budynek mieszkalny przedstawiający wysokości izb oraz sieni, oprac. własne na podstawie [3]

Dym z pieca i kuchni nie był usuwany kominem bezpośrednio ponad dach. Zazwyczaj wyprowadzano go poprzez rurę na poddasze domostwa (rys. 4). Tam rozchodził się, aby później powoli i stopniowo wydostać na zewnątrz domu poprzez dziury i nieszczelności w dachu oraz ścianach szczytowych. Bardzo często w domu podhalańskim istniały niewielkie otwory w dachach od strony wschodniej i ścianach od strony południowej, które służyły do odprowadzenia dymu z wnętrza budynku – nazywano je dymnikami. Brak otworów od strony zachodniej i północnej powodował, że wiatr nie mógł skierować dymu do wnętrza domu [3, s. 57]. Takie rozwiązanie wydawałoby się dość ryzykowne ze względów pożarowych, natomiast, do dziś nie ma jednoznacznych

informacji, które potwierdzają negatywne skutki niekonwencjonalnego odprowadzenia dymu z pieca. Niespotykany sposób uwalniania spalin, choć pozornie niebezpieczny, posiadał dużo zalet. Przede wszystkim ciepło, jakie wytworzyło się w piecu, nie uciekało bezpośrednio przez komin, lecz ogrzewało poddasze, które stało się swego rodzaju buforem termicznym chroniącym izbę mieszkalną przed nadmiernymi stratami ciepła, szczególnie w okresie zimowym. Dodatkowo dym znajdujący się na poddaszu sprawiał, że krokwie i gonty zyskiwały na trwałości, a magazynowana żywność była w naturalny sposób wędzona i mogła być dłużej przechowywana [3, s. 39].



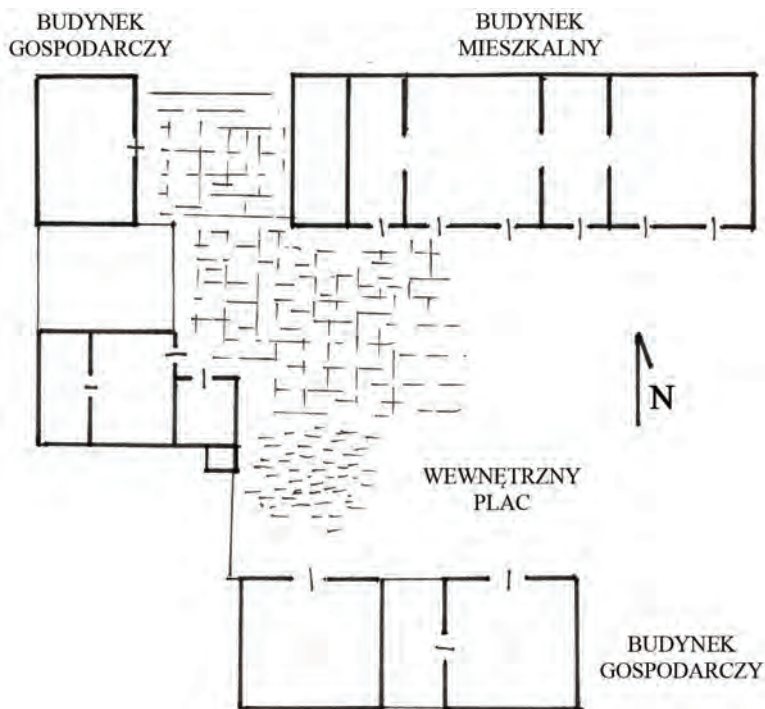
Rys. 4. Schemat rozprowadzania dymu na poddaszu, oprac. własne na podstawie [3]

W części północnej domu zazwyczaj znajdowały się pomieszczenia magazynowe - zwane komorami, a wejście do nich prowadziło poprzez izbę mieszkalną [3, s. 42]. Liczba komór była równa liczbie pomieszczeń do stałego przebywania ludzi. Pomieszczenia magazynowe nie posiadały żadnych otworów okiennych w ścianie północnej, aby chłód nie przedostawał się do wnętrza domu. Jedynie niewielkie okno w ścianie wschodniej dla komory przy izbie białej oraz nieznacznych rozmiarów otwór okienny w ścianie zachodniej dla komory przy izbie czarnej służyły do wentylacji pomieszczenia. Warto zwrócić uwagę, że dom podhalański posiadał niewielkie perforacje w ścianach szczytowych, a więc od strony wschodniej i zachodniej, trochę większe otwory od strony południowej oraz tylko jedne drzwi techniczne w ścianie północnej.

Opisany układ otworów okiennych i drzwiowych maksymalnie zmniejszał straty ciepła w domu i jednocześnie zapewniał wystarczające doświetlenie pomieszczeniom

użytkowym. Wysokość komory z reguły była niższa od wysokości izby mieszkalnej. Dzięki temu można było przykryć całe domostwo dachem zazwyczaj dwuspadowym, symetrycznym o jednakowym spadku. Jeżeli wysokość pomieszczenia magazynowego osiągała wysokość izby, wówczas połączyć dach często musiała zostać przełamana [3, s. 57]. Z reguły mniejsza komora powodowała mniejsze straty ciepła, gdyż było to pomieszczenie nieogrzewane, pełniące również rolę buforu pomiędzy ogrzewaną izbą mieszkalną, a zewnętrzną północną ścianą budynku, która była najzimniejsza.

Ogromną zaletą domów podhalańskich była możliwość przenoszenia ich z miejsca na miejsce. Faktem jest, że rodzeństwo, dzielące się spadkiem po rodzicach, często rozdzielało pomiędzy siebie domostwo i przenosiło jego część w różne regiony Podhala. Przeniesienie domu wymagało jedynie rozebrania części dachu i podzielenia budynku, gdyż ściany izb były spójne ze sobą jedynie kołkiem znajdującym się nad sienią. Konstrukcja drewniana domu podhalańskiego umożliwiała również wymianę uszkodzonego elementu w wypadku zawilgocenia bądź starości. Budynek mieszkalny dało się podnieść w łatwy sposób w celu podmurowania bądź wymiany dowolnego fragmentu konstrukcji. Dom podhalański nie był traktowany jako obiekt na stałe związany z gruntem. Jego elastyczność przejawiała się w dzieleniu, przewożeniu, podnoszeniu czy rozszerzaniu [3, s. 65].



Rys. 5. Schemat zabudowań W. Michny na Furmanowej, oprac. własne na podstawie [3]

Domom podhalańskim z reguły towarzyszyły budynki gospodarskie. Natomiast poza ich podstawowym zadaniem, a więc stworzeniem schronienia dla zwierząt gospodarskich oraz pomieszczeniami magazynowymi, miały one dodatkową zaletę – były sytuowane w odpowiednich relacjach względem domostwa, tak aby osłonić je przed nadmiernym oddziaływaniem bardzo silnych wiatrów występujących na obszarze Podhala (rys. 5). Budynki gospodarskie budowano z reguły z zachodniej, północnej i czasami z południowej strony domu. Dzięki takiemu usytuowaniu tworzyły one z domem zamknięty plac – osłonięty od podmuchów wiatru.

#### 1.6. PODSUMOWANIE

W domu podhalańskim można dostrzec, choć w niedosłowny sposób, system przemyślanego tworzenia współczesnego domu energooszczędnego. Niemal każdy element budynku mieszkalnego był zaplanowany już na etapie powstawania. Wyboru materiałów dokonywano ze względu na izolacyjność, trwałość, łatwy transport i przede wszystkim dostępność, co skutkowało z reguły wyborem lokalnego budulca. Układ konstrukcyjny pozwalał na możliwie jak największą ilość dobudowywania i przebudowywania pomieszczeń w zależności od potrzeb. Istniała również możliwość przenoszenia całych domów. Układ pomieszczeń był bardzo przemyślany. Wynikał on z trybu życia mieszkańców podporządkowanego zmieniającym się porom roku i obrzędowi kulturowym. Warto zwrócić uwagę na bardzo dużą liczbę rozwiązań budowlanych, które miały za zadanie w jak największym stopniu zminimalizować straty ciepła w szczególności w okresie zimowym oraz nadmierne przegrzewanie się domu w okresie letnim. Dom podhalański, jak i towarzyszące mu budynki, tworzyły ze sobą jedną współgrającą całość, ograniczając niekorzystne oddziaływania silnych wiatrów zachodnich, które występowały na obszarze Podhala.

Na podstawie artykułu można wnioskować, że rozwiązania pasywne i energooszczędne są wynikiem logicznego myślenia oraz obserwowania i analizowania czynników klimatycznych i przyrodniczych. Podlegają one jednocześnie udoskonalaniu dzięki przekazywanym z pokolenia na pokolenia doświadczeniom. Również współczesne strategie pasywne można określić jako etap w ewolucji problematyki architektury energooszczędnej. Artykuł dowodzi, że w architekturze podhalańskiej na przełomie XVIII i XIX wieku, występowały rozwiązania pasywne i energooszczędne, niestety nie znalazły one jak dotąd odzwierciedlenia we współczesnej architekturze Podhala.

#### LITERATURA

- [1] BUSZKO H.B., *Architektura współczesna ziem górskich*, [w:] *Teka architektury współczesnej ziem górskich*, pod red. T.P. Szafera, SEZ.ON, Kraków 1996, 15–16.
- [2] KRAM D., *Drewno naturalnym surowcem współczesnego budownictwa*, *Czasopismo Techniczne Architektura*, 2011, z. 11, z. 2A-1, 123–131.

- [3] MATLAKOWSKI W., *Budownictwo ludowe na Podhalu*, Akademia Umiejętności w Krakowie, Kraków 1892.
- [4] PANEK A., RUCIŃSKA J., *Analiza godzinowego algorytmu obliczania rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynku*, Czasopismo Techniczne Architektura, 2009, z. 5, z. 1-B, 191–198.
- [5] TRUSKA K., *O architekturze drewnianej*, <http://beskid-makowski.pl/muwit/pdf/sad0902.pdf>, Dostęp 12.07.2013.
- [6] TRUSKA K., *Słowo o konstrukcjach*, <http://beskid-makowski.pl/muwit/pdf/sad0901.pdf>, Dostęp 12.07.2013.
- [7] *Wernakularna architektura*, <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo.php?id=3994881>, Dostęp 20.08.2013.
- [8] ZIN W., *Rozważania o korzeniach architektury góralskiej*, [w:] *Teka architektury współczesnej ziem górskich*, pod red. T.P. Szafera, SEZ.ON, Kraków 1996, 10–12.

#### PODHALAŃSKI HOUSES AS A MANIFESTATION OF ENERGY-EFFICIENT

The subject of article is influence of climatic and cultural factors on architectural form of residential buildings built in XVIII and XIX century on Podhale area. The article shows model of podhalanski houses, which came into being as a result of centuries of evolution. These were expertly accomplished objects, mostly done in wooden log construction. Handed down from generation to generation developed and improved functional diagram, methods of wood preparation and joining quoins, walls, foundations and roofs. Model type of house has become a “prefabricated product” in its perfectly functional and logical form, compact shape, carefully selected proportions and profitable economy of heat. Due to its construction it could have been readapted and converted. The analysis of functioning rules will help to answer the question – were there any passive solutions in podhalanski houses?

## ROZDZIAŁ XXIV

# WZORCE TRADYCYJNE W PROCESIE POSZUKIWAŃ ROZWIĄZAŃ NISKOENERGETYCZNEJ ZABUDOWY SZEREGOWEJ I WOLNOSTOJĄCEJ

Cezary CZEMPLIK\*

Artykuł prezentuje spostrzeżenia dotyczące tradycyjnych wzorów zabudowy szeregowej na przykładzie osady w Biskupinie oraz nieświadomego powrotu starych wzorców w formule obecnego budownictwa deweloperskiego. Nakreślono alternatywne przykłady budownictwa tradycyjnego terenów Puszczy Pyzdrowskiej w poszukiwaniu systemów konstrukcyjnych o naturalnych właściwościach regulacji wilgoci w przegrodach i pomieszczeniach mieszkalnych. Na tej podstawie sporządzono obliczeniowy model badawczy, który posłużył do analizy jednego z aspektów energochłonności budynku: akumulacji ciepła przez ściany dla naturalnych systemów dociepleń wewnętrznych.

Przetawione sugestie wskazują na dalszą, konieczną analizę porównawczą z uwzględnieniem dystrybucji wilgoci. Nieodzowna jest likwidacja ograniczeń wynikających z norm obliczeniowych i dostępności programów oraz trudności w zastosowaniu zmodyfikowanych tradycyjnych rozwiązań, które nie są oparte o wprowadzone na rynek materiały budowlane.

Słowa kluczowe: *budownictwo tradycyjne, tynki gliniane, ocieplenia wewnętrzne, model energetyczny, zabudowa szeregowa, szachulec*

### 1. WSTĘP

W krajobrazie polskim jeszcze do niedawna można było zaobserwować wiele przykładów konstrukcji budowlanych: sumikowo-łatkowej, zrębowej, szachulcowej bądź z ziemi ubijanej. Były to typowe rozwiązania architektoniczne, uwarunkowane miejscem, otoczeniem przyrodniczym, kręgiem kulturowym. Budynki te adaptowano do całorocznego cyklu i codziennego funkcjonowania. Ściany wykonywane były z materiałów pozyskiwanych w najbliższej okolicy siedliska (drewno, glina, kamień, ruda darniowa, trzcina, słoma) w technologiach, które wypracowywano i udoskonalano w określonych warunkach geograficzno-kulturowych przez wiele pokoleń [1].

---

\* Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań, e-mail: cczemplik@gmail.com

Powszechnie znane są przykłady tradycyjnego regionalnego budownictwa góralskiego (konstrukcja zrębowa), czy szachulcowego (Pomorze, zachodnia Polska). Jednak i inne regiony miały swoją specyfikę. Między innymi można było zaobserwować dużą różnorodność form konstrukcji ścian na obszarze południowo-wschodniej Wielkopolski tzw. Puszczy Pyzdrowskiej. Początków struktur osadniczych można poszukiwać w XVIII-wiecznym osadnictwie na prawie olęderskim<sup>1</sup>.

Obecnie problem kształtowania współczesnej zabudowy, opartej na tradycji w takich rejonach polega w głównej mierze na braku umiejętności korzystania z form regionalnych (proporcje, skala zabudowy, elewacje z użyciem materiału miejscowego). Zauważalny jest także brak kompetencji (przygotowania, fachowości, zdolności) w dostosowaniu parametrów fizycznych ścian tradycyjnych do wymagań izolacji współczesnych przegród budowlanych.

Artykuł przedstawia wybrany zakres tej problematyki ze świadomą interpretacją kontekstu architektury tradycyjnej, podając przykłady urbanistyczne, konstrukcyjne i problemów w ocenie charakterystyki cieplno-wilgotnościowej przegród z materiałów naturalnych.

## 2. KONTEKST TRADYCJI BUDOWLANYCH

Współczesne standardy kształtowania zabudowy mieszkaniowej-jednorodzinnej oparte są na systemie deweloperskim, którego główną funkcją jest zasada redukcji kosztów przy jednoczesnym zachowaniu minimum funkcjonalności (przestrzeń do spania, przygotowania posiłku, relaksu i spotkań rodzinnych). Obserwując sposób zabudowy w najstarszym na ziemiach polskich osiedlu Biskupin, trudno nie oprzeć się porównaniom z niektórymi realizowanymi współcześnie zespołami zabudowy jednorodzinnej. Prezentowane poniżej przykłady pokazują, iż postęp we współczesnym budownictwie często ogranicza się do technologii, nie zważając na poprawę warunków bytowych i klimatu wewnątrz mieszkań.

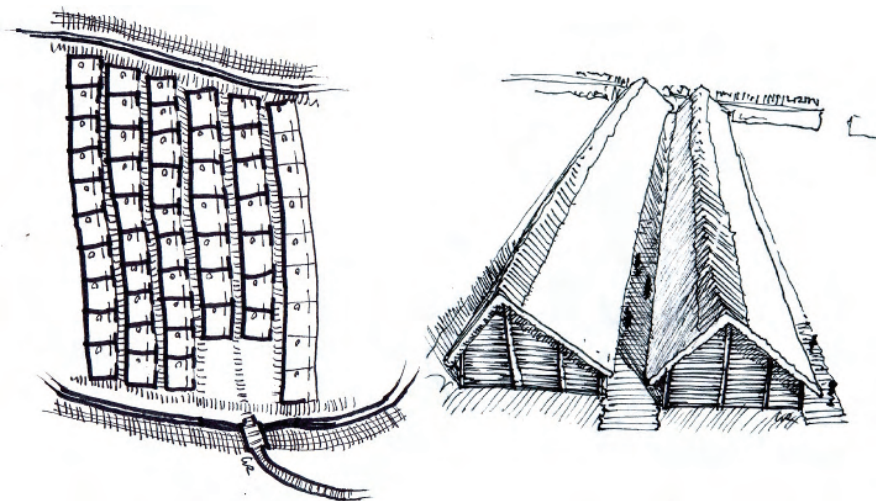
### 2.1. BISKUPIN JAKO ARCHETYP ZABUDOWY SZEREGOWEJ

Schemat zabudowy urbanistycznej grodu biskupińskiego wskazuje na podstawowy cel osiedla – bezpieczeństwo wspólnoty, przy zapewnieniu minimalnych, solidarnych warunków do rozwoju jednostki społecznej, jaką jest i była w przeszłości rodzina. W Biskupinie znaleziono pozostałości chat o układzie jednej izby z paleniskiem, z sienią oraz przedsionkiem [3]. Domostwa składały się z jednoprzestrzennej izby

---

<sup>1</sup> Zagrody indywidualne, wśród pól uprawnych, często na terenach podmokłych, które zostały zmierziorowane i dostosowane do zamieszkania i gospodarki rolnej.

z miejscem na przygotowanie posiłków, dwóch wydzielonych pomieszczeń w przyziemiu i ówczesnej formy antresoli nad nimi. Pomieszczenia te mogły pełnić zamienne funkcje sypialni, spiżarni, magazynu, warsztatu pracy w zależności od wielkości rodziny i jej specjalności.



Rys. 1. Wycinek z planu oraz widok osady w Biskupinie, oprac. własne na podstawie [10, 11]

## 2.2. TECHNIKI BUDOWLANE

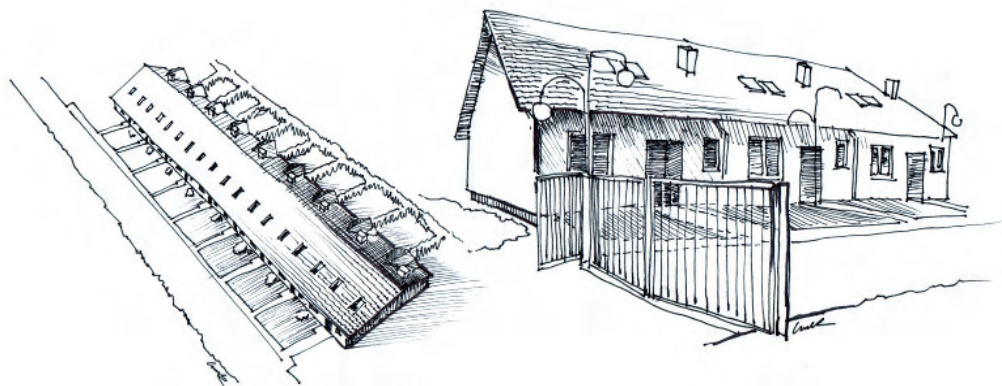
W ówczesnej zabudowie Biskupina zawodowi cieśle działali według ustalonych zasad i powtarzalnej formy. Zastosowane drewno było łatwe w obróbce i przygotowaniu poszczególnych elementów konstrukcji. Doskonale potrafili tak dopasować poszczególne części budowli, by dalszy etap jej stawiania przebiegał sprawnie i szybko. Budowa polegała na składaniu i dopasowywaniu poszczególnych belek konstrukcyjnych, tworzących szkielet budowli, a następnie wypełnianiu ścian [3]. Niedoskonałości oraz miejsca nieszczelności, w których odczuwalny przeciąg mógł powodować choroby, zalepiano już wtedy mieszanką gliny, słomy i trocin. W budynku, tak jak i dzisiaj, stosowano podstawową (jak na ówczesne standardy) wentylację. Był to otwór w dachu, który dziś zastępuje wentylacja z odzyskiem ciepła.

Biorąc pod uwagę wykorzystanie wewnętrznych zysków ciepłych (przygotowanie pożywienia), dopuszczalne obniżenia temperatur oraz spalanie surowców odnawialnych (drewno, gałęzie), budynki te spełniałyby wymogi zużycia energii pierwotnej w obecnych standardach. Zużycie tej techniki cieplnej było zerowe, gdyż ówcześni mieszkańcy na potrzeby domostwa do celów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody używali głównie biomasy.



### 2.3. WSPÓLczesNE PRZYKŁADY

Twórcy przedstawionych rozwiązań w budownictwie deweloperskim zapewne nie zdawali sobie sprawy z podobieństw do archetypu zabudowy łużyckiej. Uzasadnieniem tego podobieństwa jest ograniczenie kosztów oraz regresja walorów urbanistyczno-architektonicznych. Ten drastyczny przykład unifikacji rozwiązań użytkowych pozwala deweloperom na kierowanie swojej oferty do ściśle określonej grupy odbiorców o zbliżonych możliwościach finansowych.



Rys. 2. Osiedle Sosnowe w Dębnicy Kaszubskiej – współczesne domy deweloperskie w zabudowie szeregowej w okolicy Słupska, oprac. własne na podstawie [11]

### 2.4. ZABUDOWA TRADYCYJNA PUSZCZY PYZDRSKIEJ

Alternatywą dla współczesnych systemów zabudowy komercyjnej, budowanych często poza ośrodkami miejskimi (osiedla deweloperskie „w polu”) może być powrót do istniejących, tradycyjnych, często opuszczonych zabudowań (rys. 3).

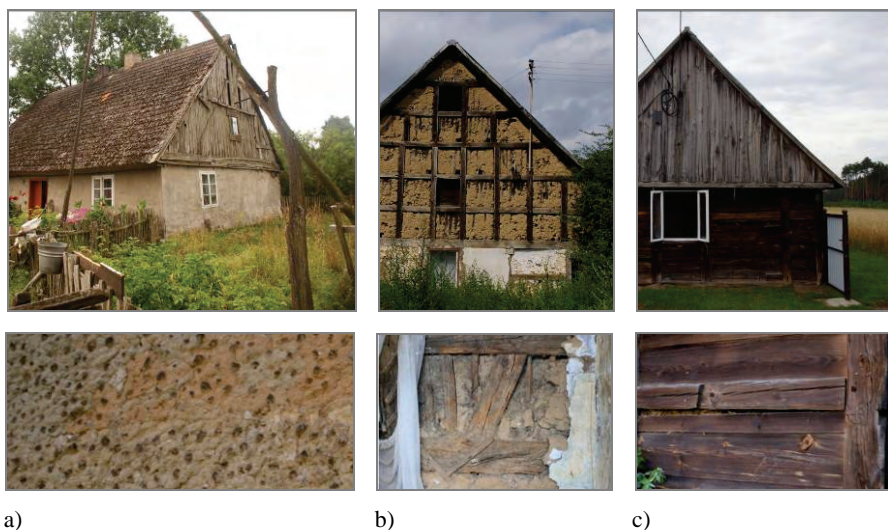
W regionie Puszczy Pyzdrskiej w ramach pracy Towarzystwa Kulturalnego – Echo Pyzdr [2], odnaleziono około 45 budynków w zabudowie wiosek oraz wolnostojących na zasadach ołędzskich. Najczęściej spotykano układy tradycyjnych domów wiejskich z centralnym korytarzem i przyległym piecem z kuchnią oraz czterema izbami. Różnią się one powierzchnią mieszkalną i magazynową oraz technologią wznoszenia dostosowaną do kubatury budynku. Region obfituje w pozostałości technologii charakterystycznych dla nizinnych obszarów Polski. Poniżej zostaną opisane trzy najczęściej spotykane technologie na przykładzie zachowanych budynków.

Znalezione we Wrąbczyńskich Holendrach (rys. 3a), przykłady ścian z ziemi gliniastej (gr. 25–50 cm), pierwotnie wykończone były zewnętrznie i wewnętrznie tynkiem glinianym (gr. 1–3 cm) z domieszką wapna i substancji organicznych, malowane farbą wapienną z dodatkami klejącymi, najprawdopodobniej kazeiny, uzyskiwanej

z krowiego mleka. W wielu miejscach pomimo braku konserwacji zarówno tynki, jak i zbrojony kamieniami podkład przetrwały ponad 100 lat.

Na przykładzie ścian w konstrukcji szachulcowej (gr. 20–30 cm) zachowanych w budynku we wsi Ciemierów Kolonia (rys. 3b) możemy zauważyć prawidłowość: tynki zewnętrzne bez konserwacji ulegają szybszej degradacji. Spowodowane jest to brakiem użytkowania obiektów: dostarczania wilgoci w okresie letnim i osuszania ogrzewaniem zimą, oraz zaniechaniem napraw drobnych uszkodzeń. Procesy te są także zauważalne w skansenach, gdzie w polach pomiędzy konstrukcją często pojawiają się przerwy, a tynki zewnętrzne muszą podlegać stałej konserwacji.

W najlepszym stanie technicznym w regionie są obiekty w konstrukcji sumikowo-łątkowej (gr. 6–18 cm) użytkowane do dnia dzisiejszego. Za przykład można podać budynek mieszkalny we wsi Glinianki (rys. 3c), wykończony pierwotnie od wewnątrz tynkami glinianymi (gr. 3–5 cm), z farbą wapienną. Warstwa tynku glinianego pełni tu rolę tarczy, która utrzymuje budynek i jego stropy. Niestety obiekty te remontowane są obecnie materiałami na bazie gipsów i mas szpachlowych na bazie cementu, które nie przepuszczają wilgoci i powodować będą zapewne dalsze czasowe zawilgocenia i rozsychanie drewnianych elementów konstrukcyjnych.



Rys. 3. Przykłady zabudowy z ziemi Pyzdrowskiej: a) Dom z ziemi gliniastej ubijanej, fot. D. Majewski, b) Dom w konstrukcji szachulcowej, fot. C. Czemplik, c) Dom sumikowo-łątkowy, fot. M. Kicińska

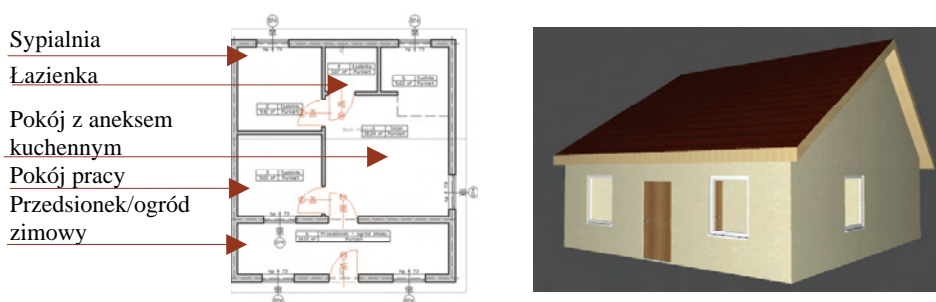
Na podstawie przedstawionych wybranych przykładów oraz innych zabudowań ziemi Pyzdrowskiej, możemy zauważyć, iż obiekty wykonane jako ściany z jednolitego materiału lub też posiadające ciągłość warstw: elewacje z drewna, tynki z gliny, cechują się większą trwałością i odpornością na brak użytkowania i konserwacji, przy zapewnieniu podstawowej ochrony na czynniki atmosferyczne [1].

### 3. MODEL BADAWCZY

Dla potrzeb unifikacji i porównań tradycyjnych i stosowanych na rynku systemów konstrukcyjnych, opracowano w ramach wstępnych badań, model zabudowy szeregowej zapewniający minimum socjalne dla 3–4 osobowej rodziny. Rozwiązanie to jest zbliżone do przytoczonych wcześniej przykładów zabudowy deweloperskiej. Model ten jest podstawą do dalszych rozważań nad charakterystyką cieplno-wilgotnościową rozwiązań opartych na systemach szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem budowy ścian zewnętrznych i ich wpływu na pojemność cieplną budynku oraz zużycie energii do celów ogrzewania.

#### 3.1. OPIS MODELU

Celem badania jest sprawdzenie możliwości zastosowania rozwiązań tradycyjnych w budynkach energooszczędnych. Badany model budynku (rys. 4), o powierzchni użytkowej części mieszkalnej (58,7 m<sup>2</sup>, o temperaturze ok. 20 °C), mieszczącej: salon z aneksem kuchennym, łazienkę, pokój do pracy, sypialnie na parterze i antresoli oraz przedsiónek (o powierzchni 18,8 m<sup>2</sup> i temperaturze wynikowej ok. 11 °C), wymodelowany został w standardzie niskoenergetycznym spełniającym wymagania NF40<sup>2</sup>. Przyjęto lokalizację w III strefy klimatycznej, w okolicach miejscowości Pyzdry<sup>3</sup>. Dla obliczeń energii pierwotnej wraz z zapotrzebowaniem ciepłej wody, przyjęto ogrzewanie



Rys. 4. Model wykonany w programie Inter-soft Arcadia-Architektura, oprac. własne

gazowym kotłem kondensacyjnym z 50% udziałem energii słonecznej dla c.w.u. We wszystkich przedstawionych przypadkach przyjęto identyczne sprawności instalacji

<sup>2</sup> Standard NF40 dotyczy ilości maksymalnego zużycia energii końcowej  $EK < 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$  dla potrzeb ogrzewania budynku [4].

<sup>3</sup> Koncepcję uzupełniono o przyległą strefę nieogrzewaną w funkcji wiatrolapu, ogrodu zimowego. W rozważaniach celowo pominięto aspekty urbanistyczne i architektoniczne ograniczając się do technologii i eksploatacji.

i wentylacji – 85% sprawności odzysku ciepła z rekuperacji (wyjątek przykład P.2 – standard NF15 90% odzysku). Przyjęte powierzchnie pomieszczeń gwarantują minimum socjalne dla podstawowej jednostki rodzinnej. Projekt funkcjonalny może być zaadaptowany do budownictwa socjalnego o niskich kosztach budowy i eksploatacji. Została wykonana wstępna analiza modelu w różnych typologiach urbanistycznych: P.0.1 – budynek wolnostojący, P.0.2 – budynek szeregowy szczytowy, P.0.3 – budynek szeregowy, segment wewnętrzny. Przyjęto referencyjną technologię: ściany z pustaków ceramicznych drażonych ocieplanych styropianem, ze stropem krokwiowym ocieplonym wełną mineralną, wykończonych wewnętrznie tynkami gipsowymi.

Jako punkt wyjścia do dalszych rozważań modelowych (tabela 2) przyjęto referencyjny wariant P.0.2. W kolejnych przykładach skupiono się na wpływie różnych konstrukcji ścian zewnętrznych na akumulacyjność i straty energetyczne budynku w sezonie grzewczym. W przykładach P.1, P.2, P.3 przeanalizowano obecne konstrukcje szkieletowe rynkowych rozwiązań nawiązujących do architektury regionalnej w standardach niskoenergetycznych. Przykład P.4.1 – tradycyjna konstrukcja szachulcowa stanowi punkt wyjścia do poszukiwań rozwiązań dociepleń wewnętrznych analizowanych w różnych wariantach: przykłady P.4.2–P.4.5. Dla porównania przedstawiono także konstrukcje z balotów słomianych (gr. 45 cm) z tynkami wewnętrznymi glinianymi (gr. 4 cm) i zewnętrznymi wapiennymi.

Tabela 1. Zużycie energii dla budynku z materiałów rynkowych, oprac. własne

Przykład	Typ budynku i rozwiązań technicznych NF40 $U_c$ ściany = 0.15 W/(m <sup>2</sup> K)	Pojemność cieplna budynku J/K	Stała czasowa h	Roczne jednostkowe zapotrzeb. na energię końcową do ogrzewania kWh/(m <sup>2</sup> rok) (zmiana %)	Roczne jednostkowe zapotrzeb. na nieodnawialną energię pierwotną i c.w.u. kWh/(m <sup>2</sup> rok) (zmiana)	Zapotrzeb. na moc cieplną do ogrzewania kW (zmiana % w stosunku do P.0.2)
P.0.1	Budynek wolnostojący – NF40	30764366	207,5	38,82 (123%)	85,69 (110%)	1565 (111%)
P.0.2	Budynek szeregowy szczytowy – NF40	30764366	233,5	31,67 (100%)	77,83 (100%)	1404 (100%)
P.0.3	Budynek szeregowy wewnętrzny – NF40	30764366	260,7	24,98 (79%)	70,47 (91%)	1246 (89%)

### 3.2. PRZYKŁAD Z WYKORZYSTANIEM KONSTRUKCJI CIĘŻKIEGO PREFABRYKATU DREWNIANEGO

Przedstawione rozwiązanie (przykład P.1.) jest charakterystyczne dla prefabrykowanych domów w technologii szkieletowej, często wzmocnionej konstrukcją stalową.

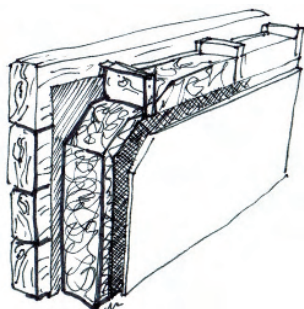
Wysoka izolacyjność osiągana jest dzięki dociepleniu konstrukcji szkieletowej wypełnionej wełną mineralną od wewnątrz styropianem. W niektórych rozwiązaniach brak jest membran przeciwwilgociowych. W przypadku szkieletów drewnianych mała sztywność konstrukcji, oraz duża ilość połączeń umożliwia penetrację wilgoci do wewnątrz przegrody. Poprawa właściwości dla tych ścian odbywa się poprzez regulację grubości i klasy materiałów izolacyjnych<sup>4</sup>.

Budynki wykonane w tej technologii prefabrykowanej posiadają zazwyczaj małą pojemność cieplną ze względu na zastosowanie cienkich warstw wykończeniowych z płyt G-K. Obliczeniowa różnica pojemności cieplnej wynosi 28%, w stosunku do budynku referencyjnego, jest mało znacząca, ze względu na duży udział w pojemności cieplnej posadzek cementowych (gr. 4–6 cm).

### 3.3. PRZYKŁAD KONSTRUKCJI ZRĘBOWEJ LUB SUMIKOWO-LĄTKOWEJ DOCIEPLONYCH WEŁNĄ MINERALNĄ

Unowocześniona konstrukcja domu zrębowego (przykład P.2.) z cienkich bali grubości 10 cm wywodzi się z budownictwa tradycyjnego<sup>5</sup> i została dostosowana do funkcji całorocznej poprzez docieplenie wewnętrzne na podkonstrukcji drewnianej. W przedstawionym przykładzie konieczne jest zastosowanie wewnętrznej izolacji przeciwwilgociowej ze względu na ryzyko wykroplenia wody w przegrodzie.

Rozwiązanie to (rys. 5) powoduje utracenie pierwotnych właściwości przegrody, która nie posiadała barier w przenikaniu, akumulacji i oddawaniu wilgoci. Zdolności do akumulacji wilgoci zostały ograniczone do warstwy 4 cm wykończenia wewnętrznego drewnem.



Przekrój ściany w kolejności od wewnątrz:

1. Płyta gipsowo-kartonowa lub imitacja bali
2. Paroizolacja
3. Wełna skalna 150 mm między krawędziakami 150/50 mm
4. Wiatroizolacja
5. Pustka powietrzna 24 mm
6. Bale drewniane 96 mm

Rys. 5. Przykład P.3 – przekrój konstrukcji zrębowej, oprac. własne na podstawie [13]

<sup>4</sup> W podobnym rozwiązaniu: Przykład P.2 – Budynek w systemie Ultra-Hermo-Mega-Wand, Wolf System. Cena brutto domu za 1 m<sup>2</sup> pow. użytkowej dla ściany Ultra w ofercie domów szkieletowych wynosi ok. 1900 zł/m<sup>2</sup> bez systemów rekuperacji [14].

<sup>5</sup> Obecnie często spotykana w budynkach sezonowych i letniskowych.

W przypadku utrzymujących się dłuższych okresów wysokiej wilgotności w pomieszczeniu lub w jego krytycznych strefach (narożniki, mostki cieplne), prowadzi to może do rozwoju grzybów i pleśni na materiale organicznym. Dlatego też budynki te zwyczajowo konserwuje się farbami, które zmieniają naturalny produkt, jakim jest drewno w magazyn chemicznych związków, które z czasem utleniają się do wnętrza pomieszczeń.

Precyzyjne zastosowanie w warunkach budowlanych rozwiązań z membraną może być trudne do weryfikacji. Powstałe błędy wykonawcze dla izolacji wewnętrznych mają dla budownictwa tradycyjnego z użyciem gliny i drewna dużo poważniejsze skutki: zawilgocenie, rozwój pleśni i grzybów, niszczenie elementów konstrukcyjnych przez zamrażanie zakumulowanej wilgoci.

### 3.4. PRZYKŁAD DOMU WZNIESIONEGO W TECHNOLOGII SZACHULCOWEJ

Budownictwo szachulcowe<sup>6</sup>, charakterystyczne dla zachodniej i północnej części obecnego obszaru Polski, łączy tradycyjne techniki ciesielskie, murarskie i wykończeniowe. Zastosowanie dostępnych, różnorodnych materiałów doprowadziło do opracowania modelu budownictwa, w którym wszelkie odpady budowlane można użyć ponownie np. drobne elementy drewniane jako wykończenia ścian szczytowych, odpadki ze słomy jako sieczkę, uszkodzone cegły gliniane jako masy tynkarskie. Pozwoliło to na uzyskanie ówczesnego optimum masy cieplnej, izolacyjności budynku i wentylacji.

Obecnie zastosowanie technologii jako ściany jednowarstwowej-szachulcowej (przykład P.4.1) bez zmian izolacyjności przegrody nie jest zgodne z WT 2013 [9]. Nawet przy zastosowaniu innych rozwiązań ograniczających straty ciepła budynek nie spełnia wymagania  $EP = 166,97 > EP_{\max} = 113,89 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ .

W przypadku izolowania istniejących budynków tradycyjnych: szachulcowych, oraz drewnianych możliwe są do zastosowania izolacje wewnętrzne na bazie wełny drzewnej, mat słomianych, czy konopnych. Rozwiązania te ograniczają powierzchnie użytkową i nawet w przypadku zastosowania współczesnych materiałów takich jak wełna drzewna o  $\lambda = 0,042 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  zalecana grubość izolacji [13] ograniczona jest do 6 cm ( $U_{c \text{ ściany}} = 0,42 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ). W rozwiązaniach tych nie stosuje się warstw przeciwilgociowych od strony wewnętrznej, umożliwiając zwiększone przenikanie wilgoci do wnętrza w okresie zimowym i odparowanie jej w sezonie ciepłym. Pozwala to na zachowanie optymalnych warunków wilgotnościowych konstrukcji drewnianej, umożliwia odprowadzenia nadmiaru wilgoci, oraz zapewnia porównywalny zakres regulacji wilgotności przez gliniane tynki wewnętrzne (przykład P.4.2).

---

<sup>6</sup> Obecne pozostałości od XVII wieku do połowy XX wieku, konstrukcja drewniana wypełniana strychulcami słomianymi, cegłą suszoną lekką (słoma na spoiwie glinianym), gliną zbrojoną wikliną lub cegłą wypalaną (tzw. mur pruski).

Tabela 2. Zużycie energii dla poszczególnych wariantów, opracowanie własne

Przykład	Rodzaj konstrukcji NF40 $U_{c\text{ ściany}}$ = 0.15 W/(m <sup>2</sup> K) NF15 $U_{c\text{ ściany}}$ = 0.1 W/(m <sup>2</sup> K)	Pojemność ciepła budynku J/K (zmiana % w stosunku do P.0.2)	Stała czasowa h	Roczne jednostkowe zapotrzeb. na energię kończącą do ogrzewania kWh/(m <sup>2</sup> rok) (zmiana %)	Sumaryczne roczne jednostkowe zapotrzeb. na nieodnawialną energię pierwotną kWh/(m <sup>2</sup> rok)	Zapotrzebowa nie na moc cieplną szczytową kW (zmiana % w stosunku do P.0.2)
P. 0.2	styropian/porotherm/ tynki gipsowe – NF40	30764366 (100%)	233,5	31,67 (100%)	77,83	1404 (100%)
P. 1	szkielet wełna m./wew. styropian/g-k gips	22242457 (72%)	167,2	31,79 (100%)	77,96	1404 (100%)
P. 2	szkielet wełna m./wew. styropian/g-k gips – NF15	22257709 (72%)	239,4	14,37 (45%)	58,79	982 (70%)
P. 3	drewno zręb 12 cm/ wełna m./OSB deski – NF40	29458113 (96%)	221,4	31,68 (100%)	77,84	1404 (100%)
P. 4.1	szachulec/cegły gliniane lekkie/tynk gliniany $U_{c\text{ ściany}}$ = 0.82 W/m <sup>2</sup> K	31185690 (101%)	104,8	112,71 (356%)	166,97	3140 (224%)
P. 4.2	szachulec/ cegły gliniane lekkie/wełn. drzewna 6 cm/tynk gliniany $U_{c\text{ ściany}}$ = 0.42 W/m <sup>2</sup> K	30039527 (98%)	167,4	53,67 (169%)	102,03	1894 (135%)
P. 4.3	szachulec/sztrychulce słomiane/wełn. drzew. 6 cm/tynk gliniany $U_{c\text{ ściany}}$ = 0.27 W/m <sup>2</sup> K	30039527 (98%)	194,7	41,57 (131%)	88,72	1628 (116%)
P. 4.4	szachulec/sztrychulce słomiane/wełn. drzew. 20 cm/tynk gliniany – NF40	31107504 (101%)	233,8	31,66 (100%)	77,82	1404 (100%)
P. 4.5	szachulec/ sztrychu-lce słomiane/ wełn. drzewna 20 cm/ tynk gliniany wilg. 58%	31470727	236,9	31,57 (100%)	77,71	1402 (100%)
P. 5	tynk wapienny +gliniany/słomo- bela/tynk gliniany – NF40	30543615	228,7	31,89 (101%)	78,09	1440 (103%)

Dalsze zwiększanie grubości izolacyjności w stosunku do zalecanych przez producenta systemu 6 cm (przykład P.4.3), poprawiłoby parametry izolacyjności ściany: dla 12 cm dodatkowej izolacji osiągamy standard WT 2012 ( $U_{c\text{ ściany}} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), dla 20 cm (przykład P.4.4), osiągamy standard NF40 ( $U_{c\text{ ściany}} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

W powyższych przypadkach należy jednak szczegółowo zanalizować istniejące materiały zastosowane w przegrodzie pod względem parametrów oporu i akumulacji wilgoci, dopasowując bariery wilgotnościowe nowych warstw do zastosowanych wcześniej powłok i materiałów wypełniających ścianę.

Wprowadzone niedawno do budownictwa płyty z wełny drzewnej, czy wełna mineralna, często nie posiadają wystarczającego oporu wilgotnościowego i przy zastosowaniu zbyt cienkiej warstwy tynków naturalnych akumulują wilgoć i pozwalają na transport jej do wewnętrznej warstwy przegrody. Zasadą pozwalającą spełnić wymagania normy PN-EN ISO 13778<sup>7</sup> jest zaprojektowanie nowych warstw o większym oporze wilgotnościowym, w stosunku do warstwy istniejącej. Możliwe jest także stosowanie membran lub warstw tynków ograniczających przenikanie wilgoci do przegrody. Wracamy jednak tym samym do rozwiązań, w których wymiana wilgoci w przegrodzie zostaje ograniczona.

#### 4. SPOSTRZEŻENIA

Obecne normatywne, dostępne metody obliczeniowe nie są dostosowane do weryfikacji zastosowania przegród o niskich oporach wilgotnościowych. Nie uwzględniają one zdolności materiałów do aktywnej akumulacji i dystrybucji wilgoci zarówno na zewnątrz, do wewnątrz przegrody jak i z powrotem do użytkowego pomieszczenia. Słaba popularyzacja, niewielka ilość polskich badań szczegółowych i niska dostępność metod obliczeniowych analizujących przyrost wilgoci w cyklu rocznym ograniczają stosowanie materiałów naturalnych. Obliczenia wykonywane metodą normy PN-EN ISO 13778 [5] predestynują rozwiązania oparte na wysoce szczelnych membranach i farbach ograniczających wymianę wilgoci. Wskazują także na przewagę polistyrenów i polipropylenów jako materiałów izolacyjnych i przeciwwilgociowych nad wełnami drzewnymi, czy mineralnymi. Obliczenia przyjmują stan idealny materiałów: suchych, niezawilgoconych, o stałych parametrach izolacyjności cieplnej i wilgotnościowej, bez wpływu połączeń z innymi materiałami, bez uwzględnienia błędów wykonawczych.

Nowe systemy do obliczeń termiczno-wilgotnościowych np. WUFI<sup>8</sup> [6] pozwalają na symulację zachowania przegrody w cyklu rocznym. Pozwalają także przewidzieć wpływ różnorodnych powłok na zachowanie przegrody umożliwiając projektantom na dużo bardziej świadome działania. Trudno natomiast na podstawie wyliczeń, określić wpływ przegrody na klimat wewnętrzny pomieszczeń i budynku w całości.

---

<sup>7</sup> Stawiającej wymagania wobec przegród m.in. dotyczących izolacyjności i ochrony przed wykropleniem wody w przegrodzie [5].

<sup>8</sup> Z języka niemieckiego: Wärme Und Feuchte Instationär – Nieustalony przepływ wilgoci i ciepła.



W przypadku uwzględnienia w obliczeniach zawartości wilgoci dla tynku glinianego na poziomie 55% – przykład P.5, na podstawie obliczeń normatywnych, możemy stwierdzić, iż wpływ nie jest znaczący. Ale czy jest tak w rzeczywistości? Osoby które użytkują tradycyjne, oraz współczesne domy z tynkami glinianymi i wapiennymi niejednokrotnie wskazują na odczuwalne ciepło w zimie i chłód w lecie. A przecież porównując pojemność cieplną budynków szachulcowych ze standardowymi, nie uważamy znaczącej różnicy (przykład P.0 i P.4.).

W opracowaniach historycznych, możemy znaleźć wiele przykładów przepisów na dodatki i skład mieszanek tynków glinianych i ścian ubijanych, naturalne preparaty do konserwacji drewna i rozwiązania detali zapewniające odporność na wodę i zawilgocenia<sup>9</sup> [7]. Wpływ zastosowanych dodatków na proces budowlany i trwałość jest wciąż mało przebadany. Być może obecnie mamy ostatnią okazję i możliwości sprawdzenia, które z tych rozwiązań są trwałe i skuteczne, bazując na istniejących przykładach w powiązaniu z współczesnymi technologiami.

W chwili obecnej trwają prace nad Ustawą o Wyrobach Budowlanych [8], w której zakres stosowania materiałów indywidualnych ograniczono wyłącznie to technologii nie opartych o zharmonizowane normy europejskie. Dostępne w Polsce normy dotyczące budownictwa z gliny [15, 16, 17, 18, 19, 20] zostały zdezaktualizowane. Województwo Wielkopolskie nie posiada także żadnych zgłoszonych technologii, ani wyrobów regionalnych dotyczących tradycyjnego budownictwa. Istnieje zatem realne niebezpieczeństwo, iż rozwiązania tradycyjne, oparte o dostępne w lokalnym środowisku materiały zostaną zapomniane, a możliwość ich dostosowania do współczesnych wymogów zostanie ograniczona.

## 5. PODSUMOWANIE

Zarówno w Wielkopolsce, jak i Dolnym Śląsku architektura regionalna stanowi o charakterze i tożsamości regionu.

Świadome wykorzystanie technologii naturalnych, może nie tylko ograniczyć zużycie energii w trakcie eksploatacji, lecz także zmniejszyć ilość energii wbudowanej w etapy pozyskiwania materiałów, budowy oraz utylizacji i wtórnego wykorzystania elementów budynku. Waga, oraz proporcje energii wbudowanej, będą miały tym większy udział im mniejsze będzie zużycie energii w trakcie jego eksploatacji. Warto zatem w pierwszej kolejności adaptować stare naturalne budynki i technologie, chroniąc często wartości krajobrazowe, których wartość nie da się rachunkowo wyliczyć.

---

<sup>9</sup> Szczegółową bibliografię na temat budownictwa z użyciem gliny najdziemy w pracach J. Szewczyka [7].

## LITERATURA

- [1] BAREK R., *Puszcza Pyzdrska – wzornik zabudowy*, maszynopis przygotowany do druku, Wydawnictwo Naukowe Politechniki Poznańskiej, 2013.
- [2] KOWALSKI W., KOWALSKI P., *Puszcza Pyzdrska. Olęderskie dziedzictwo*, praca zbiorowa, Stowarzyszenie „Mecenat” w partnerstwie z TK „Echo Pyzdr” Wydanie I, 2010.
- [3] Muzeum Osady Biskupin, [http://www.biskupin.pl/asp/pl\\_start.asp?typ=13&sub=298&sub\\_sub=0&menu=28&artykul=15&akcja=artykul](http://www.biskupin.pl/asp/pl_start.asp?typ=13&sub=298&sub_sub=0&menu=28&artykul=15&akcja=artykul). Dostęp 20.07.2013.
- [4] Narodowy Fundusz Ochrony Wody i Środowiska, <http://www.nfosigw.gov.pl/srodki-krajowe/doplata-do-kredytow/doplata-do-kredytow-na-domy-energooszczedne/wytyczne-do-programu-priorytetu/>. Dostęp 20.07.2013.
- [5] PN-EN ISO 13778 *Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynków. Określanie temperatury powierzchni wewnętrznej w celu uniknięcia krytycznej temperatury powierzchni i kondensacja międzywarstwowa*.
- [6] RADON J., *Opracowanie i walidacja modelu obliczeniowego mikroklimatu pomieszczeń w ramach projektu „IEA ANNEX 41”*, [w:] *Fizyka budowlania w teorii i praktyce*, Instytut fizyki budowlania, Katarzyna i Piotr Klemm S.C., 2005, T. 1, 281–289.
- [7] SZEWCZYK J., *Diagnoza aktualnego stanu wiedzy na temat zastosowania gliny jako materiału budowlanego i wykorzystywanego jako tynk*, raport w proj. Naturalne Tynkowanie i Wzornictwo, partnerstwo Vernum, FAL, AgroGroup, Wędrowni Architekci, Poznań 2012.
- [8] Ustawa z dnia 13 czerwca 2013 r. o zmianie ustawy o wyrobach budowlanych oraz ustawy o systemie oceny zgodności. Dz.U. 2013 poz. 898.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (wraz z późniejszymi zmianami).
- [10] <http://www.muzarp.poznan.pl/zewnetrzne/arena/Biskupin/plan.html>. Dostęp 20.07.2013.
- [11] <http://www.youtube.com/watch?v=e6DKocqn1E8>. Dostęp 20.07.2013.
- [12] <http://slupsk.olx.pl/osiedle-sosnowe-debnica-kaszubska-domy-jednorodzinne-w-zabudowie-szerego-wej-pod-lasem-iid-98697497>. Dostęp 20.07.2013.
- [13] *katalog Claytec* :[http://www.btmjurkiewicz.pl/pliki/www.btmjurkiewicz.pl-izolacje\\_wewnetrzne.pdf](http://www.btmjurkiewicz.pl/pliki/www.btmjurkiewicz.pl-izolacje_wewnetrzne.pdf) Dostęp 20.07.2013.
- [14] <http://www.wolfsystem.pl/>. Dostęp 20.07.2013.
- [15] PN-65/B-14501 *Zaprawy budowlane cementowo-gliniane*.
- [16] BN-62/9012-01 *Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami*.
- [17] BN-62/6738-02 *Budownictwo z gliny – masy gliniane*.
- [18] BN-62/6749-02 *Pustaki cementowo-gliniane; dymowe, spalinowe, wentylacyjne*.
- [19] BN-62/6738-01 *Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami*.
- [20] BN-62/8841-04 *Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej – Warunki techniczne wykonania i odbioru*.

TRADITIONAL PATTERNS IN RESEARCH  
OF LOW ENERGY TERRACED AND DETACHED BUILDINGS

The article presents the author's insight into the traditional design. The paper also discusses the phenomenon of subconsciously applying these traditional patterns in modern real estate development. Alternative examples of traditional architecture present in the Pyzdry Forest are analyzed, with the aim to define construction systems that naturally facilitate moisture regulation in walls and

rooms. The author presents a computational model based on the systems investigated. The model serves for the analysis of energy consumption in a building, namely: heat accumulation in the walls in interior insulation systems. The conclusions point out the necessity of further research including moisture distribution, constraints of current building standards, as well as the availability of computing programs. Presented proposals are necessary for further analysis. They should take into consideration: the distribution of moisture, the constraints of computing standards and the availability of programs and the difficulties in applying the modified of traditional solutions which are not based on building materials market.

## ROZDZIAŁ XXV

# ENERGETYCZNY AUDYT MIEJSKI. MIEJSKIE SYSTEMY PREDYKCJI ZUŻYCIA ENERGII

Marta SKIBA\*

W artykule opisano wskaźniki i jednostki wykorzystywane w badaniach zużycia energii w budynkach. Odniesiono się także do parametrów charakterystyki energetycznej budynków, którą zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej należy wprowadzić do polskiego prawa (najlepiej: miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego) oraz przedstawiono modele predykcji zużycia energii umożliwiające zarządzanie miastem, oparte na idei oszczędności energii i podnoszenia efektywności energetycznej.

Duża część zasobów budowlanych jest w złym stanie technicznym i niskim standardzie mieszkaniowym, co paradoksalnie może stanowić okazję na poprawę stanu istniejącego i tym samym bilansu energetycznego miasta. Przeszkodą dla tych zmian jest brak zapisów planistycznych stanowiących prawo lokalne kształtujące architekturę, także energooszczędną.

Słowa kluczowe: *wskaźniki, efektywność energetyczna, urbanistyka, energooszczędność*

### 1. WPROWADZENIE

Na świecie, w Europie, a także w Polsce wykorzystanie energii szybko rośnie, powodując obawy o trudności zaopatrzeniowe, wyczerpanie się nieodnawialnych zasobów energetycznych i wzrost negatywnego oddziaływania na środowisko.

Udział miast w globalnym zużyciu energii także stale rośnie. Nic nie wskazuje na to, że zmiany nastąpią, gdyż wzrost populacji, rosnący popyt na usługi budowlane i stałe podnoszenie poziomu komfortu, wraz ze wzrostem czasu spędzanego w budynkach, zapewni dalszy trend wzrostowy zapotrzebowania na energię w przyszłości. Globalny udział zużycia energii przez budynki zarówno mieszkalne, jak i komercyjne, wzrósł osiągając ostatnio poziom pomiędzy 20% a 40% w krajach rozwiniętych [8]. Z tego powodu, ograniczenie zużycia energii cieplnej, elektrycznej i gazowej oraz wzrost wydajności urządzeń w budynkach jest dziś głównym celem polityki energe-

---

\* Katedra Architektury i Urbanistyki, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra.

tycznej na poziomie regionalnym, krajowym i międzynarodowym. Cel ten powinien też znaleźć swoje odzwierciedlenie w polityce lokalnej określającej ramy działań inwestycyjnych ustalane w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego.

### 1.1. STYMULACJA ROZWOJU NISKOENERGETYCZNEGO

Profesor Wade, znawca polityki rozwojowej i przemysłowej uważa, że tylko polityka państwa może sprzyjać ukierunkowanemu rozwojowi gospodarki [16, 17]. Wolnorynkowa polityka państwa nie daje gwarancji podjęcia inwestycji badawczych, które sprzyjają rozwojowi najnowszych technologii. Z przedstawionych przez niego badań wynika, że gdy polityka rządu nie ma żadnych preferencji co do kierunku badań, przedsiębiorstwa uzyskujące dotacje państwowe wykonują pracę, którą same by sfinansowały. Bardziej racjonalna jest metoda stosowana w Azji i Ameryce polegająca na tym, że rząd finansuje badania strategiczne w wybranych obszarach (sięgające w odległą przyszłość, obciążone dużym ryzykiem i nie gwarantujące spodziewanych, pozytywnych efektów) [16, 17].

Polityczne lub ekonomiczne próby wprowadzenia zmian klimatycznych poprzez wzrost cen paliw kopalnych powodują wykluczenia i wzrost ubóstwa energetycznego, czyli skutki socjalne (paliwa kopalne stają się tak drogie, że dużej części społeczeństwa nie stać na ich używanie). Jedynie wzrost ilości badań, może przyczynić się do tego by – energia odnawialna była tania [14]. Należy zatem spodziewać się, że do ustawy z dnia 15 kwietnia 2011 roku, o efektywności energetycznej (Dz.U. 2011 nr 94 poz. 551), dołączą rozporządzenia wykonawcze. Zwłaszcza, że określony w art. 4. cel wyznaczający do 2016 roku oszczędność energii końcowej, nie mniejszą niż 9% średniego krajowego zużycia tej energii w ciągu roku, miasta i gminy będą musiały zrealizować [20].

Zapotrzebowanie na energię w obecnych modelach prognozowania można przyrównać do modelu ekonomicznego, który uwzględnia wielkość PKB (Produkt Krajowy Brutto), liczba ludności i wielkość przemysłu oraz koszt ochrony środowiska [1, 2, 7, 13]. Przewiduje się długoterminowe trendy zapotrzebowania na energię elektryczną w skali kraju, które są podstawą kształtowania lokalnej polityki energetycznej. W tym samym czasie na poziomie lokalnym prognozuje się wielkość popytu na energię, w zależności od sposobu dostarczania energii do budynku, urządzeń ogrzewających i chłodzących, uwzględniając takie czynniki, jak klimat, stan techniczny budynku i jego właściwości fizyczne oraz standard związany z urządzeniami, w które jest wyposażony. Dostawcy energii dla określenia zapotrzebowania na media, coraz częściej budują modele prognozujące, używając np. sztucznych sieci neuronowych. Rzadko stosuje się jednak symulację zużycia energii wspomagającą optymalizację zarządzania miast.

Zapotrzebowanie na energię na poziomie miejskim zależy od lokalnych uwarunkowań, takich jak klimat i położenie geograficzne, funkcje przeważające w mieście, energochłonność substancji budowlanej oraz źródła i sposoby dostawy energii. Stosunkowo niewiele jest w literaturze opisanych badań dotyczących zapotrzebowania na

energię na poziomie miejskim [2, 4, 5, 6, 9, 13]. Władze niektórych miast zachodnioeuropejskich dostrzegły korzyści wynikające z polityki przestrzennej i transportowej ukierunkowanej na oszczędność wody, przestrzeni i zużycia energii [11, 12]. Natomiast w polskich miastach, często podejmując inwestycje, nie zwraca się uwagi na ich konsekwencje przestrzenne i koszty, także energetyczne w przyszłości [3, 15, 18].

## 2. BADANIA ENERGOCHŁONNOŚCI BUDYNKÓW

Badania energochłonności budynków przeprowadzono w latach 2010 i 2011 w ramach zadań badawczych NCBiR pt. „Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie” oraz pt. „Warunki i możliwości oszczędzania energii za pomocą instrumentów polityki miejskiej”. W wyniku tych prac powstał model Energetycznego Audytu Miejskiego (EAM) [21]. EAM dla miast Zielona Góra i Lublin przygotowano jako narzędzie umożliwiające prowadzenie polityki energetycznej przez zarząd gminy zgodnie z art. 19, ust. 1, 2 i 3 ustawy Prawo energetyczne (Dz.U. z 2006 r. Nr 89, poz. 625 z późn. zm. – „*Wójt (burmistrz, prezydent miasta) opracowuje projekt założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe*” [19].

### 2.1. ZAŁOŻENIA BADAWCZE I METODA

Do badań wytypowano budynki reprezentatywne dla struktury urbanistycznej Zielonej Góry, przedstawiające zaobserwowane korelacje pomiędzy przyjętymi parametrami krytycznymi: wiek, technologia, źródło zasilania, stan techniczny i własnościowy, pełniona funkcja. Przyjęto do badań budynki, tzw. rekomendowane przez zarządców, od których otrzymano dane dotyczące stanu eksploatacyjnego. Celem badań było określenie wpływu i rozkładu parametrów energetycznych i ekonomicznych na jednostkę przestrzenną w mieście. Zebrany materiał badawczy pozwolił zidentyfikować różnice w energochłonności budynków z rozróżnieniem ich funkcji, technologii, czasu wykonania i stanu technicznego. Dodatkowo podzielono obszar miasta na strefy energetyczne ustalone w zależności od przeważającego sposobu ogrzewania budynków. Przeanalizowano warunki i możliwość wzrostu efektywności energetycznej budynków reprezentatywnych zaakceptowaną przez ich mieszkańców na podstawie audytów energetycznych. Pytanie badawcze dotyczyło kosztów obniżenia zużycia energii o 1 kWh/(m<sup>2</sup>rok) w Zielonej Górze. Zestaw badań objął także badania ankietowe<sup>1</sup>, które umożliwiły ustalenie zapotrzebowania na energię dla całych stref zabudowy.

---

<sup>1</sup> Dotyczyły one ceny, rodzaju i zużycia energii pierwotnej i końcowej potrzebnej do ogrzewania i chłodzenia budynku, przygotowania ciepłej wody użytkowej, w przeliczeniu na 1 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej. Pytania ankiet odnosiły się do pełnionej przez budynki funkcji (mieszkalna, przemysłowa, usługowa), rodzaju zabudowy, stanu technicznego i jego wieku oraz sposobu wznoszenia (tradycyjny lub prefabrykowany).

W uzupełnieniu zebranego materiału ankietowego, wykonano badania zużycia energii na podstawie audytów energetycznych budynków. Dzięki wykonanym analizom oszacowano zużycie energii na potrzeby mieszkaniowe w Zielonej Górze<sup>2</sup>.

Biorąc pod uwagę brak możliwości wykorzystania informacji zawartych w obowiązujących dla miasta Zielona Góra dokumentach planistycznych na potrzeby audytu wykorzystano informacje zgromadzone w rejestrze ewidencji gruntów i budynków miasta oraz w warstwie budynków z mapy zasadniczej Zielonej Góry.

Na potrzeby audytu funkcje powyższe zostały pogrupowane w następujący sposób:

- 1) do grupy budynków o funkcji mieszkalnej zaliczono budynki mieszkalne i mieszkalno-usługowe;
- 2) do grupy budynków o funkcji produkcyjnej zaliczono budynki produkcji i usług, przemysłowe i magazynowe, gospodarcze;
- 3) do grupy budynków o funkcji usługowej zaliczono budynki biurowe, handlowo-usługowe, oświaty, nauki i kultury, szpitale i zakłady opieki medycznej.

Budynki inne niemieszkalne i budynki gospodarcze zostały pominięte w klasyfikacji na potrzeby audytu. Informacje wygenerowane z mapy zasadniczej, dotyczące m<sup>2</sup> powierzchni zabudowy poszczególnych budynków pomnożone zostały przez ilość ich kondygnacji. Uzyskany wynik został zsumowany dla terenów osiedli wyszczególnionych na potrzeby audytu.

Do analizy wybrano kilkadziesiąt budynków wybudowanych w różnych okresach. Ponad 20% budynków wybudowano przed rokiem 1945. W okresie 1945–1970 wybudowanych zostało 13% budynków, blisko połowa, tj. 46% analizowanych budynków powstała w latach 1970–1995, a 21% wzniesiono w latach 1995–2008. 23 budynki pełniły funkcję mieszkalną, 6 – funkcję mieszkalno-usługową, 7 – funkcję usługową, a 4 – inną [21].

## 2.2. WNIOSKI Z BADAŃ

Wyniki EAM w Zielonej Górze umożliwiły predykcję nakładów na modernizację zabudowy zmniejszającą zużycie energii w budynkach. Poniżej przedstawiono przykład szacunkowych wyliczeń dla Osiedla Batorego w Zielonej Górze (tab. 1). Osiedle to wybudowane zostało w większości w latach 1993–2008, w technologii prefabrykowanej [21].

---

<sup>2</sup> Do oszacowania ilości m<sup>2</sup> powierzchni mieszkalnej posłużyły dane zawarte w miejskim systemie GIS (Geographic Information System). Podział na funkcje budynków w zasobach geodezyjnych nie obejmuje informacji dotyczącej klasyfikacji budynków na budynki ogrzewane i nieogrzewane. Dane miejskiego systemu rejestru i ewidencji budynków nie są zbieżne z danymi statystycznymi z GUS (Główny Urząd Statystyczny) dotyczącymi powierzchni mieszkań i budynków. Dane GUS podają powierzchnię użytkową mieszkań (Pz-netto) i dane są deklaratywne, natomiast dane dotyczące powierzchni mieszkaniowej uzyskane z analizy mapy zasadniczej i rejestru ewidencji budynków dotyczą powierzchni całkowitej (Pz-brutto) podawanej w wyniku inwentaryzacji. Dlatego też dostępne dane z GIS i GUS dla powierzchni zabudowy miasta są nieporównywalne, a różnice sięgają kilkuset procent.

Tabela 1. Zestawienie liczby i powierzchni użytkowej budynków w m<sup>2</sup> na Osiedlu Stefana Batorego w Zielonej Górze, oprac. własne na podstawie [21]

Funkcja	Ilość bud.	Powierzchnia użytkowa w m <sup>2</sup>	Szacunkowe zużycie energii końcowej
usługowa	87	49 706,1	252 kWh/(m <sup>2</sup> rok)
mieszkalna	117	64 340,0	268 kWh/(m <sup>2</sup> rok)

Oszacowano, że energii cieplnej, elektrycznej i ze źródeł gazowych wszystkie budynki mieszkalne na Osiedlu Batorego zużyły w 2010 roku, łącznie ok. 62,3 TJ, co stanowi ok. 4% sprzedaży energii cieplnej przez Elektrociepłownię w Zielonej Górze EC (wg danych z 2010 roku). Po termomodernizacji wszystkich budynków mieszkalnych możliwe do osiągnięcia oszczędności energetyczne byłyby rzędu 55,7 TJ, co odpowiadałoby 0,5% energii sprzedanej przez EC w 2010 roku. Gdyby jednak budynki modernizować w celu osiągnięcia parametrów budynków niskoenergetycznych, które zużywają energię na poziomie 70 kWh/(m<sup>2</sup>rok), można by uzyskać oszczędność rzędu 3% rocznej sprzedaży energii cieplnej przez EC.

Koszt remontu termomodernizacyjnego budynków o zapotrzebowaniu na energię cieplną  $E_k$  70 kWh/(m<sup>2</sup>rok) (oszacowano na podstawie audytów i ich kosztorysów) to ok. 750,4 zł/m<sup>2</sup>. Do obliczeń przyjęto stawki, które uwzględniają już koszty dodatkowe, tj. dokumentację projektową i nadzór oraz roboty budowlane dodatkowe. Jeśli przyjąć średnią wielkość mieszkania na rodzinę, zgodnie z danymi GUS (dane dla Zielonej Góry na 2010 rok – średnia powierzchnia mieszkania zajmowana przez 1 osobę wynosi ok. 25 m<sup>2</sup>), można założyć, że koszt modernizacji przypadający na rodzinę, która zajmuje mieszkanie: M2, M3, M4 wyniósłby od 37 do 75 tys. zł (tab. 2).

Tabela 2. Szacunkowy koszt doprowadzenia mieszkań na osiedlu Stefana Batorego do standardu niskoenergetycznego, oprac. własne na podstawie [21]

Ilość mieszkańców	Powierzchnia użytkowa w m <sup>2</sup>	Koszt szacunkowy w zł
M2	50	37 520,
M3	75	56 280,
M4	100	75 040,

Potencjał uzyskanych bądź planowanych oszczędności przedstawiono na podstawie danych audytowych i ich kosztorysów dla wybranych budynków reprezentatywnych dla struktury urbanistycznej Zielonej Góry (tab. 3–6).



Tabela 3. Zestawienie ilościowego i jakościowego rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla wybranych budynków wybudowanych przed 1945 w technologii tradycyjnej, oprac. własne na podstawie [21, s. 101]

Budynki mieszkalne i mieszkalno-użytkowe wybudowane przed 1945					
Zestawienie zużycia energii przed i po termomodernizacji	Jednostka	Przed	Po	Różnica	Potencjał uzyskanych, bądź planowanych oszczędności
		modernizacji standard	standard		
Energia końcowa EK	kWh/(m <sup>2</sup> rok)	435	262	173	40%

Tabela 4. Zestawienie ilościowego i jakościowego rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla wybranych budynków wybudowanych latach 1945–1970 w technologii tradycyjnej, oprac. własne na podstawie [21, s. 101]

Budynki mieszkalne wybudowane w latach 1945–1970					
Zestawienie zużycia energii przy termomodernizacji	Jednostka	Przed	Po	Różnica	Potencjał uzyskanych, bądź planowanych oszczędności
		modernizacji standard	standard		
Energia końcowa EK	kWh/(m <sup>2</sup> rok)	325	240	85	26%

Tabela 5. Zestawienie ilościowego i jakościowego rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla wybranych budynków wybudowanych w latach 1970–1995, oprac. własne na podstawie [21, s. 101]

Budynki mieszkalne wybudowane w latach 1970-1995					
Zestawienie zużycia energii przy termomodernizacji standard	Jednostka	Przed	Po	Różnica	Potencjał uzyskanych, bądź planowanych oszczędności
		modernizacji standard	standard		
Energia końcowa EK	kWh/(m <sup>2</sup> rok)	296	219	77	26%

Tabela 6. Zestawienie ilościowego i jakościowego rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla wybranych budynków wybudowanych w latach 1995–2008, oprac. własne na podstawie [21, s. 102]

Budynki mieszkalne wybudowane w latach 1995–2008					
Zestawienie zużycia energii przy termomodernizacji standard	Jednostka	Przed	Po	Różnica	Potencjał uzyskanych, bądź planowanych oszczędności
		modernizacji standard	standard		
Energia końcowa EK	kWh/(m <sup>2</sup> rok)	268	241	27	10%

Największy potencjał oszczędności dla standardowych działań termomodernizacyjnych można uzyskać dla budynków najstarszych, wybudowanych przed 1945 rokiem – ok. 40%. Jest to zrozumiałe, ponieważ zakres termicznej modernizacji jest dla tych budynków największy. Najmniejszy potencjał stwierdzono dla budynków najmłodszych, które realizowane były później, co oznacza, że jakość energetyczna tych budynków była większa już na etapie projektowania. Wyniki przeprowadzonego EAM umożliwiają rozpoznanie i uporządkowanie obszarów pod względem oszacowanego potencjału oszczędności energii oraz zaproponowanych kierunków działań. Celem jest inicjowanie i wsparcie przedsięwzięć inwestycyjnych służących poprawie efektywności energetycznej w najbardziej energochłonnych elementach miejskiego systemu urbanistycznego. Decyzje o efektywnym wykorzystaniu energii zostaną podjęte na bazie rzetelnych danych wynikających z przeprowadzonych na miejscu audytów [21].

### 3. WSPIERANIE ENERGOOSZCZĘDNOŚCI W MIEŚCIE

Unia Europejska w swoich dyrektywach przyjęła rozszerzone wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (OZE), jako środek osiągnięcia poprawy bezpieczeństwa energetycznego, zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i poprawienia konkurencyjności gospodarek europejskich. Ponieważ jednak na rynku energii szybki rozwój OZE nie nastąpił, powstały różne mechanizmy wsparcia jego rozwoju. Doświadczenia wielu krajów w Europie wskazują, które mechanizmy wsparcia bardziej odpowiadają lokalnemu rynkowi, i które dostarczają większe i szybsze korzyści przy niższych kosztach. Władze publiczne pragnące zminimalizować koszty dla wsparcia OZE, wybierają najczęściej certyfikaty, których cena jest ustalana przez rynek. Przyjęcie systemu zachęt dla innowacji wprowadzanych przez inwestorów, w których korzyści są większe niż ryzyko, doprowadziło do imponującego wzrostu gospodarczego, szczególnie w Danii, Niemczech i Hiszpanii [12]. Taki system może być mniej skuteczny w krajach, w których ryzyko czasochłonnych procesów prawnych i niepewność inwestorów powoduje spowolnienie w inwestycjach [7] czyli między innymi u nas.

Polska stoi przed koniecznością dostosowywania polityki rozwoju do wymagań Unii Europejskiej w zakresie zmniejszenia produkcji gazów cieplarnianych, głównie przez zmniejszenie eksploatacyjnego zapotrzebowania na ciepło, energię elektryczną, paliwa gazowe (Dyrektywa 2009/29/WE). Powinno więc nastąpić: zmniejszenie energochłonności budynków, rozwój komunikacji pojazdami elektrycznymi, masowe zastosowanie energooszczędnych urządzeń oraz kompleksowe finansowanie usprawnień dla wszystkich mieszkańców [26, 27, 28].

W Polsce niezbędne jest wypracowanie całościowego modelu oszczędności energii. I tak np. w kontekście budynków, prawo budowlane, które nakłada obowiązek uzyskiwania świadectw energetycznych dla sprzedawanych budynków, jest nieprecyzyjne. Przepisy nie uzależniają podpisania umów najmu lub sprzedaży od przedstawienia świadectwa charakterystyki energetycznej. Także władze miast dają zły przykład pomagając sobie wpisami do hipoteki, gdzie zainteresowany jedynie akceptuje brak świadectwa.

Głównym podmiotem odpowiedzialnym za monitorowanie procesów ograniczenia zapotrzebowania na energię są samorządy miejskie i gminne. Poprawa bilansu energetycznego budynków, osiedli i miast pozwoli na dotrzymanie polskich zobowiązań wobec UE i polskiego prawodawstwa [19, 20]. Istnieje konieczność interwencji publicznej (dofinansowań, zwolnień z podatku, itp.) zachęcającej do racjonalnego wykorzystania energii w gospodarstwach domowych. Środki te generują tzw. efekt lewarowy w postaci poprawy istniejącej substancji budowlanej.

#### 4. MIEJSKIE SYSTEMY MONITORINGU I PREDYKCJI ZUŻYCIA ENERGII

Wiele programów komputerowych wykorzystywanych przy wspomaganiu zarządzania energią w mieście proponuje prognozowanie zapotrzebowania i zużycia energii<sup>3</sup> [9, 10, 13]. W celu predykcji zużycia energii tworzy się bazy danych informacji przestrzennych o obiektach, prowadzi statystyki zużycia energii oraz zwiększa dokładność metod obliczeniowych.

Jeden z systemów prognozowania zapotrzebowania na energię został zbudowany, przez zespół naukowców z Korei Południowej – „EnerISS Solver”. Jest on zautomatyzowanym narzędziem biorącym pod uwagę bazę danych przestrzennych środowiska naturalnego oraz symulację zużycia energii. Ten system pozwala na dokładne prognozowanie popytu, klasyfikowanie miejskich obiektów według charakterystyki zużycia energii, predykcję zapotrzebowania na energię uzależnioną od miejskiego klimatu, warunków domowych lub komercyjnych [9]. Aby jednak można go było stosować należy mieć wiedzę o funkcjonowaniu systemu energetycznego w mieście, monitorować zużycie energii i promować te inwestycje oszczędzające energię, które przynoszą największy zysk w najkrótszym czasie. Podobnie w modelu Ecosystem Portfolio Model (EPM) [13].

Inny południowo koreański projekt – U-Eco City, umożliwia monitoring i wizualizację zagregowanego zużycia energii w czasie rzeczywistym (poprzez Google Earth i Google Maps) umożliwia przestrzenne śledzenie zużycia energii [10].

Jednym z najkorzystniejszych momentów na poprawę efektywności energetycznej budynków jest etap ich modernizacji. Zostało to wykorzystane przez Zespół Asadi'ego, który stworzył metodykę optymalizacji w oparciu o połączenie programu symulacji przepływu energii i optymalizacji z uwzględnieniem Dyrektywy EPBD [1].

Obecnie, sposób wyłaniania optymalnego rozwiązania przy podejmowaniu decyzji jest niezwykle trudny i czasochłonny. Zastosowanie modelowania w postaci ewolucyjnych algorytmów wielokryterialnych może się okazać konieczne w miejskich systemach monitoringu [1].

EAM dla miasta Zielona Góra jest dokumentem umożliwiającym całościowe zarządzanie i monitorowanie energetyczne miasta, opartym na danych przestrzennych pochodzących z Urzędu Miasta Zielona Góra. Warto byłoby stworzyć dynamiczny (odzwierciedlający zmiany w czasie rzeczywistym) system monitoringu i predykcji zużycia energii, oparty na danych GIS, ułatwiający podejmowanie optymalnych decyzji dotyczących efektywności energetycznej miasta.

---

<sup>3</sup> Z uwagi na klimat, sezon, dzienne i dobowe zużycie, energochłonność budynków, straty przesyłu, sprawność urządzeń, gęstość i intensywność zabudowy, liczbę mieszkańców itp.

## 5. WNIOSKI

Brakuje, dynamicznego systemu, który integrowałby informacje o zużyciu energii w oparciu o informację przestrzenną.

Miasta polskie nie uzyskały jeszcze stopnia urbanizacji porównywalnego z zachodnimi krajami europejskimi, zatem można założyć, że ilość ludności zamieszkała w miastach będzie się zwiększać. Zmiany te mogą być korzystne dla miast polskich, w których duża część zasobów mieszkaniowych jest w złym stanie technicznym i o niskim standardzie, ponieważ każda nowa inwestycja stanowi szansę na poprawę stanu istniejącego i tym samym bilansu energetycznego miasta. Instrumentem polityki miejskiej w tym zakresie może stać się Energetyczny Audyt Miejski (EAM). Opracowanie to zawiera zarówno zbiór informacji, jak i wytyczne dojścia do poprawy bilansu na poziomie miasta i gminy.

## LITERATURA

- [1] ASADI E., DA SILVA M., ANTUNES C., DIAS L., *A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB*, Building and Environment 56, 2012, 370–378.
- [2] BALARAS C., DROUTSA K., DASCALAKI E., KONTOYIANNIDIS S., *Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings*, Energy and Buildings 37, Elsevier 2005, 429–442.
- [3] BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA A., SKIBA M., *Tożsamość miasta pod presją gospodarki rynkowej na przykładzie Zielonej Góry*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Architektura i Urbanistyka, 2011, 57–64.
- [4] BOURDIC L., SALAT S., *Building energy models and assessment systems at the district and city scale: a review*, Building Research and Information 40(4), Taylor & Francis 2012, 518–526.
- [5] BOURDIC L., SALAT S., NOWACKI C., *Assessing cities: a new system of cross-scale spatial indicators*, Building Research and Information 40(5), Taylor & Francis 2012, 592–605.
- [6] FABBRI K., ZUPPIROLI M., AMBROGIO K., *Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools*, Energy and Buildings 48, Elsevier 2012, 137–145.
- [7] FOUQUET D., JOHANSSON TH., *European renewable energy policy at crossroads – Focus on electricity support mechanisms*, Energy Policy 36, 2008 Elsevier, 4079–4092.
- [8] HARRIS N., *Discretion and expediency in the enforcement of planning controls*, The Town Planning Review Vol. 81, No. 6, Centenary Volume: Town Planning Review 1910–2010, Liverpool University Press 2010, 675–700.
- [9] YEO I., YOON S., YEE J., *Development of an urban energy demand forecasting system to support environmentally friendly urban planning*, Applied Energy 110, Elsevier, 2013, 304–317.
- [10] KIM S., SHIN D., CHO E., SEIBERT TH., WALZ S., *Integrated energy monitoring and visualization system for Smart Green City development. Designing a spatial information integrated energy monitoring model in the context of massive data management on a web based platform*, Automation in Construction 22, Elsevier, 2012, 51–59.
- [11] KOPIETZ-UNGER J., *Założenia planowania przestrzennego na rzecz ochrony klimatu i oszczędności energii*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2010.

- [12] KRENZ A., *Analiza wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie duńskim*, Przegląd Budowlany, nr 5/2011, 68–73.
- [13] LABIOSA W., FORNEY W., ESNARD A., MITSOVA-BONEVA D., BERNKNOPF R., HEARN P., HOGAN D., PEARLSTINE L., STRONG D., GLADWIN H., SWAIN E., *An integrated multi-criteria scenario evaluation web tool for participatory land-use planning in urbanized areas: The Ecosystem Portfolio Model*, Environmental Modeling & Software 41, Elsevier, 2013, 210–222.
- [14] LOMBORG B., *Cloud control*, New Statesman, 11/23/2009, Vol. 138, 34–37.
- [15] SKIBA M., *Możliwość wdrożenia instrumentami polityki miejskiej celu krajowego efektywności energetycznej*, Przegląd budowlany, nr 12/2011, 65–68.
- [16] WADE R., *How can low-income countries accelerate their catch up with high-income countries?* [in:] Noman, Akbar and Botchwey, Kwesi and Stein, Howard and Stiglitz, Joseph E., (eds.) *Good growth and governance in Africa: rethinking development strategies*, Oxford University Press, 2011 New York, USA, 246–272.
- [17] WADE R., *Income inequality: should we worry about global trends*, European Journal of Development Research, 23 (4), 2011, 513–520.
- [18] ZIOBROWSKI Z., *Urbanistyczne wymiary miast*, Instytut Rozwoju Miast, Kraków 2012.
- [19] *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo Energetyczne* (Dz.U. Z 2012 poz. 1059 • brzmienie od 25 września 2012).
- [20] *Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej* (Dz.U. 2011 nr 94 poz. 551).
- [21] *Energetyczny Audyt Miejski dla miasta Zielona Góra*, Zadanie badawcze nr 1: Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie. Umowa Nr SP/B/1/91454/10, NCBiR 2010, Zielona Góra 2011.
- [22] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcie, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią.
- [23] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.

#### URBAN ENERGY AUDIT. URBAN ENERGY SYSTEMS PREDICTION

The article describes the indicators and units used in the research of energy consumption in buildings. It also refers to the parameterization of buildings in planning documents, and presents different functional systems and models which enable city management based on the idea of saving energy and improving energy efficiency. A large number of housing assets are in bad technical condition and offer a low standard, which strangely enough can be a chance, because every potential investment can be an opportunity to improve the current condition and at the same time the energy balance of the city. The lack of a coherent planning code constituting local regulations in terms of architecture, also energy efficient architecture, is an obstacle.

## ROZDZIAŁ XXVI

# URBANISTYCZNY WYMIAR ARCHITEKTURY ENERGOOSZCZĘDNEJ

Marta SKIBA\*

Związek pomiędzy zużyciem energii i poziomem cywilizacji został zauważony już dość dawno. W początku XX wieku powstała koncepcja łączenia przepływu energii z rozwojem obszarów miejskich. Dla rozwoju obecnego modelu ekosystemu miejskiego konieczne jest ustalenie zależności między przepływem energii, strukturą urbanistyczną a rozwojem miasta.

Częścią procesu planowania budynków i osiedli jest wymiarowanie przestrzeni zurbanizowanej, które ułatwia społeczną, gospodarczą oraz funkcjonalną kontrolę wprowadzanych zmian w zagospodarowaniu przestrzennym. Zgodnie z obecnie preferowanym kierunkiem legislacji, zmiany wprowadzane w zagospodarowaniu przestrzennym powinny przyczyniać się także do powstawania architektury energooszczędnej.

Słowa kluczowe: *wskaźniki, efektywność energetyczna, urbanistyka, energooszczędność*

### 1. WPROWADZENIE

Miasto nie jest dziełem przypadku, lecz systemem zależnym od uwarunkowań środowiska przyrodniczego, społecznego, ekonomicznego i technologicznego [15]. Istnieje potrzeba fizycznego pomiaru i określenia optymalnych odległości oraz rozmiarów elementów struktury urbanistycznej, ponieważ forma i relacje między nimi są istotne. Wymiarowanie przestrzeni nie jest zjawiskiem nowym i tak jak w średniowieczu wielkość miasta limitowały mury obronne, tak teraz wymogiem powinna być optymalizacja zawartości zabudowy, systemu transportowego i poprawy jakości funkcjonowania społecznego i ekonomicznego. W obecnie preferowanym kierunku legislacji, wymiarowanie urbanistyczne powinno przyczyniać się do powstawania architektury energooszczędnej, architektury, która staje się celem nie tylko naszego ale i następnych pokoleń [20, 21, 26–28].

Dla przeciwdziałania globalnym zmianom klimatu uchwalono tzw. pakiet „klimatyczno-energetyczny”, który jest narzędziem realizacji polityki Unii Europejskiej (UE) w

---

\* Katedra Architektury i Urbanistyki, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra.

zakresie energetyki i ochrony środowiska w tzw. formule „3×20”. Zamierzeniem UE jest, do roku 2020, dwudziestoprocentowe zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> i zużycia energii oraz zwiększenie produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Celowe jest zatem wykonanie analizy wymagań techniczno-budowlanych dotyczących ochrony cieplnej i energooszczędności budynków, wraz z określeniem minimalnych wymagań dotyczących ich charakterystyki energetycznej i przedstawieniem propozycji zmian, zgodnie z Dyrektywą 2010/31/UE z 19 maja 2010 roku [26]. Konieczne jest także określenie minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej elementów wchodzących w skład budynków, takich jak przegrody zewnętrzne, okna, drzwi itp., zwłaszcza w miastach, gdzie niezależne lokale mieszkalne mogą znaleźć się w jednym budynku. Klimat energetyczny miasta zależy w dużym stopniu od właściwości fizycznych jego poszczególnych elementów, np.: gładkie, białe ściany domów kumulują mniej ciepła słonecznego niż ciemne, budynki z balkonami (z uwagi na trudność izolacyjną) oddają więcej ciepła zimą niż te bez balkonów, ściany budynków wysokich i nieosłoniętych ochładzają się od wiatru szybciej, natomiast duże przeszklenia umożliwiają nagrzewanie ciepłem światła, itp. Większość cech fizycznych elementów urbanistycznych wpływających na charakterystykę energetyczną miasta jest parametryzowana w dokumentach planistycznych (określa się gabaryty obiektów, ich relacje przestrzenne, materiały i kolor oraz wygląd dachu i elewacji). Celowe byłoby również określenie innych parametrów dla nowych inwestycji, jak np.: zwartość formy, pojemność cieplną, dopuszczalne zużycie energii na ogrzewanie i klimatyzację oraz wymagany udział produkcji ciepła i energii ze źródeł odnawialnych. Działania te wprowadzać należy w oparciu o postanowienia Dyrektywy 2010/31/UE, implementowanej do polskiego prawodawstwa w celu optymalizowania kosztów użytkowania i obliczenia wymagań minimalnych charakterystyki energetycznej budynków z uwzględnieniem cyklu życia [26].

Realizacja „Energy Performance of Building Directive” potocznie zwanej EPBD<sup>1</sup> – czyli wykonanie założeń Dyrektywy 2002/91/WE, z dnia 16 grudnia 2002 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i 2010/31/EU, z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, uchwalonej w celu

---

<sup>1</sup> Zgodnie z dyrektywą EPBD, każdy budynek będzie miał nadaną określoną klasę energetyczną. W skład oceny klasy energetycznej wchodzi poziom zużycia energii do celów: ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, podgrzania wody i oświetlenia. Najwięcej energii wydatkuje się na ogrzewanie budynków, stąd tak ważne jest określenie jakości cieplnej. Jakość energetyczną budynku charakteryzują wskaźniki (zwykle oznaczane literą „E” z odpowiednimi indeksami), których wartości otrzymuje się po podzieleniu przez kubaturę lub powierzchnię pomieszczeń rozpatrywanego budynku, energii netto, brutto (dostarczonej) lub energii pierwotnej koniecznej do zapewnienia wymaganego poziomu ogrzewania, chłodzenia, wentylacji pomieszczeń, podgrzania wody i oświetlenia w budynku, w rozpatrywanym czasie (zwykle przedział czasowy dotyczy roku). Na ich podstawie jest możliwe sformułowanie oceny jakości energetycznej budynku przez przyporządkowanie klasy energetycznej: A, B, C, D, E, F, G (analogicznie jak w odniesieniu do urządzeń AGD). Budynek klasy A charakteryzuje się najwyższą jakością energetyczną, czyli jest najbardziej energooszczędny (najmniej energochłonny). Klasie energetycznej D przyporządkowany jest budynek odpowiadający aktualnym standardom.

wzmocnienia wymagań charakterystyki energetycznej oraz wyjaśnienia niektórych przepisów Dyrektywy z 2002 roku spowoduje, że od 31 grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki w UE będą musiały być budynkami o niemal zerowym zużyciu energii w dużym stopniu zabezpieczanej ze źródeł odnawialnych, w tym źródeł energii wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu, a także posiadać świadectwo energetyczne [26–28].

Przywołane dyrektywy ustanawiają podstawowe zasady zwiększania efektywności energetycznej i zarządzania popytem na energię, ale sposób wprowadzenia tych zasad do prawodawstwa krajowego pozostawiają właściwym rządóm. Państwa członkowskie muszą wypracować i przedstawić Komisji Europejskiej własne sposoby dochodzenia do wyznaczonych poziomów efektywności energetycznej budynków istniejących i nowo budowanych. Przepisy implementujące Dyrektywę z 2010 roku w większości powinny być stosowane już od stycznia 2013 roku [21, 26].

## 2. ZARZĄDZANIE MIASTEM W OPARCIU O WSKAŹNIKI ILOŚCIOWE I JAKOŚCIOWE

Stymulacja lokalnego ekorozwoju w miastach wymaga monitorowania zachodzących zjawisk oraz odpowiedniej alokacji środków. Bez badań ilościowych i jakościowych, pomiaru osiąganych wskaźników, nie uda się planowanie przestrzenne, gdzie występuje konieczność podejmowania zintegrowanych decyzji [15]. Termin „praktyka oparta na udokumentowanych danych” wprowadził Blackman dla opisanego sposobu podejmowania decyzji na podstawie obiektywnych wskaźników efektywności i ich oceny [3]. Miejska polityka przestrzenna musi być oparta na ściśle określonych narzędziach jej realizacji, bowiem samo określenie celów nie jest w stanie wywołać zamierzonych skutków. Do ich wystąpienia niezbędne jest zastosowanie narzędzi, czyli instrumentów realizacji polityki. Są to: techniki podejmowania decyzji w oparciu o udokumentowane dane (np. wskaźniki) oraz różnego rodzaju centralne akty normatywne oraz kształtowane parametry regulacyjne, procesy prognostyczne (sporządzane w oparciu o wskaźniki) związane z przygotowaniem planów. Wskaźniki (indeksy) określają sposób interpretacji stanu lub tendencji, wyrażają komponenty lub procesy zachodzące w rzeczywistym otoczeniu budynku, osiedla i miasta. W tym kontekście wiążą zagadnienia: zbierania danych i ich standaryzacji, skali przestrzeni i skali czasowej.

Wskaźniki mają także znaczenie syntetyczne i są opracowywane dla konkretnych celów. Tworzenie wymagań dla architektury energooszczędnej jest celem europejskich dyrektyw i polskiej legislacji. Dlatego też opracowanie łatwych w użyciu wskaźników, przydatnych dla władz miejskich, lokalnej administracji, planistów oraz dla instytucji określających strategię rozwoju regionalnego i globalnego, stało się koniecznością.

Wskaźniki są pochodną danych i dostarczają informacji o badanym zjawisku. Wskaźnikami komfortu cieplnego budynku mogą być np.: PMV (*Predicted Mean Vote*) – wskaźnik stosowany w opisie komfortu cieplnego w pomieszczeniach zamkniętych



oraz PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) – wskaźnik związany z komfortem cieplnym w pomieszczeniu. Umożliwiają one monitorowanie oraz pomiar dynamiki zmian, co jest istotne z uwagi na wymagania prawne i tworzone zachęty ekonomiczne (np.: certyfikaty).

Wciąż niewdrożona Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 5 kwietnia 2006 roku w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków ustala w pkt. (9), że *charakterystyka energetyczna budynków powinna być obliczana na podstawie metodologii, która może być zróżnicowana na poziomie krajowym i regionalnym. Oprócz charakterystyki cieplnej metodologia ta obejmuje inne czynniki odgrywające coraz ważniejszą rolę, takie jak rodzaj stosowanych instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych, stosowanie energii ze źródeł odnawialnych, elementy pasywnego ogrzewania i chłodzenia, zacienienie, jakość powietrza wewnątrz budynku, odpowiednie światło naturalne oraz projekt budynku.* Dalej pkt. (12) określa, że *podstawą metodologii stosowanej do obliczenia charakterystyki energetycznej powinien być nie tylko sezon grzewczy, lecz powinna ona obejmować całoroczną charakterystykę energetyczną budynku. Metodologia ta powinna uwzględniać aktualne normy europejskie. Określając wymagania charakterystyki energetycznej dla systemów technicznych budynku, państwa członkowskie powinny stosować w miarę możliwości i potrzeby zharmonizowane instrumenty, zwłaszcza metody testowania i obliczeniowe oraz klasy efektywności energetycznej opracowane w ramach środków wdrażających dyrektywę 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.* Niewdrożona jeszcze w Polsce Dyrektywa 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, potocznie zwana Dyrektywą EPBD, określa cel, jakim jest stymulowanie rynku do projektowania i wykonywania obiektów o lepszej i korzystniejszej charakterystyce energetycznej. Największe praktyczne znaczenie będzie miało uruchomienie systemu ocen, klasyfikacji energetycznych budynków oraz nadawanie im na tej podstawie odpowiednich certyfikatów (paszportów) jakości energetycznej. Certyfikat EPBD powinien zawierać:

- informacje o klasie energetycznej budynku w przyjętej skali;
- informacje o zapotrzebowaniu energetycznym budynku na cele wentylacyjne i grzewcze;
- informacje o zaopatrzeniu budynku w ciepłą wodę;
- informacje o zaopatrzeniu budynku w klimatyzację oraz oświetlenie;
- informacje o możliwościach podniesienia przyznanej klasy energetycznej.

Ponieważ zgodnie z wyżej wymienionymi wymogami dyrektyw unijnych należy zebrać informacje dla poszczególnych budynków, może więc celowe byłoby je określić i skorelować z odpowiednimi wskaźnikami w większej skali – miasta. Skoro za-

stosowanie minimalnych wymagań dotyczących zintegrowanej charakterystyki energetycznej dla budynków nowych i dużych, istniejących<sup>2</sup> i projektowanych jest wymogiem, zatem stworzenie indywidualnych ram regulujących parametry dla całych zespołów i osiedli konkretnych miast, wspartych wskaźnikami, powinno tylko ułatwić zarządzanie i tworzenie lokalnej polityki. Warto, aby te wskaźniki już zostały ujęte w miejscowych dokumentach planistycznych wymuszając tym samym na inwestorach dostosowanie substancji budowlanej do przyjętych i wdrażanych przez Polskę dyrektyw Unii Europejskiej. Zapisy te będą przenoszone do aktów wyższego rzędu, co niewątpliwie będzie korzystne, ponieważ zgodnie z art. 7 ust. 1 ustawy z dnia 15 kwietnia 2011 roku o efektywności energetycznej (Dz.U. z 2011 r. Nr 94, poz. 551, z późn. zm.) podmiotem odpowiedzialnym za wdrażanie celu krajowego obniżającego zużycie energii są ministrowie kierujący działami administracji rządowej, w rozumieniu ustawy z dnia 4 września 1997 roku o działach administracji rządowej (Dz.U. z 2007 r. Nr 65, poz. 437, z późn. zm.) oraz wojewodowie. Dokumenty regionalne umożliwią wdrażanie celu krajowego, jakim jest oszczędne gospodarowanie energią, co pozwoli na uzyskanie do 2016 roku oszczędności energii finalnej w ilości nie mniejszej niż 9% średniego krajowego zużycia tej energii w ciągu roku np.: w tworzonych Regionalnych Programach Operacyjnych<sup>3</sup>.

## 2.1. SKALA MIASTA

Obecny rozwój urbanistyczny większości polskich oraz europejskich miast, małych i dużych, nie dąży do koncentracji funkcji strategicznych, zwiększania gęstości i intensywności zabudowy obszarów centrum miasta [8, 16, 17]. Straty ponoszone z powodu zjawiska potocznie nazywanego „urban sprawl”, zarówno ekonomiczne (wyższe koszty infrastruktury i transportu, brak możliwości zachowania większych obszarów zielonych), jak i funkcjonalne (zwiększanie odległości pomiędzy poszczególnymi funkcjami, co z kolei oznacza zmniejszenie ich dostępności i wydajności) wydają się oczywiste [2, 9, 12]. Równoczesny wzrost ceny energii (należy się spodziewać, że ceny nadal będą systematycznie rosnąć) powoduje konieczność odpowiedzi na pytanie: ile będzie nas kosztować funkcjonowanie miast? Konsekwencje błę-

---

<sup>2</sup> Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 roku o efektywności energetycznej wskazuje budynki użyteczności publicznej o powierzchni użytkowej pow. 500 m<sup>2</sup>.

<sup>3</sup> Np.: Program Operacyjny Województwa Śląskiego na lata 2014–2020. Dokument zawiera opis priorytetów, które będą mogły być współfinansowane m. in. takich jak: poprawa efektywności produkcji i zużycia energii, wzrost produkcji i dystrybucji energii z odnawialnych źródeł oraz wsparcie niskoemisyjnego transportu miejskiego. W Lubuskim Regionalnym Programie Operacyjnym można otrzymać 85% dotacji na: budowę małych i średnich jednostek wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, projekty dotyczące lokalnej i regionalnej infrastruktury przemysłu i dystrybucji energii elektrycznej, projekty dotyczące odnawialnych źródeł energii, budowę oraz modernizację sieci ciepłowniczych, termomodernizację budynków użyteczności publicznej.

dów w polityce przestrzennej i transportowej wykraczają daleko poza wymiar ekonomiczny: wywierają wpływ na relacje międzyludzkie, stosunek do dziedzictwa kulturowego i na zdrowie mieszkańców [4–6, 14].

Śródmieścia polskie wyludniają się [8]. Z kolei chaotycznie rozwijające się przedmieścia, wbrew oczekiwaniom swoich mieszkańców, stały się przestrzeniami o niskim standardzie życia, źle skomunikowanymi, skazanymi na transport indywidualny. Z roku na rok maleją też wpływy z podatków PIT i CIT w miastach. Jednym z powodów, jest to, że z centrum miasta wyprowadzają się przede wszystkim przedstawiciele klasy średniej – najważniejszy podatek. W ślad za nimi podążają firmy. Wciąż jednak mieszkańcy strefy podmiejskiej korzystają z miejskiej komunikacji, szkolnictwa, służby zdrowia itp., nie ponosząc kosztów tworzenia systemu infrastruktury w postaci podatków. Ponieważ działania gminy i miasta są racjonalne i oparte o rachunek ekonomiczny, nie można rozdzielić polityki przestrzennej od jej finansowania z budżetu miasta. Wszystkie działania strategiczne, także w strefie urbanistycznej miasta, powinny być zapisane w dokumentach planistycznych i wyegzekwowane.

Zachodnioeuropejscy urzędnicy i planiści są świadomi, że jedyną skuteczną odpowiedzią jest zmiana dotychczasowych kryteriów rozwoju. Miasta nie powinny „rozlewać się”, ale ich wzrost powinien następować do wewnątrz. W ten sposób wykorzystuje się tereny poprzemysłowe, a rewitalizacja (co dowiodło wiele przykładów) czyni z dawnych zdegradowanych dzielnic jedne z najatrakcyjniejszych miejsc. Coraz częściej odzyskuje się, na potrzeby mieszkaniowe tereny komunikacyjne, zabudowując wielkie parkingi i inaczej kreując przestrzeń publiczną. Gwarantem mobilności jest zyskujący na znaczeniu transport publiczny, rowerowy i przemieszczanie się pieszo. Właściwa skala zabudowy, dostosowana do człowieka poruszającego się pieszo, umożliwi tworzenie się właściwych więzi społecznych między mieszkańcami [10].

Zespół Denis i Parker dowiedli, że lokalne inicjatywy energetyczne w Kanadzie są zapowiedzią i prekursorem trendu przyszłych sieci rozproszonych [6]. Dążąc do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, do ograniczenia wpływu wzrostu cen energii wytwarzanej centralnie, należy dążyć do przejścia na bardziej samowystarczalne systemy energetyczne. Dla wzrostu miasta kluczowe będzie planowanie lokalnych generatorów energii i ciepła. Tworzenie planów energetycznych przez społeczność lokalną przy uruchomieniu mechanizmów wspierania odnawialnych źródeł energii, stworzy nowe, równoległe podejście – alternatywne, w globalnym zarządzaniu energią. Denis i Parker opisali schemat trzech dróg, które mogą wybrać społeczności lokalne:

- skupienie się na poprawie i wydajności systemów energetycznych;
- oszczędzanie energii;
- oraz przełączanie energii na źródła odnawialne [6].

W pracy [6] dowiedziono, że wzrost efektywności energetycznej uzyska się poprzez dobrze prognozowane popyt i podaż oraz poprzez małe straty energii w produkcji i przesyłce. Potencjał zastosowanych oszczędności oszacowano na 16% do 56%

w roku 2025, w zależności od poziomu wsparcia programu przez rząd Kanady. W studium przypadku przebadano 10 ogólnodostępnych dokumentów gminnych tzw. planów zarządzania energią, gdzie podejście do planowania energetycznego wynikało z priorytetów działania osób zarządzających. Mieszkańcy planujący inicjatywy energetyczne byli osobiście zainteresowani ich wynikiem. Członkowie społeczności lokalnych potrafili wykorzystać istniejące zasoby energetyczne, redukując jednocześnie negatywny wpływ produkcji i zużycia energii na środowisko, w którym sami żyli. „Triple bottom line” jest ideą, w której Systemy Wspólnoty Energetycznej (lokalne) zostały oparte na skutecznym zarządzaniu zużyciem i dostawą energii o niskim wpływie na zdrowie, środowisko i klimat [6]. Badania te dowodzą, że partycypacja społeczna przy tworzeniu dokumentów planistycznych jest najkorzystniejszą motywacją dla efektywnych działań proekologicznych. Umożliwia prowadzenie polityki miejskiej w oparciu o najlepsze, bo powszechnie akceptowane przez mieszkańców działania. W Polsce dokumenty planowania przestrzennego powstają właśnie w oparciu o partycypację społeczną, i z uwagi na ustawową procedurę wydają się być najodpowiedniejsze dla określenia kierunków polityki zarządzania energią, w przeciwieństwie do nałożonego przez ostatnie zmiany ustawowe (art. 19 ustawy Prawo energetyczne Dz.U. z 2012 poz. 1059) obowiązku sporządzania planów energetycznych dla gmin, które de facto wykonują przedsiębiorstwa energetyczne, bez konsultacji z mieszkańcami.

## 2.2. DOKUMENTY POLITYKI PRZESTRZENNEJ MIASTA

Monitorowanie zmian zachodzących w zagospodarowaniu przestrzennym uniemożliwia praktykowany sposób przygotowywania dokumentów planistycznych, w których jednostki bilansowe określone w dokumentach strategicznych nie pokrywają się obszaruowo z terenami w planach lokalnych. Wyznaczone w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego granice jednostek bilansowych nie są zachowywane przy sporządzaniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego [22, 23, 18]. Z jednej strony nie pozwala na to skala opracowań, a z drugiej, z uwagi na koszty, ogranicza się obszar planów miejscowych. Ponadto, bieżące zmiany dokonywane w dokumentach planistycznych – tak MPZP, jak i SUIKZP, dotyczą często pojedynczych działek lub też samych wskaźników i parametrów urbanistycznych do nich przypisanych. Utrudnia to bilansowanie oraz porównywanie wskaźników zagospodarowania (powierzchni terenów, zabudowy, intensywności, itp.), z innymi wskaźnikami np. społecznymi służącymi do śledzenia postępów prac zmierzających do osiągnięcia zrównowazenia [15]. Trudne jest również porównywanie obciążeń sieci infrastruktury technicznej obsługującej te tereny, czyli zwyczajne zarządzanie z prowadzeniem racjonalnej polityki przestrzennej opartej o interes ekonomiczny i akceptowanej przez mieszkańców.

Dokumentację planistyczną aktualizuje się w oparciu o art. 32 ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2003 nr 80, poz. 717 z późn. zm.), zakładający, że „wójt, burmistrz albo prezydent miasta dokonuje analizy zmian w zagospoda-

rowaniu przestrzennym, ocenia postępy w opracowywaniu planów miejscowych i opracowuje wieloletnie programy ich sporządzenia, w nawiązaniu do ustaleń studium, a wyniki analiz przekazuje radzie gminy przynajmniej raz w czasie kadencji rady”. Dokumentacja planistyczna jest zatem z założenia mało elastyczna, a zważywszy długi czas trwania procedur potrzebnych na wykonanie tej dokumentacji aż do jej uchwalenia – nie nadaje się do bieżącego wprowadzania zmian czyli monitorowania zagospodarowania przestrzennego [19, 22, 23]. Dokumentacja planistyczna powinna umożliwiać monitorowanie oraz wprowadzanie zmian (korektę kierunków i celów strategicznych) z uwagi na to, że procesy inwestycyjne, których dotyczą ustalenia, są dynamiczne, podobnie jak życie gospodarcze miasta. Obowiązujące Prawo Energetyczne nakłada na gminy obowiązek opracowania projektu założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla obszaru gminy na okres 15 lat i aktualizowanie go co 3 lata [20]. Ustawodawca nie uwzględnił zapisów o obligatoryjnych aktualizacjach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, w okresach wynikających z Prawa Energetycznego. Prawo Energetyczne zakłada monitorowanie zagospodarowania przestrzennego na podstawie gminnych dokumentów planistycznych. Te natomiast aktualizuje się bądź nie – z uwagi na kadencje rady gminy<sup>4</sup>. Skutkuje to tym, że zamiast jednego dokumentu strategicznego umożliwiającego rozwój miasta lub gminy, którym jest studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, aktualnych będzie kilka niezależnych dokumentów dotyczących tych samych obszarów działania (ciepło, energia elektryczna i paliwa gazowe).

Ograniczeń zużycia zasobów przestrzeni, energii, wody, emisji CO<sub>2</sub> nie można wprowadzić bez skutecznie poprowadzonych działań w miejskiej polityce. Realizacja postulatów oszczędności wiąże się racjonalnymi działaniami w polityce ekonomicznej dla odbiorców–mieszkańców, ale i z rozbudzeniem świadomości projektantów, deweloperów i innych przedstawicieli przemysłu budowlanego. Polskie miasta stoją nie tylko przed wyzwaniem politycznym – weryfikacji dotychczasowych sposobów rozwoju i edukacyjnym – wzrostem świadomości i kreowaniem nowego modelu konsumpcyjnego, ale i przed zmianami procedur, w których barierą dla prawidłowego rozwoju jest np. nieodpowiednie prawodawstwo planistyczne.

Aktywna, długoterminowa polityka ekologiczna, w zakres której wchodzi m.in.: termomodernizacja budynków publicznych, oszczędność energii cieplnej i elektrycznej, niskoenergetyczne oświetlenie przestrzeni publicznych, ekologiczny transport publiczny, wykorzystanie biogazów z odpadów i ścieków oraz odnawialnych źródeł energii oraz lokalna polityka zamówień publicznych, prowadzi do redukcji kosztów

---

<sup>4</sup> Gdyby odnieść się do projektu nowelizacji ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym przyjętej 13 września 2010 roku, do nowo wprowadzanego dokumentu określającego prognozę rozwoju gminy na okres 7 lat, w którym mogłyby być zawarte założenia inwestycyjne spójne z projektem założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe, to można stwierdzić brak zapisów o obligatoryjnych aktualizacjach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, w okresach wynikających z Prawa Energetycznego.

własnych miasta/gminy przy wykorzystaniu np.: „białych certyfikatów” lub innych, wspomaganych finansowo programów. W ten sposób wskazuje się również mieszkańcom preferowane kierunki działania. Nie bez znaczenia jest wprowadzenie bardziej efektywnych metod zarządzania oraz promocja i prezentowanie nowych technologii. Dobre efekty przynosi promowanie prośrodowiskowych rozwiązań poprzez zachęty w podatku od nieruchomości czy w innych opłatach lokalnych i odpłatność za usługi komunalne.

W celu zdobycia dodatkowych środków finansowych na efektywne wykorzystanie energii w placówkach gminnych coraz powszechniejszy staje się udział w programach realizowanych z Funduszy Europejskich, Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska oraz dofinansowywanych przez stowarzyszenia krajowe i międzynarodowe. Projekty obecnie realizowane umożliwiają właściwie wszystkim władzom miast wybór innowacyjnych działań wspierających: „redukcję emisji CO<sub>2</sub>”, „zwiększenie energoefektywności budynków”, „retencję wody opadowej dla oszczędności energii w systemach ściekowych”, „odtworzenie strat powierzchni zielonej związanej z intensywną zabudową”, „wzmocnienie kompetencji władz lokalnych w zakresie przekładania strategii zrównoważonego rozwoju energetycznego na działania”. Udział w tych programach można korzystnie dopasować do obranych celów polityki miejskiej.

Niektóre miasta aktywnie włączyły się do tego nurtu i pozyskując środki na realizację projektów, świadomie kreują swój nowy wizerunek, np.: we wrześniu nastąpi wręczenie certyfikatu „Gmina z Klimatem” prezydentowi miasta Bielska-Białej, w Dzierżonowie rozpoczęto projekt ekologiczny „Akumulator Słoneczny”, którego celem będzie rozwój pionierskiej technologii energetycznej dotyczącej wykorzystania akumulacji energii słonecznej w wysokotemperaturowym złożu mineralnym<sup>5</sup>. W niektórych miastach zabiega się o zmianę dotychczasowego modelu konsumpcji np.: energii, promując działania zwiększające efektywność energetyczną budynków, osiedli i dzielnic.

Zapis o obligatoryjnej oszczędności wody i energii oraz wzroście efektywności energetycznej powinien znaleźć się w każdym dokumencie strategicznym miasta, jako jeden z celów nowego zagospodarowania przestrzennego z obowiązkową implementacją do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, podobnie jak obowiązek podawania zasobów i kosztów związanych ze zmianami możliwości infrastrukturalnych. Takie informacje umożliwiłyby dobór terenów i sposobów ich zagospodarowania oraz wybór sposobów wykorzystania infrastruktury. Być może świadomość kosztów ich eksploatacji w budżecie miasta oraz brak uzasadnienia dla ponoszenia wysokich kosztów uzbrajania niektórych nowych terenów zahamowałyby niekorzystne zjawisko „rozlewania się” i „rozpraszania” zabudowy.

---

<sup>5</sup> Projekt będzie realizowany w ramach LIFE+ – unijnego instrumentu finansowego koncentrującego się na ochronie środowiska. LIFE+ współfinansuje przede wszystkim nowatorskie inicjatywy mające na celu realizację polityki ochrony środowiska oraz identyfikację i promocję nowych rozwiązań w zakresie ekologii.

### 2.3. URBANISTYCZNE WSKAŹNIKI ENERGETYCZNE

Opisane przez Ziobrowskiego wskaźniki urbanistyczne stosowane w świecie i Polsce odnoszą się do wielu aspektów, w tym: socjalno-ekonomicznych, społecznych, środowiskowych i innych, przyczyniających się do podnoszenia jakości życia. Wskaźniki te są jednymi z najpotężniejszych narzędzi, jakie mają do dyspozycji naukowcy i twórcy polityki systemów miejskich [15]. Prowadzone od ponad 10 lat systematyczne badania nad stanem i zmianami jakości życia w Poznaniu pozwalają uwzględniać oczekiwania mieszkańców w zarządzaniu i strategicznym planowaniu rozwoju miasta. Wskaźniki opisują zbierane dane: poziomu hałasu, czystości powietrza i zrzutu ścieków, ale nie dotyczą zużycia energii [15]. Podobnie dzieje się w bazie SAS (System Analiz Samorządowych) oraz w Bazie Dobrych Praktyk (która powstała jako narzędzie wspomagające doskonalenie zarządzania usługami publicznymi i rozwojem w jednostkach samorządu lokalnego: gminach i powiatach), gdzie zaopatrzenie w energię (elektroenergetyka, gazownictwo, ciepłownictwo) zalicza się do usług publicznych o charakterze technicznym, dla których ustalono jednostkę zużycia energii – toe (tona ekwiwalentu ropy naftowej), choć nie ustalono wskaźników umożliwiających monitorowanie zużycia. Podobnie jak w opracowaniu z 2012 roku, Śleszyńskiego z zespołem pt. "Propozycje wskaźników do oceny i monitorowania zagospodarowania przestrzennego w gminach, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnienia ładu przestrzennego", który nie odniósł się do zużycia energii ani podnoszenia efektywności energetycznej [13].

Różnice w zagospodarowaniu przestrzennym i związanym z tym zużyciem energii dobrze widać w badaniach wykonanych przez grecki zespół z Institute for Environmental Research and Sustainable Development w Atenach [1]. Badania, przeprowadzone na podstawie audytów 193 budynków z Unii Europejskiej, wykazały że w 15 państwach członkowskich (UE-15) w 2003 roku (we wszystkich budynkach 15 państw członkowskich) zużycie energii pierwotnej wyniosło 1498,1 mtoe (mln ton ekwiwalentu ropy naftowej), wykazując 1,8% wzrostu w stosunku do roku 2002 i stanowiło 15,4% całkowitego światowego zużycia energii. 164 mln budynków w UE-15 (193 mln w UE-25) zużywa około 40% łącznego zużycia energii w Unii. Dwie trzecie emisji gazów cieplarnianych, przypisywane jest budynkom mieszkalnym, a jedna trzecia budynkom komercyjnym. Roczne zużycie energii cieplnej, elektrycznej i gazowej w budynkach mieszkalnych Unii Europejskiej wynosi średnio 150–230 kWh/m<sup>2</sup>, natomiast w Europie Środkowej i Wschodniej, roczne zużycie energii końcowej elektrycznej, cieplnej i gazowej obejmujące ogrzewanie i chłodzenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej wynosi 250–400 kWh/m<sup>2</sup> [1].

Propozycja sposobu wprowadzenia ustaleń Dyrektywy EPBD została przedstawiona przez zespół badaczy z Włoch w 2012 r. w odniesieniu do miasta Ferrara [7]. Zaproponowali oni kierunki polityki energetycznej uwzględniające efektyw-

ność energetyczną nowych, istniejących i modernizowanych budynków, oraz minimalne wymagania energetyczne dla budynków zabytkowych, określanymi świadectwem efektywności energetycznej (*Energy Performance Certificate – EPC*). Problemem było znalezienie narzędzi umożliwiających ocenę i pomiar zużycia energii w mieście, w którym większość budynków jest zabytkowa. Wynikiem przeprowadzonych badań i symulacji z wykorzystaniem systemu informacji geograficznej GIS (*Geographic Information System*) przez zespół Fabbri'ego z University of Bologna było wprowadzenie nowych wskaźników EPC (klasa energetyczna oraz wskaźnik energii strefy ZEI – zone energy indicator) do ustawodawstwa planowania miejskiego Emilia-Romania, (region położony w północno-wschodnich Włoszech) [7].

Zespół z Kanady Bourdic – Salat, zaproponował w „Nowym systemie przestrzennych wskaźników dla zrównoważonego rozwoju miast”, w części dotyczącej środowiska i formy urbanistycznej, współczynniki intensywności i kształtu odnoszące się do energochłonności:

Tabela 1. „Nowy system przestrzennych wskaźników dla zrównoważonego rozwoju miast”, oprac. własne na podstawie [5]

Pojęcie	Wskaźnik	Nazwa	Skala				
			Miasta	Dzielnicy	Osiedla	Kwartala	Budynku
Środowisko	Intensywność	Energochłonność powierzchni		+	+		
		Udział produkcji lokalnej		+	+		
		Stawka za użytą energię odnawialną		+	+		
		Stopa ponownego wykorzystania energii	+	+			
Urbanistyka	Forma	Objętościowa zwartość formy $A/V$	+	+			
		Współczynnik wielkości			+		+
		Współczynnik formy			+		+
		Wskaźnik pojemności cieplnej			+		+
		Zużycie energii do ogrzewania		+	+	+	+
		Zużycie energii na klimatyzację		+	+	+	+

Salat jest badaczem, który od lat wskazuje zależność pomiędzy strukturą urbanistycznej zabudowy miasta a zużyciem energii [4, 5, 12]. Zaproponowany przez ten zespół system przestrzennych wskaźników należałoby wprowadzić do polskich dokumentów planistycznych, aby dzięki ujednocnieniu legislacyjnemu, umożliwić wszystkim miastom i gminom tworzenie systemów monitorujących i zarządzających rozwojem w sposób zrównoważony oraz zgodny z celami Unii Europejskiej i krajowymi.



Badania i analizy przedstawiające propozycję nowych wskaźników monitorujących zrównoważony rozwój urbanistyczny oraz przybliżające przykłady zastosowania powinny być prowadzone w Polsce<sup>6</sup>.

### 3. WNIOSKI

Troska o zachowanie jak najlepszego klimatu miasta może być realizowana poprzez odpowiednie instrumenty polityki miejskiej. Każda nowa inwestycja w mieście powinna stanowić niepowtarzalną szansę na zmianę istniejącej sytuacji. Optymalne decyzje przestrzenne połączone z odpowiednimi rozwiązaniami technicznymi mogą być skutecznym narzędziem przyczyniającym się do poprawy efektywności energetycznej, jak i lokalnego klimatu miasta. Kierunki przyjętych działań powinny być zależne od klimatycznych i fizycznych właściwości miasta, a więc m.in.: rodzaju powierzchni, barwy, zawartości wilgoci, czasu zalegania pokrywy śnieżnej, zanieczyszczeń. Działaniami naprawczymi powinny być: optymalizacja intensywności zabudowy, kierowanie przewietrzaniem poprzez osłanianie lub tworzenie ciągów wentylacyjnych – korytarzy przewietrzających, pokrycie wolnych przestrzeni dopasowaną pod względem wysokości zielenią, wymuszenie lokalnej cyrkulacji powietrza – przewietrzanie, zwiększenie powierzchni wód otwartych, wprowadzenie sąsiadujących powierzchni termicznych i atermicznych, ale także wykorzystanie istniejącego potencjału słońca, wiatru i wody, które umożliwią zmniejszenie emisji ciepła antropogenicznego i dwutlenku węgla. Niektóre działania naprawcze dla klimatu miejskiego stoją w opozycji do zmniejszania zużycia energii i podnoszenia efektywności energetycznej. Potrzebna jest analiza zachodzących zjawisk oraz wybór wariantów optymalizacji. Politykę każdego miasta należy kształtować indywidualnie, w sposób świadomy, a nie da się tego uczynić nie znając obecnego sposobu funkcjonowania i tempa zachodzących zmian. Brak jednorodnych parametrów i współczynników miary dla zachodzących zjawisk zdecydowanie utrudnia tworzenie systemów i modeli funkcjonowania opartych na idei oszczędności energii i podnoszeniu efektywności energetycznej. Powstające ustawodawstwo (podnoszące efektywność energetyczną) nie tworzy mechanizmów egzekwowania prawa [20, 21]. Brak jest zapisów dotyczących kar i konsekwencji za niewykonanie czynności np.: celu krajowego oszczędności energii lub za brak ustawowego obowiązku zgodności „projektu założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe” ze studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz z miejscowymi planami zagospo-

---

<sup>6</sup> Badania w/w umożliwiły oszacowanie energochłonności eksploatacyjnej budynków z uwagi na lata powstania, sposób wznoszenia, sposób eksploataowania i sposób wykonania termomodernizacji. Badania prowadzono przy użyciu instrumentów pomiarowych, kamer termowizyjnych, danych ankietowych oraz GUS i GIS. Wynikiem prac był „Energetyczny Audyt Miejski” dla Zielonej Góry i Lublina.

darowania przestrzennego. Nie wiadomo także, jakie ustalenia którego dokumentu są nadrzędne. Brak jednolitego katalogu wskaźników, którymi powinny operować te dokumenty, aby zgodnie z intencją ustawodawcy monitorować zachodzące zmiany. Artykuł miał na celu ukazanie braku zintegrowanego planowania rozwoju Polskich miast oraz wykazanie, że nie tylko w Polsce istnieje problem z wprowadzaniem narzędzi umożliwiających podnoszenie efektywności energetycznej w miastach.

#### LITERATURA

- [1] BALARAS C., DROUTSA K., DASCALAKI E., KONTOYIANNIDIS S., *Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings*, Energy and Buildings, 37, Elsevier, 2005, 429–442.
- [2] BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA A., SKIBA M., *Tożsamość miasta pod presją gospodarki rynkowej na przykładzie Zielonej Góry*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Architektura i Urbanistyka, 2011, 57–64.
- [3] BLACKMAN T., *Urban Policy in Practice*, Routledge, London 1995.
- [4] BOURDIC L., SALAT S., *Building energy models and assessment systems at the district and city scale: a review*, Building Research and Information 40(4), Taylor & Francis 2012, 518–526.
- [5] BOURDIC L., SALAT S., NOWACKI C., *Assessing cities: a new system of cross-scale spatial indicators*, Building Research and Information 40(5), Taylor & Francis 2012, 592–605.
- [6] DENIS G., PARKER P., *Community energy planning in Canada: The role of renewable energy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, Elsevier 2009, 2088–2095.
- [7] FABBRI K., ZUPPIROLI M., AMBROGIO K., *Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools*, Energy and Buildings 48, Elsevier 2012, 137–145.
- [8] GZELL S., *Miastotwórcza rola transportu w teorii urbanistyki*, Czasopismo Techniczne, 1-A/2010, Politechnika Krakowska, 1–20.
- [9] KOPIETZ-UNGER J., *Założenia planowania przestrzennego na rzecz ochrony klimatu i oszczędności energii*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2010.
- [10] LABIOSA W., FORNEY W., ESNARD A., MITSOVA-BONEVA D., BERKNOPF R., HEARN P., HOGAN D., PEARLSTINE L., STRONG D., GLADWIN H., SWAIN E., *An integrated multi-criteria scenario evaluation web tool for participatory land-use planning in urbanized areas: The Ecosystem Portfolio Model*, Environmental Modeling & Software, 41, Elsevier 2013, 210–222.
- [11] LEWIŃSKA J., *Klimat miasta. Vademecum urbanisty*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Oddział w Krakowie, Kraków 1991.
- [12] SALAT S., *Cities and Forms, on Sustainable Urbanism*, Edition Hermann 2011, Paris.
- [13] ŚLESZYŃSKI P. z zespołem, *Propozycje wskaźników do oceny i monitorowania zagospodarowania przestrzennego w gminach ze szczególnym uwzględnieniem zagadnienia ład przestrzennego*, PAN Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Warszawa 2012, maszynopis.
- [14] THINH N.X., ARLT G., HEBER B., HENNERSDORF J., LEHMANN I., *Evaluation of urban land-use structures with a view to sustainable development*, Environmental Impact Assessment Review, 22, Elsevier 2002, 475–492.
- [15] ZIOBROWSKI Z., *Urbanistyczne wymiary miast*, Instytut Rozwoju Miast, Kraków 2012.
- [16] ZIPSER T., *Powiązania transportowe jako generatory struktury przestrzennej systemu osadniczego*, Czasopismo Techniczne 1-A/2010, Politechnika Krakowska, 21–30.
- [17] ZUZIĄK Z., *Ekologiczne definiowanie urbanistyki*, Czasopismo Techniczne 7-A/2007, Politechnika Krakowska, 9–20.

- [18] Energetyczny audyt miejski dla miasta Zielona Góra, Zadanie badawcze nr 1: Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie, Umowa Nr SP/B/1/91454/10, NCBiR 2010, Zielona Góra 2011.
- [19] Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2003, nr 80, poz. 717 z późn. zm.).
- [20] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo Energetyczne (Dz.U. z 2012, poz. 1059, brzmienie od 25 września 2012).
- [21] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz.U. 2011, nr 94, poz. 551).
- [22] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 28 kwietnia 2004 r. w sprawie zakresu projektu studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy (Dz.U. 2004 r., nr 118, poz. 1233).
- [23] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 26 sierpnia 2003 r. w sprawie wymaganego zakresu projektu miejscowego zagospodarowania przestrzennego (Dz.U. 2003 r., nr 164, poz. 1587).
- [24] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 września 2012 r. w sprawie sposobu obliczania ilości energii pierwotnej odpowiadającej wartości świadectwa efektywności energetycznej oraz wysokości jednostkowej opłaty zastępczej, Warszawa, dnia 19 września 2012 r., poz. 1039.
- [25] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii, Warszawa, dnia 27 sierpnia 2012 r., poz. 962.
- [26] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [27] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcji, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią.
- [28] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
- [29] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [30] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [31] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.
- [32] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych.

## URBAN DIMENSION OF ENERGY EFFICIENT ARCHITECTURE

The connection between energy and civilization was noticed a long time ago, at the beginning of the 20<sup>th</sup> century, the concept of connecting energy flow with the development of urban areas was also proposed. The modern model of urban ecosystem is being developed in order to research the dependence between energy flow, urban structure and city development.

The dimensioning of urban space is part of the process of planning buildings and residential areas, which makes social, economic and functional control easier. According to currently suggested directions in legislation, it is necessary to create energy efficient architecture.

## ROZDZIAŁ XXVII

# MODEL EKOROZWOJU WROCŁAWIA I DOLNEGO ŚLĄSKA W ASPEKCIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII I ELEMENTÓW BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Łukasz SZALAŁATA\*, Kornelia KWIECIŃSKA\*, Jerzy ZWOŹDZIAK\*\*

Utrzymanie prośrodowiskowego wizerunku Dolnego Śląska oraz implementacja Strategii Unii Europejskiej 2020, wymaga podejmowania skorelowanych działań mających na celu zwiększanie produkcji energii, ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii oraz propagowanie technologii budownictwa energooszczędnego i nowych rozwiązań w zakresie transportu i komunikacji miejskiej. Dolny Śląsk, w tym aglomeracja wrocławska, dynamicznie się rozwija, zatem istotne jest poszanowanie środowiska i zasobów naturalnych. Aby zapewnić zrównoważony rozwój Dolnego Śląska, należy realizować inwestycje mające na celu zwiększenie komfortu życia mieszkańców, poprzez zapewnienie im bezpieczeństwa energetycznego oraz umożliwienie korzystania z innowacyjnych technologii w służbie ochrony środowiska. Należy także konsekwentnie wdrażać działania mające na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

Słowa kluczowe: *rozwój zrównoważony, odnawialne źródła energii, budownictwo energooszczędne, zielone dachy*

### 1. ZNACZENIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Pojęcie zrównoważonego rozwoju pojawia się w wielu dokumentach o znaczeniu strategicznym dla rozwoju gospodarki narodowej kraju. Ma wielce istotne znaczenie, ponieważ określa korelację pomiędzy gospodarką, społeczeństwem i środowiskiem [1]. Jego kluczowe zagadnienia, zarówno w wymiarze ekonomicznym, jak i ekologicznym, techniczno-naukowym oraz kulturowym, wskazują na konieczność podniesienia świadomości ekologicznej społeczeństwa. Trwałość w kontekście zrównoważo-

---

\* Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, pl. Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław.

\*\* Narodowe Centrum Badań Jakości Powietrza IMGW PIB.

nego rozwoju oznacza, że potrzeby terażniejsze nie są zaspakajane kosztem potrzeb przyszłych generacji, samo pojęcie „zrównoważony”, tłumaczone jest jako „zdolny do trwania”, „samopodtrzymujący się”. Trwały rozwój oznacza maksymalizowanie korzyści netto z rozwoju ekonomicznego, przy jednoczesnym zachowaniu użyteczności i jakości zasobów naturalnych w długim okresie. Aby rozwój był trwały, konsumpcja materialnych dóbr i usług musi być jednocześnie ograniczona do poziomu, który jest akceptowalny z ekologicznego punktu widzenia, musi też uwzględniać zasadę sprawiedliwości międzypokoleniowej [2]. Trwały (zrównoważony, samopodtrzymujący się) rozwój społeczno-ekonomiczny rozumiany także jest jako ład zintegrowany, czyli harmonizujący główne porządki (łady), w których ma miejsce ludzkie życie i aktywności – ład ekologiczny, ład społeczno-instytucjonalny, ład ekonomiczny i przestrzenny [3]. Każdy z tych porządków powinien zapewniać stałe źródło dochodów w zakresie gospodarowania i zarządzania środowiskiem i jego zasobami oraz ich ochrony, zapewniając pożądaną i/lub akceptowaną społeczną sprawiedliwość, zachowując zasób kapitału antropogenicznego i przyrodniczego oraz chroniąc procesy życiowe zachodzące w środowisku przyrodniczym miasta i regionu. Dlatego też systemowe podejście do zrównoważonego rozwoju, w wielu europejskich aglomeracjach nabiera coraz bardziej wyraźnego charakteru.

Aglomeracje miejskie, a także całe województwa powinny posiadać jasno nakreśloną drogę rozwoju w zakresie poprawy stanu środowiska naturalnego. Koniecznymi działaniami są: ograniczanie negatywnego oddziaływania funkcjonujących instalacji na środowisko, racjonalne gospodarowanie zasobami środowiska, zwiększanie wykorzystania produkcji energii, ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii, a w konsekwencji – zmierzanie do znacznej poprawy stanu jakości podstawowych komponentów środowiska, w tym poprawy jakości powietrza atmosferycznego. Tzw. trójkąt celów zrównoważonego rozwoju, zgodnie z definicją Holgera Rogalla [1], wskazuje że zrównoważona przebudowa obejmuje znacznie więcej niż tylko ekologizację społeczeństwa przemysłowego i środowiska, uwzględnia także założenia Konferencji Narodów Zjednoczonych w Rio de Janeiro, w sprawie zrównoważonego rozwoju. Należy również zadbać o ekonomiczny i społeczno-kulturowy wymiar społeczeństwa przyszłości. Demokracja, państwo prawa, bezpieczeństwo socjalne, równość szans i integracja oraz nieużywanie przemocy i jakość życia są i pozostają zadaniami, z których nie można zrezygnować, szczególnie w okresie dynamicznego rozwoju miast. Kontynuując ten sposób myślenia, należy wyjaśnić, jakie są gospodarcze, społeczne i środowiskowe szanse i zagrożenia w chwili obecnej oraz w najbliższej przyszłości, zarówno na poziomie lokalnym i globalnym. Pomocnym narzędziem w tym działaniu jest analiza SWOT (skrót od wyrażen: *Strengths* – ang.: mocne strony, *Weaknesses* – ang.: słabe strony, *Opportunities* – ang.: szanse, *Threats* – ang.: zagrożenia), jako heurystyczna technika analityczna mająca na celu prawidłowe porządkowanie informacji w badanym zakresie, używana we wszystkich obszarach zarządzania środowiskiem [4].

## 2. ZAŁOŻENIA MODELU EKOROZWOJU WROCŁAWIA I DOLNEGO ŚLĄSKA

Pojęcie miast niskowęglowych oznacza ograniczenie w obrębie aglomeracji miejskich tradycyjnych procesów spalania węgla mających na celu wytworzenie m.in. energii elektrycznej oraz produkcji ciepła. Natomiast miasta niskoemisyjne definiowane są jako szereg działań zmierzających do ograniczania emisji ubocznych produktów spalania paliw konwencjonalnych oraz poszukiwanie alternatywnych sposobów produkcji energii z odnawialnych źródeł. Oba pojęcia stanowią nowe i innowacyjne zagadnienia w Polsce, które w swoim zakresie obejmują skoordynowane wielowymiarowe działania mające na celu zmniejszenie emisji ditlenku węgla. Inwestycje w odnawialne źródła energii, racjonalne rozplanowanie pod względem urbanistycznym, wykorzystanie atutów krajobrazowych, to podstawowe założenia uwzględniane w czasie planowania strategii zrównoważonego rozwoju. Strategia miast niskowęglowych/niskoemisyjnych wiąże się z dywersyfikacją obszarów koncentracji zanieczyszczeń środowiska, dywersyfikacją energetyczną, odpowiednim planowaniem przestrzennym, optymalizacją zużycia surowców i wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz rozproszeniem ośrodków kulturowych. Poprzez rozproszenie kulturowe rozumie się wykorzystanie w większym zakresie lokalnych centrów kultury oraz budowę małych rynków usługowych dla poszczególnych dzielnic miasta.

Bazując na powyższych założeniach opracowano autorski Model Ekorozwoju Wrocławia i Dolnego Śląska – zwany modelem M<sup>1</sup> Celem modelu jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery na terenie miasta o ok. 6% do roku 2020, poprzez zwiększenie o ok. 6,5 % produkcji energii, ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii, ograniczenie niskiej emisji i znaczące zwiększenie wdrażania technologii domów niskoenergetycznych i pasywnych oraz plusenergetycznych. Kluczowy jest odpowiedni wybór działań w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych przy uwzględnieniu efektywności kosztowej, czynnika społecznego, środowiskowego i wymiaru regionalnego. W proponowanym modelu wykazane zostanie, w jaki sposób poprzez realizację wyznaczonych celów, będzie on oddziaływać pozytywnie na Województwo Dolnośląskie. Należy zatem wykorzystywać niskoemisyjne źródła energii, dążyć do ich dywersyfikacji i zmiany struktury wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Należy wskazać źródła wytwarzania energii uwzględniając uwarunkowania gospodarcze, społeczne i przy uwzględnieniu zachowania bezpieczeństwa energetycznego, korzyści ekonomicznych i możliwości przyłączenia do sieci energetycznych. Szczególnie ważny jest rozwój energetyki odnawialnej, zapewniający wykorzystanie istniejącego potencjału przy użyciu modelu operacyjnego, wskazującego działania w zakresie m.in. OZE na najbliższe 7 lat. Ponadto kolejnym ważnym ele-

---

<sup>1</sup> Autorem koncepcji jest Łukasz Szałata z Zakładu Ekologii PWr. Model M powstaje pod kierunkiem Prof. Jerzego Zwoździaka. Prace nad modelem trwają od 2 lat i są częścią pracy badawczej Ł. Szałaty wykonywanej w ramach stażu pt. Innowacyjny model ekorozwoju Wrocławia jako miasta niskowęglowego w zakresie m.in. Implementacji odnawialnych źródeł energii.

mentem jest poprawa efektywności energetycznej budynków użyteczności publicznej oraz gospodarstw domowych. Podejmowane obecnie działania termomodernizacyjne w zakresie istniejącej infrastruktury przebiegają prawidłowo, duży potencjał rozwojowy występuje też w zakresie rozwoju budownictwa pasywnego i niskoenergetycznego. Należy także w ogólnym bilansie zamierzeń uwzględnić poprawę efektywności gospodarowania surowcami i materiałami, wykorzystywać efektywnie rozwój technologii niskoemisyjnych i promować nowe kierunki konsumpcji proekologicznej energii.

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom społecznym, w wielu silnie uprzemysłowionych regionach podjęto działania zmierzające do implementacji wielowymiarowych modeli, uwzględniających między innymi bilans energetyczny, bilans zasobów naturalnych i ludzkich, strukturę terenu czy klimat. Modele te opracowywane były przy uwzględnieniu specyficznych cech badanych obszarów. Różnorodność wprowadzonych rozwiązań wskazuje, że nie istnieje jeden sprawdzony sposób na obniżenie emisji ditlenku węgla a poprawienie warunków środowiskowych jest wypadkową wszystkich działań prowadzonych na danym obszarze. Wymienione elementy, są inspiracją dla modelu wrocławskiego.

Model M ma swój wymiar zarówno matematyczny, jak i praktyczny. Dane do Modelu M są poddawane analizie wielowymiarowej przy uwzględnieniu wniosków z wcześniej przeprowadzonej analizy SWOT dla przedmiotowego zagadnienia i stanowią podstawę do określenia drogi postępowania dla poszczególnych źródeł produkcji energii i ciepła, tak aby w funkcji czasu do roku 2020 osiągnąć celu strategiczny 15%.

Omawiany Model M w swoim zakresie obejmuje skoordynowane działania mające na celu zmniejszenie emisji ditlenku węgla. Inwestycje w odnawialne źródła energii (OZE) przy uwzględnieniu inżynierii finansowej i dostępnych źródeł współfinansowania inwestycji, bilansu produkcji energii na obszarze Wrocławia i Dolnego Śląska, przy uwzględnieniu stanu populacji i różnorodności zapotrzebowania na energię i jej produkcji przy racjonalnym rozplanowaniu pod względem urbanistycznym i wykorzystanie atutów krajobrazowych i klimatycznych, to podstawowe założenia uwzględniane w czasie planowania przedmiotowych działań wpisujących się w ekorozwój regionu. Ten wielowymiarowy i dynamicznego modelu zagadnieniem złożonym i cechującym się indywidualnym podejściem.

### 3. POTENCJAŁ WYBRANYCH ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII DLA OBSZARU DOLNEGO ŚLĄSKA

W ostatnich latach zauważono znaczący rozwój sektora energetyki odnawialnej, a w okresie najbliższych kilku lat można będzie zaobserwować jego dalszy, dynamiczny rozwój. Uregulowania prawno-administracyjne sprzyjają tym zamierzeniom, przykładem jest wprowadzenie wymogów dotyczących wykorzystywania energii

z odnawialnych źródeł, zawarte w dyrektywach Parlamentu Europejskiego, takich jak m.in. Dyrektywa 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [5], Dyrektywa 2010/31/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [6] czy Dyrektywa 2009/125/WE ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektów dla produktów związanych z energią [7].

Warte uwagi są zapisy Dyrektywy EPBD dotyczące charakterystyki energetycznej budynków. Ze względu na rozmiar zagadnienia, w okresie pięciu lat do 2018 roku, w Unii Europejskiej zostanie wprowadzony obowiązek realizacji nowych budynków administracji publicznej w technologii domów niskoenergetycznych oraz zeroenergetycznych. W konsekwencji przewiduje się dynamiczny rozwój sektora korzystającego z rozwiązań budownictwa pasywnego. W 2020 roku planowane jest rozszerzenie tego wymogu o pozostałe nowe budynki. Ponadto, w niektórych państwach członkowskich UE (m.in. w Niemczech) będzie wkrótce obowiązywało prawo nakazujące instalowanie zielonych dachów na wszystkich nowych budynkach, niezależnie od tego czy projekt zakłada również montaż paneli fotowoltaicznych na dachu. Już dziś na terenie Niemiec znajduje się ponad 86 milionów m<sup>2</sup> zielonych dachów, co razem stanowi 14% całej powierzchni dachów w Niemczech [17]. Przykładem polskiej budowl, która posiada zarówno zielony dach (tu: ogród botaniczny na dachu) jak i panele fotowoltaiczne, jest budynek Biblioteki Uniwersyteckiej w Warszawie. W Niemczech, doskonałym przykładem takiej budowl jest plus energetyczny budynek fabryki paneli fotowoltaicznych Solon w Berlinie. Obecnie najważniejszym obowiązującym w Unii aktem prawnym, związanym z odnawialnymi źródłami energii (OZE) jest Dyrektywa 2009/28/WE, której zapisy ustanawiają zwiększenie udziału OZE z obecnych ok. 8,5% do 20% w całkowitym zużyciu energii w UE oraz do 15% dla Polski, do 2020 roku. Ustala także obowiązkowe cele krajowe w zakresie odnawialnych źródeł energii w zużyciu energii finalnej oraz w sektorze transportu. Istniejący potencjał oraz efektywne gospodarowanie energią i zasobami środowiska stanowi wyzwanie dla dużych aglomeracji miejskich, zarówno w ujęciu efektywności ekonomicznej, ekologicznej oraz technologicznej. Dlatego też miasta w okresie ostatnich kilku lat pogłębiły działania, kładąc nacisk na zadania związane z poprawą jakości powietrza atmosferycznego w miastach oraz ze zwiększeniem komfortu życia swoich mieszkańców, m.in. poprzez analizowanie i stałe zwiększanie produkcji energii, ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii. Aby te działania mogły być realizowane z powodzeniem, wymagane są odpowiednie źródła wsparcia inwestycji prośrodowiskowych w zakresie m.in. zwiększenia produkcji energii z odnawialnych źródeł oraz zmniejszenia energochłonności istniejących obiektów a także poszukiwania nowych rozwiązań organizacji transportu w granicach miasta i województwa oraz wzrostu dywersyfikacji produkcji energii i jej zróżnicowanego wykorzystania w zależności od dostępności paliw na danych obszarze.

Na terenie Dolnego Śląska, opierając się na danych Raportu Urzędu Regulacji Energetycznej z 2010 roku, funkcjonuje 8 instalacji biogazowych, 2 elektrownie wiatrowe, 96 wodnych i trzy współspalające biomasę oraz paliwa kopalne. Łącznie posiadamy 109 instalacji o mocy 70,975 MW. Obecnie na Dolnym Śląsku, OZE są wyko-



rzystywane w 64 gminach. Prognoza rozwoju OZE na terenie Dolnego Śląska uwzględnia zarówno potencjał ekonomiczny, techniczny jak i badawczy. Gminy na terenie Dolnego Śląska posiadają dogodne warunki do rozwoju energetyki wiatrowej oraz słonecznej – głównie we wschodniej części województwa, natomiast na południe od Jeleniej Góry nasłonecznienie wynosi 3800 MJ/m<sup>2</sup>/rok. Warunki klimatyczne dla Dolnego Śląska są bardzo zbliżone do warunków na terenie Saksonii, gdzie powstało dużo farm wiatrowych [8]. Biorąc pod uwagę potencjał energetyczny, wykorzystanie OZE na terenie Dolnego Śląska na tle innych województw nie jest obecnie zadawalające, natomiast wykorzystanie potencjału rzek jest na dobrym poziomie. Dodatkowo na uwagę zasługuje tematyka wsparcia energetyki słonecznej i budownictwa energooszczędnego. Należy podkreślić, że istnieje jeszcze wiele możliwości zwiększenia wykorzystania energetyki wiatrowej oraz wodnej w regionie dolnośląskim. Rozwój OZE na terenie naszego województwa stanowi podstawę zrównoważonego rozwoju energetycznego i przybliży nas do osiągnięcia celu, jakim jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, w tym m.in. CO<sub>2</sub>, gwarantując jednocześnie pozytywne efekty ekonomiczne i społeczne. Analiza danych pozyskanych z Urzędu Regulacji Energetyki wskazuje, iż największą moc uzyskiwana jest obecnie z biomasy mieszanej, energetyki wodnej i z wytwarzania energii z biogazu, a najmniejsza z promieniowania słonecznego.

#### 4. TECHNOLOGIA ZIELONYCH DACHÓW – ELEMENT BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

Jednym z najistotniejszych celów, do którego dążą nowoczesne aglomeracje jest energooszczędność – przede wszystkim zwiększenie efektywności energetycznej budynków. Wyposażanie starych budynków w energooszczędne elementy, instalacja zielonych dachów i zbiorników na ciepłą wodę ogrzewanych kolektorami słonecznymi, to niektóre z rozwiązań popieranych m.in. przez C40 (Large Cities Climate Leadership Group) – grupę zrzeszającą 59 metropolii zaangażowanych w walkę ze zmianami klimatycznymi [9]. Docelowo, zgodnie ze Strategią Unii Europejskiej, do roku 2020 wszystkie nowo budowane obiekty w UE mają być wybudowane zgodnie ze standardami dotyczącymi budownictwa pasywnego i zeroenergetycznego, którego jednym z kryteriów jest zużycie energii nie większe niż 15 kWh/m<sup>2</sup> na rok [10]. Dyrektywa wymaga też, aby istniejące już budynki były maksymalnie przystosowane do wymogów zeroemisyjnych. Instalacja zielonych dachów na budynkach to aktualnie jedno z najszerzej dostępnych rozwiązań dla wielu problemów urbanizacji – technologia, która przynosi ogromne korzyści, zarówno mieszkańcom miast jak i jego środowisku. Zazielenianie dachów w silnie zurbanizowanych obszarach przynosi bardzo wiele korzyści, zarówno dla środowiska naturalnego, jak i mieszkańców miast. Biorąc pod uwagę różnorodność pozy-

tywnych aspektów tej technologii, możemy mówić o korzyściach natury ekologicznej, ekonomicznej i społecznej. Zielone dachy wykazują naturalną zdolność do kumulacji pyłów i toksycznych związków chemicznych z powietrza, asymilują także najważniejszy gaz cieplarniany – ditlenek węgla, który jest związkiem niezbędnym dla życia roślin. Wzbogacają również powietrze w tlen – szacuje się, że dach o obszarze 15 m<sup>2</sup> produkuje w ciągu roku tlen dla 10 osób [12]. Zielone dachy zatrzymują wodę opadową i odprowadzają ją z powrotem do naturalnego obiegu poprzez ewapotranspirację, czyli parowanie z powierzchni gruntu i roślin. Wody opadowe zatrzymywane w profilu dachu są częściowo wykorzystywane przez rośliny, w niewielkim stopniu odprowadzane do kanalizacji przez warstwę drenującą, a znaczny ich procent odparowuje, zwiększając w ten sposób wilgotność powietrza i regenerując atmosferę. Procent wód zatrzymywanych na zielonym dachu zależy od rodzaju profilu i typu zastosowanej roślinności, jednak nawet dachy o niskiej warstwie glebowej zatrzymują ok. 50–60% deszczu w skali roku, spowalniając równocześnie odpływ pozostałej części opadu [13]. Retencja wód opadowych pozwala uniknąć kosztów ich odprowadzania, zapewnia również ograniczenie odpływu deszczówki do kanalizacji co przeciwdziała jej okresowym przeciążeniom w trakcie intensywnych opadów. Dzięki instalacji zielonego dachu, budynek zyskuje dodatkową izolację termiczną – dach jest ocieplany zimą i chłodzony latem, co pozwala na ograniczenie kosztów ogrzewania i klimatyzacji budynku. Istotną zaletą pokrywania dachów zielenią jest też ochrona konstrukcji dachu przed uszkodzeniami zewnętrznymi, takimi jak zerwanie przez wiatr i zniszczenia wywołane promieniowaniem słonecznym. Promieniowanie UV i czynniki atmosferyczne działają bardzo niekorzystnie na właściwości techniczne i żywotność materiałów bitumicznych a także elementów z tworzyw sztucznych. Odizolowanie tych materiałów poprzez warstwę substratu glebowego i roślin, zwiększa ich trwałość nawet trzykrotnie. Ponadto instalacja zielonego dachu zmniejsza ryzyko zapalenia się budynku oraz spowalnia proces rozprzestrzeniania się ognia. Dach kryty smołą może się nagrzewać nawet do 90 °C, podczas gdy dach pokryty zielenią nie osiąga temperatur wyższych niż 35 °C. Zarówno zwiększanie wilgotności powietrza przez zielone dachy, jak i zapobieganie nagrzewaniu się powierzchni budynków, pozwoliłyby na zauważalną redukcję efektu miejskiej wyspy ciepła w przypadku stosowania tej technologii na szeroką skalę. Pozytywnym aspektem zazieleniania dachów jest również tłumienie hałasu ulicznego, szczególnie w przypadku ogrodów zakładanych na garażach podziemnych, czy niskich budynkach, a także tych położonych w sąsiedztwie autostrad, lotnisk czy torów kolejowych 14. Zielone dachy można także wykorzystać do celowego wspierania różnorodności ekosystemów miejskich [14]. Technologia zielonych dachów zapewnia tyle korzyści dla ochrony środowiska miejskiego, że została włączona w system certyfikacji LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), który został stworzony w 1998 roku przez niezależną amerykańską organizację Green Building Council propagującą ideę eko-budownictwa. Organizacja ta

zrzesza m.in. uczelnie wyższe, szkoły i jednostki rządowe zainteresowane podejmowaniem działań w kierunku promowania i tworzenia „zielonych budynków”. Zapotrzebowanie na zielone dachy rośnie, podyktowane jest to zarówno względami ekologicznymi i ekonomicznymi, jak również tym, że koszty instalacji zielonych dachów oraz materiałów do ich budowy stale maleją. Technologia jest coraz bardziej dostępna i zyskuje coraz szersze grono miłośników. Zielone dachy mogą również zostać założone na wielu dachach budynków istniejących, ale nie mogą być zasłoną dla działań wykluczających budowę zielonych buforów na terenie miasta. Projekty większości nowo powstających osiedli mieszkalnych, biurowców czy wieżowców na terenie Wrocławia zakładają instalację zielonego dachu. Przykładem takich inwestycji są m.in.: osiedla mieszkaniowe i biurowce firm deweloperskich takich jak Temar, Besta, Dom Development, Gant, Lokum, Mój Dom, czy wieżowiec Sky Tower.

## 5. WNIOSKI I DROGA POSTĘPOWANIA DO ROKU 2020

Skuteczna realizacja idei ekorozwoju miasta Wrocławia i całego województwa wymaga planowania i zarządzania terenem w ujęciu przestrzennym, uwzględniając koncepcję idei miasta niskoemisyjnego/niskowęglowego, w którą doskonale wpisuje się założenie modelu ekorozwoju Wrocławia, jako miasta innowacyjnych oraz inteligentnych rozwiązań niskoemisyjnych, wpływających pozytywnie na poprawę komfortu życia mieszkańców. Należy również mieć na uwadze fakt, iż rozwój zrównoważony miasta w kontekście zwiększenia wykorzystania OZE oraz zwiększenia zastosowania rozwiązań budownictwa energooszczędnego i pasywnego, wpłynie pozytywnie także na rozwój gospodarczy regionu. Warto zwrócić uwagę, że rozwój regionu i miasta będzie przebiegać w osiach kierunkowych trwałego zrównoważonego rozwoju, tj.:

- w osi ekonomicznej stymulując pozytywnie rozwój gospodarczy regionu, wypracowując nowe innowacyjne technologie produkcji energii z OZE,
- w osi ekologicznej, zauważalnej w skali czasu do roku 2020 poprzez wyraźne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i zmniejszenie niskiej emisji na terenie miasta.

Wszystkie te czynniki zapewnią poprawę wizerunku Wrocławia, jako miasta z uporządkowanych łańcem przestrzennym, instytucjonalnym i środowiskowym, choćby poprzez wdrażanie technologii zielonych dachów oraz wdrażanie koncepcji rozwiązań transportowych, mających na celu zachęcanie mieszkańców miast do korzystania ze środków transportu miejskiego. Należy także dążyć do stałego wzrostu zróżnicowania produkcji energii i jej odpowiedniego magazynowania, przed dostarczeniem do jej konsumenta. Dotyczy to także budowania mało kolizyjnych linii przejazdu przez miasto oraz kształtowania optymalnych rozwiązań dalszego intensywnego rozwoju sieci ścieżek rowerowych. Przykładem dążenia do realizacji tych celów w prak-

tyce, byłoby wybudowanie pokazowego, innowacyjnego „budyńku przyszłości” dla całego regionu i miasta Wrocławia. Obiekt taki miałby na celu wyznaczenie i monitorowanie przyszłościowych kierunków działań w zakresie produkcji energii z OZE, sprawdzanie nowych technologii środowiskowych, takich jak np. wykorzystanie nowych technologii zasilania w proekologicznych środkach transportu, jak i tworzenie nowych rozwiązań urbanistyczno-energetycznych. Obiekt taki docelowo stanowiłby centrum integrujące działania środowiskowe dla Stolicy Dolnego Śląska. Reasumując, model ekorozwoju opiera się na trwałym, zrównoważonym społecznie i gospodarczo rozwoju, który pozwala godzić aspiracje materialne obecnego i przyszłych pokoleń, z wymogami o dbałość o środowisko i jego zasoby.

#### LITERATURA

- [1] ROGALL H., *Ekonomia zrównoważonego rozwoju – teoria i praktyka*, Wydawnictwo Zysk i S-ka, Poznań 2010, 54–82.
- [2] KRONENBERG J., BERGIER T., *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sędzimir, Kraków 2010, 71–82.
- [3] FIEDOR B., CZAJA S., GRACZYK A., JAKUBCZYK Z., *Podstawy ekonomii Środowiska i zasobów naturalnych*, C.H. Beck, Warszawa 2002, 10–14.
- [4] SZALAŁATA Ł., ZWOŹDZIAK J., *Analiza SWOT jako podstawowe narzędzie w zarządzaniu środowiskiem*, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Rocznik Ochrona Środowiska, T. 13, vol. 2011, 1105–1113.
- [5] Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [6] Dyrektywa 2010/31/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [7] Dyrektywa 2009/125/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 października 2009 r. w sprawie ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.
- [8] SZALAŁATA Ł., *Granty i zachęty finansowe dla zwiększenia efektywności energetycznej – Odnawialne źródła energii drogą do trwałego ekorozwoju oraz zwiększenia efektywności energetycznej Dolnego Śląska*, Publikacja Projektu GRACE 0524R2 miniprogramu EnercitEE w ramach Programu INTERREG IV C, Wrocław 2013, 5–38.
- [9] ROSENZWEIG C., *Klimat lokalny, klimat globalny*, Scientific American 10.2011, nr 10 (242).
- [10] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0483:FIN:PL:HTML>, Dostęp 2.09.2013.
- [11] OSMUNDSON T., *Roof Gardens: History, Design and Construction*, W.W. Norton & Company, New York–London 1999.
- [12] SIEROCKA K., *Zielony Ogród na Dachy*, Gazeta Wyborcza, 23.09.2011.
- [13] LIU K., *Energy efficiency and environmental benefits of rooftop gardens*, Construction Canada, Vol. 44, No. 2, March 2002, 17, 20–23.
- [14] KWIECIŃSKA K., SZALAŁATA Ł., *Zielone dachy elementem zielonych miast, Zieleń miejska – naturalne bogactwo miasta. Zieleń a klimat społeczny miasta*, praca zb. pod red. prof. Marka Kosmali, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Toruń 2012, 197–208.

THE CITY OF WROCLAW AND LOWER SILESIA REGION ECO-DEVELOPMENT MODEL,  
TAKING INTO ACCOUNT RENEWABLE ENERGY SOURCES IMPLEMENTATION

Maintaining a pro-environmental image of Lower Silesia and implementation of the EU Strategy 2020, require undertaking correlated measures, aimed to increase production of electricity, heat and cooling from renewable energy sources, promote energy-efficient building technology and new solutions in the field of public transport. Lower Silesia and the City of Wrocław develop dynamically, hence it is important to respect the environment and natural resources. To ensure a sustainable development of Lower Silesia, it is crucial to realize investments aimed at increasing the quality of life of residents by providing them energy security and enabling the use of innovative technologies in the service of environmental protection. It is also necessary to implement measures to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere.

## ROZDZIAŁ XXVIII

# EFEKTYWNOŚĆ PRACY INSTALACJI SŁONECZNEJ DLA OKRESU 2002–2012 W RZECZYWISTYCH WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH

Jarosław DĄBROWSKI\*, Edward HUTNIK\*

W artykule przedstawiono wyniki badań dla wielolecia 2002–2012, na podstawie których określono efektywność pracy instalacji słonecznej, dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodzinym (Stacja Energii Odnawialnej Kamieniec). Instalacja kolektorów słonecznych płaskich cieczowych o powierzchni  $5 \text{ m}^2$  wspomaga przygotowanie ciepłej wody użytkowej, wykorzystując ciepło pozyskane z promieniowania słonecznego. Na podstawie pozyskanych danych pomiarowych wyznaczono zależność i opisano wzorem efektywność pokrycia zapotrzebowania na energię ciepłą przez instalację słoneczną. Końcowym etapem analiz było wyznaczenie zysków związanych z eksploatacją instalacji słonecznej dla różnych nośników energii.

Słowa kluczowe: *energia odnawialna, kolektor słoneczny, efektywność, zysk*

## 1. WPROWADZENIE

Oprócz prowadzonych badań nad ilością promieniowania słonecznego, które dociera do powierzchni ziemi i do urządzeń przetwarzających tę energię, prowadzone są także badania analityczno-numeryczne modeli symulacyjnych, opisujących pracę instalacji słonecznych.

Pierwsze modele przedstawiające proces wymiany ciepła pomiędzy budynkiem, a otoczeniem powstały już na początku lat osiemdziesiątych i zostały opisane w pracach Howella [2] i Paassena [7].

Uwzględniając podział procesów wymiany ciepła, na nagrzewanie medium przenoszącego energię ciepłą i na odbieranie ciepła od absorbera, Norton określił czas ustalania się odpowiedzi kolektora i stałe czasowe [5]. Zastosował on metodę  $f$  – chart

---

\* Instytut Budownictwa, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław.

z wykorzystaniem analizy stanów nieustalonych w modelowaniu i analizie przebiegu pracy kolektorów słonecznych. Khatib przedstawił pracę, także opierając się na metodzie  $f$  – chart, odnośnie analizy eksperymentalnej wyników badań z wykorzystaniem danych promieniowania słonecznego [4]. Metoda  $f$  – chart jest powszechnie stosowana w celu szacunkowej oceny stopnia pokrycia potrzeb cieplnych przy wykorzystaniu energii słonecznej dla okresów długoterminowych z uwzględnieniem danych meteorologicznych.

Z kolei Hollands w swojej pracy zaprezentował sposób modelowania empirycznego pracy całej instalacji [1]. Natomiast Howells przedstawił analizę symulacyjną instalacji, poświęcając najwięcej uwagi numerycznemu rozwiązaniu tego zagadnienia [3].

Ong, wykorzystując analogię termoelektryczną, przedstawił w swojej pracy przepływ ciepła w kolektorach przy zastosowaniu sieci cieplnej [6].

Badania analityczno-numeryczne modeli symulacyjnych, wykorzystania instalacji słonecznych są tylko pewnym przybliżeniem efektów, jakie możemy otrzymać dla modelowanego układu pracującej instalacji słonecznej. Jednak najbardziej wiarygodne wyniki spodziewanych efektów pracy eksploatowanych i nowoprojektowanych instalacji słonecznych może dać tylko analiza eksperymentalna na odpowiednio przygotowanym stanowisku badawczym dla całego okresu wykorzystywania instalacji słonecznej i przy powtórzeniu wyników dla rozpatrywanego cyklu badań.

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

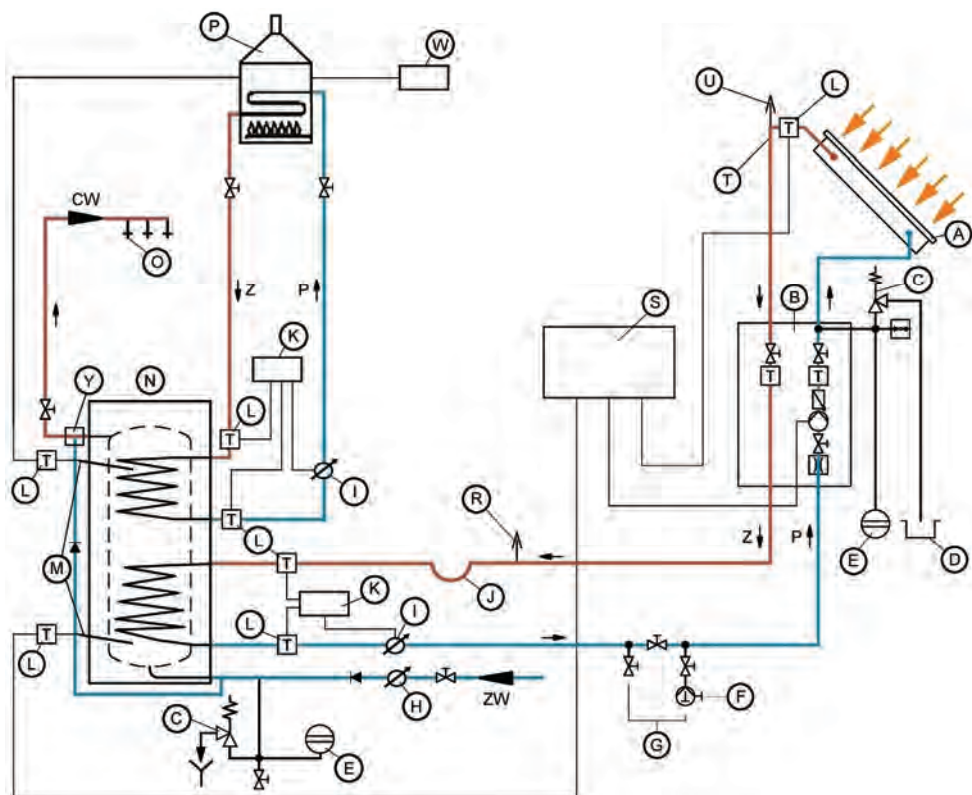
Celem badań było określenie efektywności pracy instalacji słonecznej, wykorzystywanej do wspomagania przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) w budynku mieszkalnym jednorodzinny (Stacja Energii Odnawialnej Kamieniec), w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

Badaniami objęta została standardowa instalacja słoneczna zbudowana z dwóch płaskich kolektorów cieczowych i ogrzewacza jednowężownicowego. Na podstawie przeprowadzonych badań dla okresu 2002–2012 wykonano bilans zużycia energii odnawialnej i nieodnawialnej, przez mieszkańców tego budynku, na potrzeby przygotowania c.w.u. Następnie wyznaczono zależność i opisano wzorem efektywność pokrycia zapotrzebowania na energię cieplną przez instalację słoneczną. Kończącym etapem badań było wyznaczenie zysków związanych z eksploatacją instalacji słonecznej dla różnych nośników energii.

W budynku Stacji Energii Odnawialnej oprócz badań prowadzonych na instalacji słonecznej, które są przedmiotem niniejszego opracowania prowadzone są także badania doświadczałne na dwóch pozostałych instalacjach wykorzystujących energię odnawialną: instalacja z pompą ciepła i ogniwami fotowoltaicznymi.

## 3. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze (rys. 1) wykonane zostało w 2001 roku dla budynku jednorodzinnego, wolnostojącego z dachem stromym. Budynek wybudowany został w miejscowości położonej w pobliżu Wrocławia pod koniec lat dziewięćdziesiątych i oddany do użytkowania także w 2001 roku.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego:

A – kolektory słoneczne, B – zestaw pompowy, C – zawór bezpieczeństwa,  
 D – zbiornik na czynnik roboczy, E – naczynie wzbiorcze, F – pompa ręczna do napełniania układu,  
 G – armatura do napełniania, H – wodomierz, I – przepływomierz, J – pętla termoizolacyjna,  
 K – licznik ciepła, L – czujnik temperatury, M – tuleja zanurzeniowa, N – pojemnościowy ogrzewacz  
 wody, O – punkty czerpalne, P – kocioł jednofunkcyjny, R – separator powietrza, S – automatyka  
 sterująca, T – elastyczny przewód przyłączeniowy, U – odpowietrznik, W – moduł obsługowy kotła,  
 Y – mieszacz, oprac. własne

W skład stanowiska badawczego wchodzi: kompletny, typowy zestaw systemu solarnego, kocioł gazowy i specjalne oprzyrządowanie oraz aparatura pomiarowa. Dwa



kolektory cieczowe płytowe Vitosol 100 firmy Viessmann, o powierzchni czynnej absorbera równej  $5 \text{ m}^2$ , zainstalowane zostały na południowej połaci dachowej budynku, która jest nachylonej pod kątem  $42^\circ$  do poziomu terenu. Zorientowanie kolektorów względem kierunku południowego wynosi  $11,5^\circ$  skierowania w stronę kierunku wschodniego. Takie usytuowanie pola kolektorów, względem padających promieni słonecznych, jest w optymalnym zakresie, dla pozyskiwania energii w cyklu dwunastomiesięcznym na terenie Polski. Ciepła woda użytkowa przygotowywana jest w ogrzewaczu o pojemności 300 l przez kolektory słoneczne i w razie potrzeby dogrzewana do wymaganej temperatury przez kocioł jednofunkcyjny gazowy.

#### 4. METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono przez okres jedenastu lat od 1 stycznia 2002 roku do 31 grudnia 2012 roku. Odczyty z ciepłomierzy i wodomierza przeprowadzono codziennie o godzinie  $24^{00}$ , po zakończeniu dziennego rozbioru wody.

Główne elementy pomiarowe to: ciepłomierz CQM-III-K/JS-15-1.5 do pomiaru ilości energii cieplnej z układu kocioł – ogrzewacz i ciepłomierz CQM-III/WS-15-1 do pomiaru ilości energii cieplnej z układu kolektory – ogrzewacz oraz wodomierz do pomiaru rozbioru c.w.u. Graniczny błąd dopuszczalny dla ciepłomierzy wynosi  $E_i = \pm(0,5+3/\Delta t)\%$  i dla wodomierza  $E_f = \pm(3+0,05q_p/q)\%$  – nie więcej niż 5%.

Dopływ energii cieplnej z kolektorów słonecznych następował w momencie, kiedy pomiędzy czujnikiem temperatury czynnika w kolektorze i dolnym czujnikiem temperatury w ogrzewaczu zmierzona została różnica temperatur, która jest wyższa lub równa od wartości ustawionej w elektronicznym regulatorze temperatury ( $10^\circ\text{C}$ ). Przy spadku tej różnicy temperatury poniżej  $10^\circ\text{C}$ , następowało przerwanie ładowania ogrzewacza z powodu braku energii cieplnej możliwej do uzyskania z promieniowania słonecznego.

Z kolei dopływ energii cieplnej z kotła następował tylko w ustalonych przedziałach czasowych, zaprogramowanych w regulatorze sterującym pracą kotła. Okres dostarczania c.w.u. dla mieszkańców domu został zaprogramowany w taki sposób, aby w momencie porannego poboru wody, jak i przez cały dzień, c.w.u. była dostępna o żądanych parametrach użytkowych. W okresie braku zapotrzebowania na c.w.u., czyli: późny wieczór, noc i wczesne rano, nie następowało dogrzewanie wody w ogrzewaczu przez kocioł.

Minimalną temperaturę, dostarczanej c.w.u., ustawiono na  $41^\circ\text{C}$ . Natomiast maksymalną temperaturę c.w.u., na jej odbiorniku, ograniczał mieszacz i wynosiła ona  $50^\circ\text{C}$ .

Z kolei temperaturę w dolnej części ogrzewacza c.w.u. ograniczono do  $60^\circ\text{C}$ . W momencie osiągnięcia  $60^\circ\text{C}$  czujnik w dolnej części ogrzewacza przekazywał sygnał do elektronicznego regulatora różnicowego temperatury, który przerywał dopływ energii

cieplnej z kolektorów. Ograniczenie to zostało wprowadzone ze względu na ochronę ogrzewacza przed osiągnięciem zbyt wysokiej temperatury w jego górnej części.

## 5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 1 pokazano wyniki badań uzyskane na stanowisku badawczym w okresie 2002–2012 roku.

Tabela 1. Wyniki badań uzyskane na stanowisku badawczym w latach 2002–2012, oprac. własne

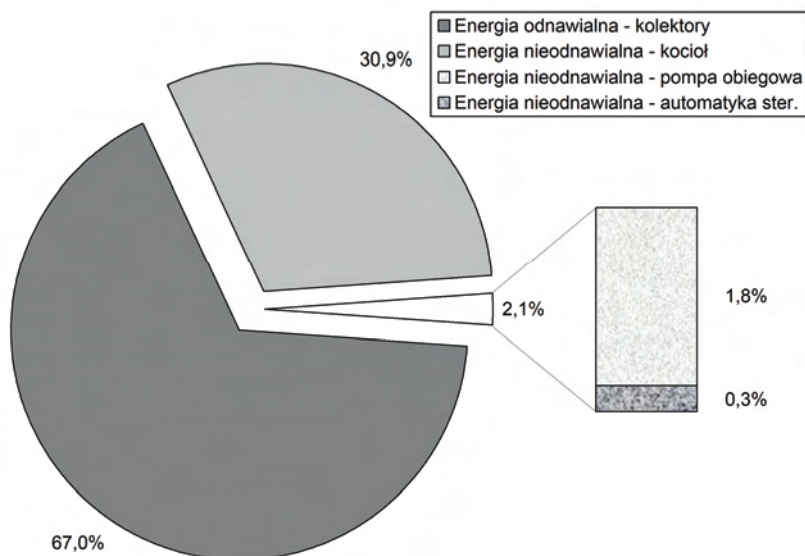
Rok	Energia kolektory–ogrzewacz	Energia kocioł–ogrzewacz	Energia pompa obiegowa	Energia automatyka sterująca	$\Sigma E$	Efektywność instalacji słonecznej	Rozbiór c.w.u.
	$E_{KOL}$ [kWh]	$E_{KOT}$ [kWh]	$E_{POM}$ [kWh]	$E_{AUT}$ [kWh]	[kWh]	$EF$ [%]	$V_{WOD}$ [m <sup>3</sup> ]
2002	2457,2	928,1	66,936	9,855	3462,1	71,0	70,088
2003	2794,7	880,3	71,483	9,855	3756,3	74,4	70,385
2004	2488,3	1036,9	68,681	9,882	3603,8	69,0	73,078
2005	2725,0	1291,9	75,813	9,855	4102,6	66,4	84,435
2006	2605,6	1432,5	75,920	9,855	4123,8	63,2	84,988
2007	2330,6	1198,9	60,268	9,855	3599,6	64,7	75,433
2008	2204,7	917,5	64,344	9,882	3196,4	69,0	66,291
2009	2239,7	1156,9	55,827	9,855	3462,3	64,7	71,186
2010	2448,3	1710,0	67,879	9,855	4236,1	57,8	72,752
2011	3143,1	1219,7	84,900	9,855	4457,5	70,5	89,228
2012	3077,5	1397,8	88,506	9,882	4573,7	67,3	89,460
$\Sigma$	<b>28514,7</b>	<b>13170,6</b>	<b>780,557</b>	<b>108,486</b>	<b>42574,3</b>	<b>67,0</b>	<b>847,324</b>

W ciągu tego okresu kolektory słoneczne pozyskały aż 28,51 MWh (średnio 2,59 MWh/rok) energii cieplnej, natomiast kocioł gazowy uzupełnił niedobór w ilości 13,17 MWh (średnio 1,20 MWh/rok). Średnio każdej doby w tym okresie pobierane z ogrzewacza było 210,9 l c.w.u.

Najmniejszą ilość energii odnawialnej pozyskano z kolektorów słonecznych dla roku 2008 i wyniosła ona 2,20 MWh. Z kolei dla roku 2011 pozyskano o 42,6% więcej energii i kształtowała się na poziomie 3,14 MWh. Natomiast kocioł najwięcej energii nieodnawialnej musiał uzupełnić w 2010 roku i ta ilość wyniosła aż 1,71 MWh. Mniej o 94,4% energii cieplnej kocioł uzupełnił w roku 2003 (0,88 MWh).

W obliczeniach efektywności instalacji słonecznej uwzględniono także energię elektryczną zużyta przez pompę obiegową i automatykę sterującą. Są to odbiorniki energii elektrycznej o mocach 45 W (pompa wymuszająca obieg glikolu) i 3 W (au-

tomatyka sterująca pracą układu). Udział dodatkowej energii elektrycznej pobranej przez automatykę i urządzenia pomocnicze instalacji słonecznej, w ciągu jedenastu lat eksploatacji, wyniósł zaledwie 2,1% (rys. 2) w stosunku do całkowitej sumy energii i kształtował się na poziomie 0,89 MWh (średnio 0,08 MWh/rok).



Rys. 2. Bilans energii odnawialnej i nieodnawialnej dla przygotowania c.w.u., oprac. własne

Na podstawie posiadanych danych można przy pomocy poniższego wzoru obliczyć efektywność pracy instalacji słonecznej ( $EF_{INS}$ ) dla poszczególnych okresów:

$$EF_{INS} = \frac{E_{KOL}}{E_{KOL} + E_{KOT} + E_{POM} + E_{AUT}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$E_{KOL}$  – energia cieplna pozyskana przez kolektory słoneczne, kWh,

$E_{KOT}$  – energia cieplna uzupełniona przez kocioł, kWh,

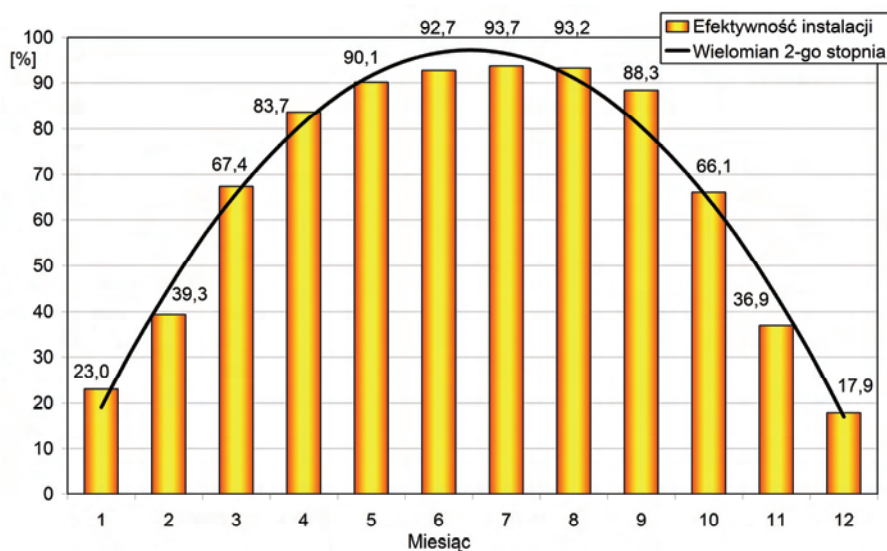
$E_{POM}$  – energia elektryczna zużyta przez pompę obiegową, kWh,

$E_{AUT}$  – energia elektryczna zużyta przez automatykę sterującą, kWh.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń efektywność instalacji słonecznej dla wielolecia 2002–2012 wykazano, że wahała się ona w przedziale od 57,8% do 74,4% i dla całego okresu badań wyniosła średnio 67,0% na rok.

Na rysunku 3 przedstawiono średnie efektywności instalacji słonecznej w rozbiciu na poszczególne miesiące. Miesiącem o najmniejszej efektywności pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego był grudzień. Ilość energii uzyskana

z kolektorów słonecznych w tym miesiącu wyniosła średnio 48,0 kWh, co daje efektywność instalacji na poziomie 17,9%. Natomiast miesiącem o największej efektywności pozyskiwania energii cieplnej ze Słońca był lipiec. Średnia ilość energii uzyskana z kolektorów słonecznych w tym miesiącu wyniosła aż 273,8 kWh, przy poziomie efektywności instalacji 93,7%. Dla półrocza ciepłego (kwiecień–wrzesień) instalacja solarna pozyskała średnio aż 1787,2 kWh energii cieplnej, przy efektywności równej 90,1%. Natomiast dla półrocza chłodnego (październik–marzec) efektywność instalacji wyniosła zaledwie 42,7% i pozyskano średnio 805,0 kWh czystej energii.



Rys. 3. Średnia efektywność instalacji słonecznej pokrycia zapotrzebowania energią odnawialną dla poszczególnych miesięcy roku, oprac. własne

Efektywność instalacji słonecznej dla danego okresu w roku można dość dokładnie opisać wielomianem 2-go stopnia, który odzwierciedla zależność pomiędzy dwoma parametrami:

$$Z = a \cdot X^2 + b \cdot X + c \quad (2)$$

gdzie:

- Z – efektywność instalacji słonecznej,
- X – dany okres roku,
- a, b, c – współczynniki.

Dla powyższego wielomianu wyestymowano współczynniki a, b, c, dla całego cyklu rocznego i ostatecznie wzór na efektywności instalacji słonecznej przyjmuje następującą postać:

$$EF_{INS} = -2,6172 \cdot m^2 + 33,835 \cdot m - 12,123 \quad (3)$$

gdzie  $m$  – dany okres roku.

Estymator wielomianu 2-go stopnia został przedstawiony na rysunku 3 dla którego współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,98$ .

Istnieje wiele czynników, które mają wpływ na opłacalność ekonomiczną zastosowania instalacji kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użytkowej.

Jednym z nich jest odpowiedni wybór obiektu budowlanego w którym zlokalizowana będzie instalacja. Dokładnie chodzi o to, jaki nośnik energii konwencjonalnej będzie zastąpiony energią pozyskaną przez kolektory. Nośniki energii konwencjonalnej, wykorzystywane do ogrzewania wody, różnią się m.in.: dostępnością, ceną, obciążeniem dla środowiska naturalnego, wartością opałową oraz różną technologią ich spalania. Najlepsze efekty, jeżeli chodzi o opłacalność ekonomiczną inwestycji, osiąga się w obiektach, gdzie zastępujemy najdroższe nośniki energii konwencjonalnej energią pozyskaną z instalacji słonecznej.

Znając efektywność instalacji i ilość energii konwencjonalnej zaoszczędzonej dzięki wykorzystaniu instalacji słonecznej, można przeprowadzić analizę zysków związanych z wykorzystaniem darmowej energii odnawialnej. Jak widać w tabeli 2, do najdroższych nośników energii można zaliczyć energię elektryczną oraz gaz płynny (propan), gdzie koszt wytworzenia 1 MWh energii wynosi odpowiednio 594,94 zł i 554,28 zł. Średnie koszty wykorzystania 1 MWh energii poniesiemy przy wykorzystaniu oleju opałowego (460,13 zł). Natomiast do tanich nośników energii można zaliczyć gaz ziemny (288,04 zł/MWh).

Tabela 2. Zyski związane z zaoszczędzeniem różnych nośników energii konwencjonalnej wg cen na dzień 1 czerwca 2013 roku, oprac. własne

Nośnik energii	Jednostka obliczeniowa	Cena jednostki energii	Wartość opałowa	Sprawność urządzenia	$K_N$ – koszt 1 MWh energii	Zysk dla okresu 2002–2012
		zł	MWh/jednostkę	%	zł/MWh	zł/11 lat
Gaz ziemny GZ 50	1000 m <sup>3</sup>	2633,68 <sup>(1)</sup>	10,972	80	288,04	<b>8213,37</b>
Olej opałowy	1000 kg	4548,00 <sup>(2)</sup>	11,861	80	460,13	<b>13120,47</b>
Gaz płynny (propan)	1000 kg	5947,00 <sup>(3)</sup>	12,875	80	554,28	<b>15805,13</b>
Energia elektryczna (stała taryfa)	1000 kWh	583,27 <sup>(4)</sup>	1,000	98	594,94	<b>16964,54</b>

<sup>1</sup> Cena według taryfy W – I zakładu gazowniczego: 2,63 zł/m<sup>3</sup>.  
<sup>2</sup> Cena według firmy sprzedającej olej opałowy: 3,79 zł/l 1 kg = 1,2 l.  
<sup>3</sup> Cena według firmy sprzedającej gaz płynny do celów grzewczych: 3,13 zł/l 1 kg = 1,9 l.  
<sup>4</sup> Cena według taryfy G-11 firmy sprzedającej prąd: 0,583 zł/kWh.

Zyski finansowe związane z oszczędnością energii konwencjonalnej, mogą być ponad dwa razy większe przy zastąpieniu najdroższego nośnika energii (prąd – 16964,54 zł) względem najtańszego w tej kalkulacji (gaz ziemny – 8213,37 zł).

## 6. WNIOSKI

1. Po przeprowadzeniu badań, dla wielolecia 2002–2012, można stwierdzić, że wykorzystanie instalacji słonecznej do przygotowania ciepłej wody użytkowej w polskich warunkach meteorologicznych jest zasadne, ponieważ współczynnik efektywności wykorzystania tego typu instalacji kształtuje się na dość wysokim poziomie 67%. Większą część energii odnawialnej możemy pozyskać dla półroczną ciepłego (kwiecień–wrzesień) i jej udział kształtuje się na poziomie 68,9%, przy zaledwie 31,1% dla okresu chłodnego (październik–marzec).
2. Zależność efektywności instalacji słonecznej, pokrycia zapotrzebowania energią odnawialną, od danego okresu w roku dość dobrze można opisać krzywą 2-go stopnia, dla której miesięczny współczynnik determinacji wyniósł  $R^2 = 0,98$ .
3. Przy cenie wyjściowej instalacji słonecznej 12.500,00 zł koszty zakupu instalacji zwrócą się już po 8,1 latach przy zastępowaniu energii elektrycznej. Dla pozostałych nośników energii konwencjonalnej okres zwrotu jest nieco dłuższy i wynosi odpowiednio dla gazu płynnego 8,7 lat, oleju opałowego 10,5 lat i gazu ziemnego 16,7 lat.
4. Instalacja słoneczna jest opłacalną inwestycją, ponieważ najwcześniej już po 8,1 latach, a najpóźniej po 16,7 latach zacznie przynosić oszczędności finansowe jej użytkownikom, przy zakładanej żywotności instalacji 25 lat oraz przyczyni się do ochrony środowiska naturalnego i ochrony wyczerpujących się zasobów paliw kopalnych.
5. Istnieje również możliwość skorzystania z dofinansowania w formie dotacji NFOŚiGW, w wysokości 45% kapitału kredytu bankowego, wykorzystanego na sfinansowanie kosztów kwalifikowanych przedsięwzięcia (zakup i montaż kolektorów słonecznych), które przyczyni się do skrócenia czasu zwrotu inwestycji i w końcowym efekcie wzrostu oszczędności finansowych, wynikających z wykorzystania darmowej energii Słońca.

## LITERATURA

- [1] HOLLANDS K.G.T., FRASER K.F., BRUNGER A.P., *An empirical model for natural convection heat exchangers in SDHW systems*, Solar Energy, 55, 1995, 75–84.
- [2] HOWELL J.R., BANNEROT R.B., VLIET G.C., *Solar-thermal energy systems*, McGraw-Hill Co., New York 1982.
- [3] HOWELLS P.B., *Simulation of system control strategies for solar thermal applications*, PhD Thesis, University of Wales College of Cardiff, 1984.

- [4] KHATIB I.A., *Indoor short term performance testing of SDHW Systems and long term predictions*, PhD Thesis, University of Wales College of Cardiff, 1989.
- [5] NORTON B., PRAPAS D.E., MILONIDIS E., PROBERT S.D., *Response function for solar-energy collectors*, *Solar Energy*, 40, 4, 1988, 371–383.
- [6] ONG K.S., *Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure*, *Solar Energy*, 55, 1995, 95–109.
- [7] PAASSEN van A.H., *Indoor climate and energy calculations*, PhD Thesis, Delft University of Technology, WTHD 137, 1981.

EFFECTIVENESS OF A SOLAR INSTALLATION WORK FOR THE PERIOD  
OF 2002–2012 IN THE REAL – LIFE OPERATING CONDITIONS

The article presents the results of the study carried out for the period of 2002–2012, based on which the effectiveness of the solar installation operation was determined for a domestic hot water system in a single-family detached house (Kamieniec Renewable Energy Station). The solar installation consisting of flat liquid collectors with a surface area of 5 m<sup>2</sup> supports the preparation of hot domestic water with the use of heat acquired from solar radiation. On the basis of the measurement data obtained, its dependency was determined and coverage of the demand for thermal energy needed for the solar installation was described by means of an equation. The final stage of the analyses was to determine gains connected with the operation of the solar installation for different energy carriers.

## ROZDZIAŁ XXIX

# SOLARNA WYTWORNICA PARY JAKO ELEMENT NAPĘDOWY KLIMATYZATORA STRUMIENICOWEGO – ANALIZA PRACY

Bartosz GIL\*

Przedmiotem pracy jest solarna wytwornica pary, mogąca stanowić źródło napędowe strumieniowego obiegu chłodniczego. Jako czynnik roboczy w prezentowanym urządzeniu zastosowano n-pentan (R601). Celem określenia sprawności w ustalonym stanie pracy zbudowano model matematyczny wytwornicy. Analizę wykonano dla szerokiego zakresu temperatury wrzenia czynnika  $T_w = 70\text{--}180\text{ }^\circ\text{C}$  oraz dla różnych geometrii kanałów przepływowych. Uzyskane wyniki pokazują, iż sprawność pracy solarnej wytwornicy pary wzrasta wraz ze spadkiem temperatury  $T_w$ , a jej maksymalna wartość wynosi  $\eta_{\text{SWP}} = 0,906$ .

Słowa kluczowe: *kolektor słoneczny, solarna wytwornica pary, strumienica, klimatyzacja*

## 1. WPROWADZENIE

### 1.1. ENERGIA SŁONECZNA

Obszerne wykorzystanie paliw kopalnych we wszystkich dziedzinach działalności ludzkiej doprowadziło do powstania niepożądanych zjawisk atmosferycznych i zanieczyszczenia środowiska. Na co dzień słyszy się o zmianach klimatycznych, globalnym ociepleniu i zubożeniu warstwy ozonowej. Zjawiska te związane z emisją gazów cieplarnianych, głównie dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) i metanu ( $\text{CH}_4$ ), powstających podczas spalania paliw oraz uwalnianiem do atmosfery związków CFC. Gazy te zapobiegają wydostawaniu się promieniowania podczerwonego, pochłaniając je i oddając do atmosfery, tym samym powodując wzrost temperatury powierzchni Ziemi. Zgodnie z danymi IPCC za rok 2007 [5] średni przyrost temperatury powierzchni globu na przestrzeni ostatnich 50 lat wyniósł  $0,13\text{ }^\circ\text{C}$  na dekadę i jest niemal dwukrotnie wyższy niż wzrost obserwowany dla

---

\* Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: bartosz.gil@pwr.wroc.pl



lat 1906–2005. Największy wzrost emisji gazów cieplarnianych zaobserwowano w sektorach energetyki, transportu i przemysłu. Aż 56,6% globalnej emisji CO<sub>2</sub> w roku 2004 spowodowane było użyciem paliw kopalnych [5].

W celu ograniczenia gazów cieplarnianych oraz uniknięcia dalszych niepożądanych skutków ich koncentracji w atmosferze koniecznym jest znaczące zastąpienie klasycznych paliw poprzez wykorzystanie czystych, odnawialnych źródeł energii. Ponadto ograniczona ilość kopalni i możliwość ich wyczerpania w dłuższej perspektywie zmuszają do wzmożonych prac nad wykorzystaniem nowych rozwiązań energetycznych w celu zrównoważonego rozwoju oraz utrzymania w czystym stanie środowiska naturalnego dla przyszłych pokoleń.

Pośród wszystkich źródeł odnawialnych (wiatr, geotermia, energia wody) energia słoneczna jest uważana za główne źródło mogące zastąpić paliwa energetyczne [10]. Jest to źródło niewyczerpalne o równomiernej dystrybucji w przyrodzie, ogólnodostępne i stosunkowo łatwe do pozyskania. Całkowita ilość energii emitowanej przez Słońce to około 885 milionów TWh w ciągu roku, czyli 6200 razy więcej niż światowe zużycie energii w 2008 roku [4]. Całkowita irradiacja słoneczna, czyli ilość energii emitowanej w jednostce czasu na jednostkę powierzchni ustawionej prostopadle do promieniowania opisywana jako stała słoneczna (określana na poziomie górnej granicy atmosfery) wynosi 1368 W/m<sup>2</sup>. Ze względu na osłabienie promieniowania słonecznego przez atmosferę do powierzchni Ziemi dociera około 1000 W/m<sup>2</sup>, gdy Słońce jest w zenicie.

## 1.2. KONCEPCJA KLIMATYZACJI STRUMIENICOWEJ Z NAPĘDEM SOLARNYM

Nieustające prace badawcze nad ekologicznymi i efektywnymi metodami pozyskiwania energii chłodniczej doprowadziły do powstania napędzanych cieplnie systemów strumienicowych. Ze względu na zgodność zapotrzebowania na energię chłodniczą z dostępnością promieniowania słonecznego wykorzystanie energii solarnej jako źródła napędowego wydaje się być rozwiązaniem najkorzystniejszym. Niestety celem zapewnienia poprawnej pracy całego układu niezbędne jest utrzymywanie wysokiej temperatury obiegu napędowego, przez co uzyskiwane COP jest niższe od jedności. Poprawa parametrów pracy systemu strumienicowego oraz konwersji energii słonecznej w obiegu napędowym jest jednak stałym tematem badań, dzięki czemu następuje systematyczny wzrost współczynnika efektywności chłodniczej obiegu [2].

Systemy strumienicowe mogą być zasilane różnego typu kolektorami słonecznymi. Optymalna temperatura pracy płaskiego kolektora słonecznego sięga 90–100 °C i zapewnia wytwarzanie pary napędowej o właściwych parametrach dla układów pracujących z większością chlorowcopochodnych czynników chłodniczych. Zastosowanie czynnika roboczego o wysoko położonym punkcie krytycznym może skutkować wzrostem efektywności pracy obiegu wraz ze wzrostem temperatury pary napędowej. Problem stanowi jednak sprawność kolektorów słonecznych, która maleje wraz ze wzrostem temperatury stagnacji. Dlatego też, do współpracy ze strumienicowym sys-

temem klimatyzacji, co raz powszechniej stosowane są próżniowe kolektory słoneczne o temperaturze stagnacji rzędu 150–200 °C [8, 9].

Zastosowanie ciepłego obiegu strumienicowego pozwala wyeliminować części ruchome z układu zwiększając niezawodność pracy. Ponadto zastąpienie sprężarki elektrycznej kanałem przepływowym, jakim jest strumienica, spowodowało wyeliminowanie drgań układu oraz znaczną redukcję emisji hałasu.

### 1.3. CEL PRACY

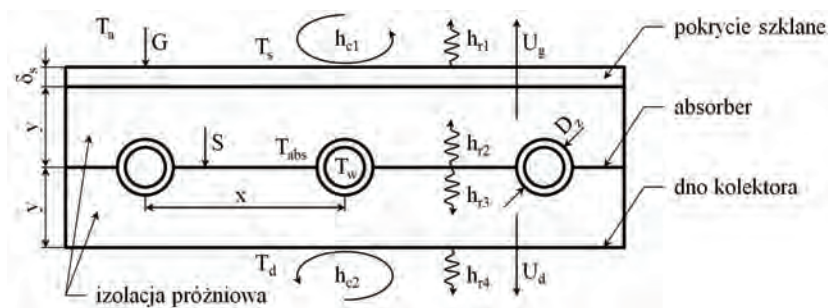
Przedmiotem pracy jest solarna wytwornica pary, stanowiąca obieg napędowy systemu klimatyzacji strumienicowej. Celem niniejszego artykułu jest:

- przedstawienie modelu obliczeniowego solarnej wytwornicy pary oraz wyznaczenie jej efektywności w ustalonych warunkach pracy;
- pokazanie, iż możliwym jest realizacja napędu systemów strumienicowych z wykorzystaniem energii słonecznej, w szerokim zakresie temperatur napędowych;
- uzyskanie możliwie wysokiej sprawności konwersji energii w prezentowanym urządzeniu.

## 2. SOLARNA WYTWORNICA PARY

### 2.1. KONCEPCJA PROJEKTOWA

Na rysunku 1 przedstawiony został schemat budowy oraz procesy wymiany ciepła zachodzące w obrębie solarnej wytwornicy pary. Koncepcja urządzenia zakłada brak przyrostu temperatury medium po długości kanału przepływowego, jak to ma miejsce w klasycznych kolektorach słonecznych.



Rys. 1. Schemat wytwornicy pary z zaznaczoną geometrią i oporami cieplnymi, oprac. własne

Czynnik roboczy wewnątrz rur, odbierając ciepło od powierzchni absorbera, przechodzi przemianę fazową, a generowana para zasila dyszę strumienicy obiegu chłod-

niczego. Izolację cieplną urządzenia stanowi próżnia, dzięki czemu wyeliminowane zostały straty ciepła na drodze konwekcji w szczelinach pomiędzy absorberem a szybą i dnem kolektorowej wytwornicy pary.

## 2.2. MODEL OBLICZENIOWY

Celem zbilansowania energii solarnej wytwornicy pary w ustalonym stanie pracy koniecznym jest wyznaczenie następujących wielkości:

- energii promieniowania słonecznego pochłoniętego przez płytę absorbera  $S$ ;
- strat ciepła do otoczenia przez powierzchnie zewnętrzne  $q_{str}$ ;
- użytecznej mocy cieplnej, którą pobiera czynnik roboczy przepływający wewnątrz kanałów wytwornicy  $q_u$ .

### 2.2.1. ENERGIA SŁONECZNA POCHŁONIĘTA PRZEZ ABSORBER

Energię tę definiuje różnica pomiędzy mocą promieniowania padającą na powierzchnię przeszklenia  $G$  i stratami optycznymi urządzenia. Po zdefiniowaniu efektywnego współczynnika transmisyjno-absorpcyjnego  $(\tau\alpha)_e$  absorbera (jak dla kolektorów płaskich, [7]) możliwe jest wyznaczenie wartości  $S$  ze wzoru:

$$S = G \cdot (\tau\alpha)_e \quad (1)$$

### 2.2.2. STRATY CIEPŁA DO OTOCZENIA

Straty ciepła z wytwornicy pary odniesione zostały do jednostkowej powierzchni absorbera i jego średniej temperatury. Założono jednowymiarowy kierunek przepływu ciepła z absorbera do otoczenia oraz stałe temperatury szyby i dna wytwornicy, wyznaczone iteracyjnie w kolejnych krokach obliczeń. Zgodnie ze schematem oporów cieplnych przedstawionym na rys.1 zastępcze współczynniki strat ciepła przez powierzchnie frontową i dolną urządzenia zdefiniowano jako:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{h_{r2}} + \frac{1}{h_{c1} + h_{r1}}} \quad (2)$$

$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{h_{r3}} + \frac{1}{h_{c2} + h_{r4}}} \quad (3)$$

Straty ciepła związane z powyższymi współczynnikami wynoszą:

$$q_{str} = U_g \cdot (T_{abs} - T_s) + U_d \cdot (T_{abs} - T_d) \quad (4)$$

Ze względu na zastosowanie izolacji próżniowej straty konwekcyjne w przestrzeni zamkniętej zostały pominięte. Radiacyjną wymianę ciepła pomiędzy absorberem

i pokryciem szklanym określono z zależności jak dla nieskończonej dużej płyty równoległych:

$$q_{r2} = \frac{\sigma \cdot (T_{abs}^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{abs}} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1} \quad (5)$$

$$h_{r2} = \frac{q_{r2}}{T_{abs} - T_s} \quad (6)$$

gdzie  $\sigma$  jest stałą Stefana-Boltzmana dla ciała doskonale czarnego, wynoszącą  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .

Straty radiacyjne pomiędzy szybą a otoczeniem wytwornicy wyznaczono stosując założenie, iż nieboskłon jest ciałem doskonale czarnym o emisyjności  $\varepsilon_n = 1$ . Zastępczą temperaturę nieboskłonu  $T_n$  wyznaczono z formuły Swinbanka [3]:

$$T_n = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} \quad (7)$$

Zastępczy współczynnik promieniowania pomiędzy szybą a otoczeniem wynosi:

$$h_{r1} = \frac{\sigma \cdot \varepsilon_s \cdot (T_s^4 - T_n^4)}{T_s - T_a} \quad (8)$$

Do wyznaczenia konwekcyjnej wymiany ciepła na zewnętrznej powierzchni szyby  $h_{c1}$  zastosowano wzór Sparrowa:

$$h_{c1} = 0,86 \cdot \text{Re}^{1/2} \cdot \text{Pr}^{1/3} \quad (9)$$

Straty ciepła przez dolną powierzchnię kolektora zostały wyznaczone w sposób analogiczny jak dla powierzchni frontowej.

### 2.2.3. UŻYTECZNA MOC CIEPLNA

Przy ustalaniu ciepła użytkowego koniecznym jest wprowadzenie założenia, iż temperatura kanału przepływowego jest stała na obwodzie i długości (na skutek zachodzącego procesu wrzenia), i wynosi  $T_D$ . Jednostkowe ciepło  $q_u$  wyznaczono iteracyjnie z układu równań:

$$\begin{cases} q_u = S - q_{str} \\ q_u = k \cdot (T_D - T_w) \end{cases} \quad (10)$$

Dla zadanej temperatury wrzenia czynnika wewnątrz urządzenia  $T_w$  w kolejnych krokach wyszukiwane były temperatury ścianki kanału  $T_D$  oraz powierzchni absorbera  $T_{abs}$  aż do uzyskania stanu równowagi pomiędzy ciepłem dostarczonym do układu i odbieranym przez substancję roboczą.

Ilość energii pochłonięta przez czynnik uzależniona jest od współczynnika wnika-  
nia ciepła  $\alpha$ , którą to wielkość wyznaczono w oparciu o wzór Bromleya [1]:

$$\alpha = 0,62 \cdot \left[ \frac{k_g^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot i_{lg}}{\mu_g \cdot (T_D - T_w) \cdot \lambda_H} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (11)$$

gdzie:

$k_g$  – przewodność cieplna pary [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\rho_{g/l}$  – gęstość pary/cieczy [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$g$  – przyspieszenie ziemskie [m]

$i_{lg}$  – utajone ciepło parowania [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$\mu_g$  – lepkość dynamiczna pary [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ].

Zgodnie z zaleceniem Leonarda i in. [6] jako wymiar charakterystyczny w powyż-  
szym wzorze przyjęto niestabilność długości fali Helmholtza  $\lambda_H$ , określaną jako:

$$\lambda_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot (\rho_l + \rho_g)}{\rho_l \cdot \rho_g \cdot U^2} \quad (12)$$

gdzie  $U$  jest prędkością przepływu czynnika wewnątrz kanału i wynosi 10 m/s.

### 2.3. ZAŁOŻENIA DO OBLICZEŃ

Zestawienie geometrii rozważanej wytwornicy pary znajduje się w tab. 1. Oblicze-  
nia przeprowadzone zostały dla dwóch typów absorbera: z pokryciem selektywnym  
(wariant A) i bez pokrycia selektywnego (wariant B). Dodatkowo dla wariantu A  
przeanalizowany został wpływ zmiany średnicy oraz szerokości rozmieszczenia ka-  
nałów przepływowych na sprawność konwersji energii. Jako wartości stałe założono

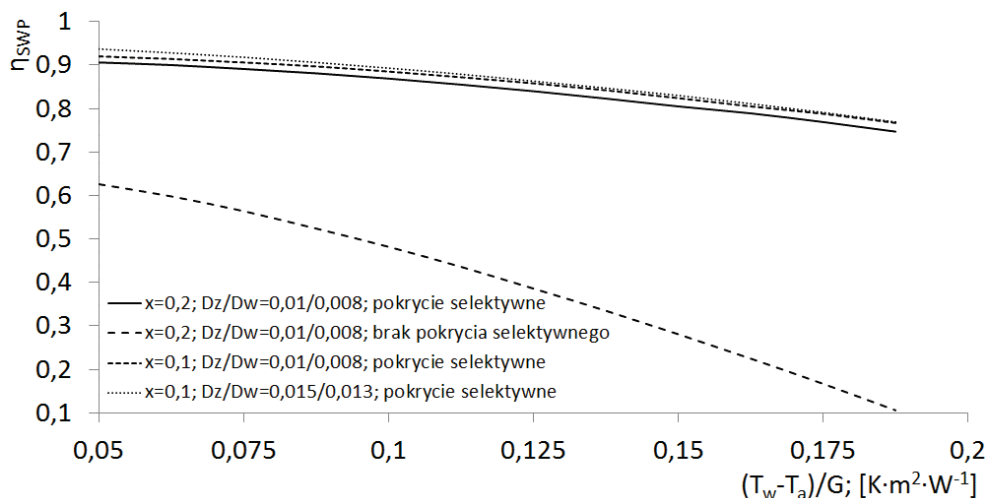
Tabela 1. Wybrane parametry solarnej wytwornicy pary, oprac. własne

Parametr	Symbol	Wariant A	Wariant B
Materiał absorbera	–	Cu	
Grubość absorbera [m]	$\delta_a$	0,0004	
Współczynnik absorpcji absorbera	$\alpha_a$	0,95	0,96
Współczynnik emisyjności absorbera	$\varepsilon_{abs}$	0,05	0,96
Średnica wewnętrzna kanału przepływowego [m]	$D_w$	0,008 i 0,013	0,008
Średnica zewnętrzna kanału przepływowego [m]	$D_z$	0,01 i 0,015	0,001
Podziałka rozmieszczenia kanałów przepływowych [m]	$x$	0,1 i 0,2	0,2
Długość kanału przepływowego [m]	$a$	2	
Grubość pokrywy szklanej [m]	$\delta_s$	0,005	
Współczynnik emisyjności szkła	$\varepsilon_s$	0,88	
Szerokość szczeliny [m]	$y$	0,15	

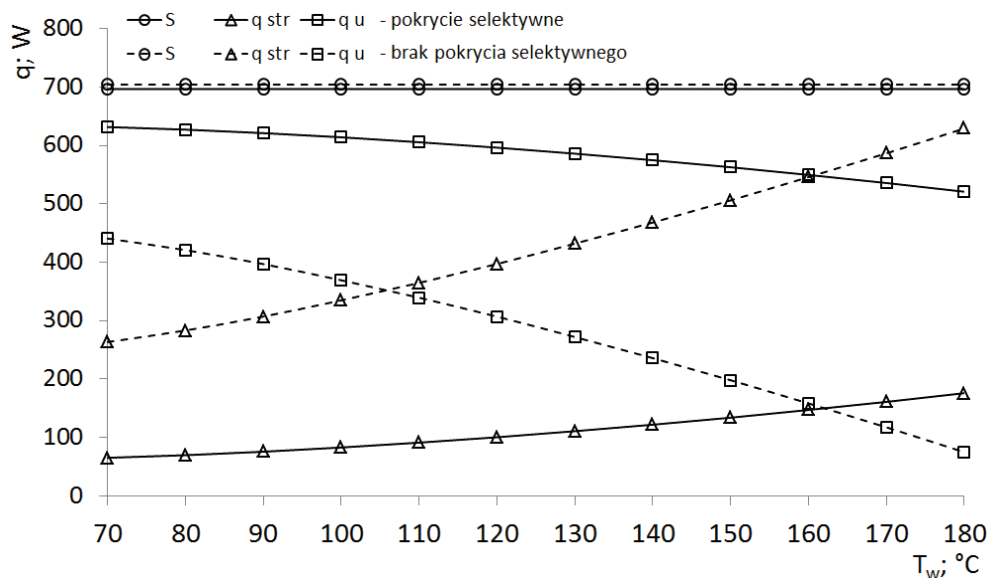
gęstość promieniowania słonecznego  $G = 800 \text{ W/m}^2$  oraz temperaturę powietrza zewnętrznego  $T_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Badania przeprowadzone zostały dla zakresu temperatury pracy czynnika roboczego  $T_w = 70\text{--}180 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3. WYNIKI BADAŃ TEORETYCZNYCH

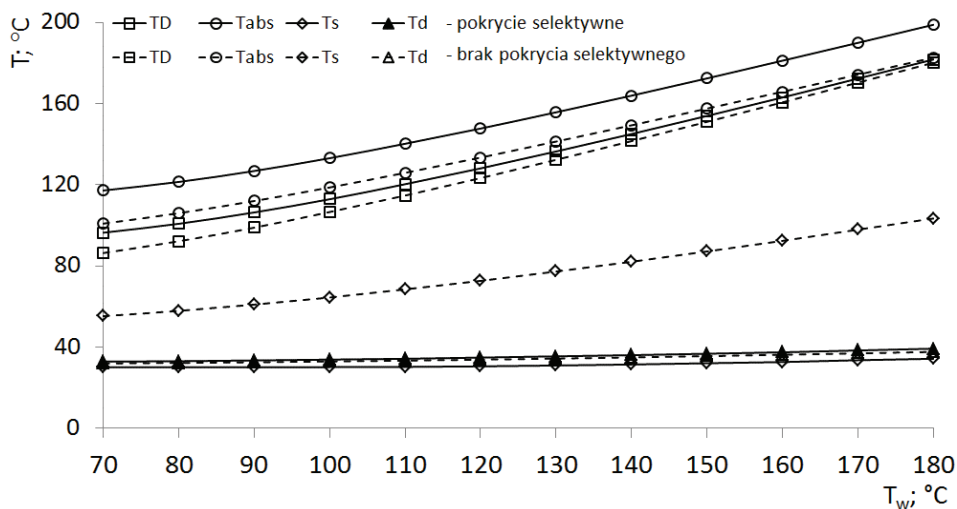
Głównym celem badań było określenie sprawności konwersji energii w solarnej wytwornicy pary. Charakterystyki sprawności sporządzono dla trzech zmiennych: rodzaju pokrycia absorbera, średnicy kanału przepływowego oraz odległości pomiędzy sąsiednimi kanałami. Z analizy rys. 2 wynika, iż brak pokrycia selektywnego absorbera zdecydowanie pogarsza sprawność pracy urządzenia, która wraz ze wzrostem temperatury  $T_w$  szybko opada aż do wartości  $\eta_{\text{SWP}} = 0,106$ . Zastosowanie pokrycia selektywnego skutkuje podwyższeniem maksymalnej sprawności do wartości 0,906 oraz łagodniejszym jej spadkiem wraz ze zmianą temperatury wrzenia czynnika. Minimalna sprawność solarnej wytwornicy pary z zastosowaniem absorbera z pokryciem selektywnym wyniosła 0,747. Zarówno zmiana średnicy kanałów przepływowych, jak i odległości między nimi nie wpływa znacząco na zmianę uzyskiwanej efektywności pracy. Średni wzrost wartości  $\eta_{\text{SWP}}$  w obydwu przypadkach wyniósł  $\sim 2\%$ .



Rys. 2. Charakterystyki sprawności solarnej wytwornicy pary dla wybranych geometrii, oprac. własne



Rys. 3. Strumienie mocy pochłonięte przez płytę absorbera, ciepła strat oraz ciepła użytkowe solarnej wytwornicy pary w zależności od temperatury wrzenia czynnika roboczego, oprac. własne



Rys. 4. Temperatury pracy solarnej wytwornicy pary, oprac. własne

Na rysunku 3 przedstawiono straty ciepła  $q_{str}$  oraz użyteczną moc cieplną  $q_u$  solarnej wytwornicy pary dla dwóch typów absorbera. W obu przypadkach moc pochłó-

nięta przez powierzchnię absorbera wynosiła  $\sim 700 \text{ W/m}^2$ . Zastosowanie powłoki selektywnej pozwoliło ograniczyć straty ciepła do otoczenia blisko czterokrotnie, a moc użyteczna wytwornicy w zakresie temperatury  $T_w = 70\text{--}180 \text{ }^\circ\text{C}$  wyniosła 630–520 W.

Rys. 4 przedstawia rozkład temperatur pracy urządzenia. Dla układu z pokryciem selektywnym uzyskano nieco wyższe temperatury ścianki kanału przepływowego  $T_D$  i powierzchni absorbera  $T_{\text{abs}}$ . Zmniejszenie emisyjności absorbera nie wpływa na temperaturę dna wytwornicy  $T_d$ , której zmiana w przebadanym zakresie pracy jest nieznaczna, a uzyskane wartości zawierają się w przedziale 32–39  $^\circ\text{C}$ . Brak powłoki selektywnej wpływa jednak na znaczny wzrost temperatury pokrycia szklanego  $T_s$ . Dla takiego absorbera maksymalna temperatura szkła przekroczyła 100  $^\circ\text{C}$ .

#### 4. WNIOSKI

Zastosowanie solarnych układów chłodniczych i klimatyzacyjnych jest trendem rozwijanym na całym świecie. W celu poprawnej pracy tych układów koniecznym jest ciągle ulepszanie elementów służących pozyskiwaniu i konwersji energii promieniowania słonecznego. Przeprowadzona analiza pracy solarnej wytwornicy pary strumieniowego obiegu chłodniczego pokazała, iż:

- jest możliwym uzyskanie wysokosprawnego obiegu napędowego dla urządzeń chłodniczych (sprawność konwersji energii w zakresie 75–90%);
- zastosowanie selektywnej powłoki absorbera poprawia sprawność urządzenia o minimum 30% oraz czterokrotnie redukuje straty ciepła do otoczenia;
- zmiana geometrii rozważanej wytwornicy pary nie wpływa znacząco na uzyskiwane wartości  $\eta_{\text{SWP}}$ .

#### PODZIĘKOWANIA

Badania współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

#### LITERATURA

- [1] BROMLEY L.A., *Heat transfer in stable film boiling*, Chemical Engineering Progress, 1950, 44, 221–227.
- [2] BUYADGIE D., BUYADGIE O., DRAKHNIA O., ARTEMENKO S., CHAMCHINE A., *Solar cooling technologies using ejector refrigeration system*, Energy Procedia, 2012, 30, 912–920.
- [3] DUFFIE J.A., BECKMAN W.A., *Solar Energy Thermal Processes*, John Wiley & Sons, New York 1974.
- [4] IEA, *Renewable Energy Technologies: Solar Energy Perspectives*, Paris 2011.
- [5] IPCC: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri R.K and Reisinger A. (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 2007, 104.



- [6] LEONARD J.E., SUN K.H., DIX G.E., *Solar and nuclear heat transfer*, AIChE Symposium Series 1977 (73/164), 7.
- [7] PLUTA Z., *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [8] POLLERBERG C., HEINZEL A., WEIDNER E., *Model of a solar driven steam jet ejector chiller and investigation of its dynamic operational behaviour*, *Solar Energy*, 2009, 83, 732–742.
- [9] POLLERBERG C., JAEHNIG D., DOETSCH C., *Prototype of a Solar Driven Steam Jet Ejector Chiller*, Proceedings of the third international conference on solar air-conditioning, Palermo, Italy, 2009.
- [10] ŞEN Z., *Solar energy in progres and future research trends*, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2004, 30, 367–416.

#### SOLAR VAPOR GENERATOR AS A HEAT SOURCE OF THE EJECTOR AIR CONDITIONING SYSTEM – WORKING ANALYSIS

The aim of this study was to determine the efficiency of a solar vapor generator, which was a heat source of the ejector air conditioning system. For this purpose, computational model of a solar vapor generator was prepared. The analyses were carried out using *n*-pentane (R601) as a refrigerant. The maximum value of  $\eta_{SWP}$  obtained during the tests was 0.906, with operation conditions as follow:  $T_w = 70$  °C,  $T_a = 30$  °C and  $G = 800$  W/m<sup>2</sup>. The results also showed that geometry of the flow channel has negligible impact on the achieved efficiency. However, by applying selective absorber surface coating a significant increase in efficiency was obtained.

## ROZDZIAŁ XXX

# INTELIĞENTNE INSTALACJE ELEKTRYCZNE W KSZTAŁCENIU STUDENTÓW WYDZIAŁU ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Małgorzata BIELÓWKA\*, Mirosław KOBUSIŃSKI\*

W referacie przedstawiono zasady kształcenia studentów Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej z zakresu inteligentnych instalacji elektrycznych i umiejscowienie tej tematyki w procesie kształcenia. Omówiona została wykorzystywana w kształceniu instalacji inteligentnych baza dydaktyczna w postaci laboratoriów Urządzeń i Instalacji Elektrycznych, Inteligentnych Instalacji Elektrycznych oraz Komputerowo Wspomagane Projektowanie w Elektroenergetyce, w tym istniejące stanowiska dydaktyczne do badania wybranych systemów automatyki budynkowej oraz zakres i program prowadzonych zajęć laboratoryjnych i projektowych.

Słowa kluczowe: *automatyka budynkowa, instalacje inteligentne, kształcenie studentów, laboratoria dydaktyczne*

## 1. WPROWADZENIE

### 1.1. STUDIA NA WYDZIALE ELEKTRYCZNYM

Na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej realizowane są obecnie studia pierwszego stopnia (inżynierskie) oraz drugiego stopnia (magisterskie) w systemie stacjonarnym oraz niestacjonarnym. Studia pierwszego stopnia prowadzone są na trzech kierunkach: Elektrotechnika, Automatyka i Robotyka oraz Mechatronika, natomiast studia drugiego stopnia tylko na kierunku Elektrotechnika w trzech specjalnościach polskojęzycznych oraz dwu anglojęzycznych. Na przestrzeni lat wielokrotnie zmieniały się programy studiów, prowadzone specjalności na drugim stopniu studiów oraz realizowane kursy. Za najbardziej istotne należy uznać wprowadzenie tzw. „bolońskiego systemu studiów”, czyli likwidację jednolitych studiów magisterskich i wprowadzenie studiów dwustopniowych, co nastąpiło od roku akademickiego

---

\* Instytut Energoelektryki, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

2001/2002 oraz zmiany obowiązujące od roku akademickiego 2012/2013, związane z dostosowaniem programów studiów do wymogów Krajowych Ram Kwalifikacji. Szczególnie te ostatnie działania, mające za zadanie zwiększenie efektywności studiów wiązały się z gruntowną przebudową programów studiów i zawartością poszczególnych kursów, w tym także tych, które obejmuje proces kształcenia studentów w zakresie szeroko rozumianych „instalacji inteligentnych”.

#### 1.2. KSZTAŁCENIE W ZAKRESIE INSTALACJI INTELIGENTNYCH NA WYDZIALE ELEKTRYCZNYM

Pierwsze wiadomości dotyczące instalacji inteligentnych studenci Wydziału Elektrycznego nabywali do połowy pierwszej dekady XXI wieku na wykładzie z kursu „Urządzenia elektryczne”, przy czym tematyka ta była poruszana z konieczności tylko w ograniczonym zakresie. W roku 2001 w ramach realizacji pracy dyplomowej zostało zbudowane w Laboratorium Urządzeń i Instalacji pierwsze stanowisko dydaktyczne do badania cyfrowego systemu instalacji inteligentnej typu IHC firmy ELSO. W roku 2003 powstały dwa kolejne stanowiska przeznaczone do badania przekaźnikowego systemu instalacyjnego typu SI firmy Doepke Norden oraz magistralnego systemu EIB, co w powiązaniu z zaliczeniem przez pracowników dydaktycznych Zakładu Urządzeń Elektroenergetycznych Instytutu Energoelektryki certyfikowanego kursu EIB umożliwiło szersze zaprezentowanie tematyki instalacji inteligentnych w ramach zajęć laboratoryjnych z „Urządzeń elektrycznych”.

Za początek systemowego kształcenia studentów Wydziału Elektrycznego w dziedzinie instalacji inteligentnych należy uznać utworzenie w roku 2007 Laboratorium Instalacji Inteligentnych i wprowadzenie od roku akademickiego 2007/2008 do programu studiów I stopnia na kierunku Elektrotechnika obowiązkowego kursu „Instalacje inteligentne” (15 godzin wykładu na studiach stacjonarnych i 10 godzin na niestacjonarnych), przy czym różne okoliczności sprawiły, że zajęcia laboratoryjne w wymiarze 10 godzin były prowadzone niestety tylko dla studentów studiów niestacjonarnych. Od roku akademickiego 2009/2010 studenci studiów stacjonarnych i niestacjonarnych drugiego stopnia na specjalności Elektroenergetyka mieli możliwość wyboru kursu specjalnościowego „Inteligentne instalacje elektryczne – komputerowe projektowanie i zastosowania” gdzie w ramach zajęć laboratoryjnych i projektowych zapoznawali się z systemami instalacji inteligentnych typu EIB oraz LCN. Dla studentów drugiego stopnia studiów na kierunku Automatyka i Robotyka, specjalności Automatyka i Sterowanie w Elektroenergetyce prowadzony był natomiast wybieralny kurs „Inteligentne instalacje budynków i obiektów” (30 godzin wykładu). Kursy te cieszyły się zawsze niesłabnącym zainteresowaniem wśród studentów.

W roku 2012 została przeprowadzona wspomniana gruntowna przebudowa programów kształcenia na Wydziale Elektrycznym zgodnie z wymogami Krajowych Ram Kwalifikacji, co umożliwiło uporządkowanie planu kształcenia instalacji inteligent-

nych na kierunku Elektrotechnika i wprowadzenie tej tematyki także na ostatnim realizowanym przez Wydział kierunku studiów tj. Mechatronice [2].

W tabeli 1 przedstawiono wykaz kursów dotyczących bezpośrednio instalacji inteligentnych realizowanych od roku akademickiego 2012/2013 na poszczególnych kierunkach studiów prowadzonych na Wydziale Elektrycznym.

Tabela 1. Kursy z zakresu instalacji inteligentnych realizowane na Wydziale Elektrycznym od roku akademickiego 2012/2013, oprac. własne

System i stopień studiów	Nazwa kursu	Kurs*)	Wymiar godzinowy**)		
			W	L	P
<b>Kierunek ELEKTROTECHNIKA</b>					
Stacjonarne I stopnia, Blok przedmiotów wybieralnych Elektroenergetyka	Instalacje inteligentne	O	30	15	–
Niestacjonarne I stopnia, Blok przedmiotów wybieralnych Elektroenergetyka	Instalacje inteligentne	O	20	10	–
Stacjonarne II stopnia, Specjalność Elektroenergetyka	Inteligentne instalacje elektryczne – komputerowe projektowanie i zastosowania	W	15	–	15
Niestacjonarne II stopnia, Specjalność Elektroenergetyka	Inteligentne instalacje elektryczne – komputerowe projektowanie i zastosowania	W	11	–	11
Stacjonarne II stopnia, Specjalność Elektrotechnika przemysłowa	Konwencjonalne i inteligentne instalacje elektryczne	W	30	–	–
Niestacjonarne II stopnia, Specjalność Elektrotechnika przemysłowa	Konwencjonalne i inteligentne instalacje elektryczne	W	22		
<b>Kierunek AUTOMATYKA I ROBOTYKA</b>					
Stacjonarne II stopnia, Specjalność Automatyka i Sterowanie w Energetyce	Automatyka inteligentnego budynku	O	15	15	15
Stacjonarne II stopnia, Specjalność Automatyzacja Maszyn, Pojazdów i Urządzeń	Inteligentne instalacje budynków i obiektów	W	15	–	15
<b>Kierunek MECHATRONIKA</b>					
Stacjonarne I stopnia, Obszar dyplomowania Mechatronika w Automatyce i Pomiarach	Automatyka w budynku	O	15	–	30
*) O – kurs obowiązkowy, W – kurs wybieralny;					
**) W – wykład, L – laboratorium, P – projekt.					

## 2. STANOWISKA DO BADANIA INSTALACJI INTELIGENTNYCH W LABORATORIACH INSTYTUTU ENERGOELEKTRYKI

### 2.1. LABORATORIUM URZĄDZEŃ I INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH

W Laboratorium Urządzeń i Instalacji Elektrycznych [3] studenci mogą realizować praktyczne ćwiczenia na trzech stanowiskach laboratoryjnych stanowiących modele fizyczne wybranych systemów instalacji inteligentnych oraz na modelu instalacji elektrycznej sterowanej za pomocą przekaźnika programowalnego. Wszystkie stanowiska zostały zbudowane w ramach realizacji inżynierskich prac dyplomowych.

Pierwszym zbudowanym stanowiskiem laboratoryjnym wykorzystywanym do badania instalacji inteligentnych był model fizyczny instalacji systemu IHC firmy ELSO. Jest to typowy system instalacji z jednostką centralną (Master-Slave) [1]. Na stanowisku oprócz szesnastowejściowej wejściowej jednostki centralnej został zabudowany moduł wejściowy z szesnastoma wejściami bezpotencjałowymi oraz moduł wyjściowy z ośmioma wyjściami przekaźnikowymi (rys. 1).

a)



b)



c)



Rys. 1. Stanowisko laboratoryjne do badania instalacji systemu IHC:

- a) widok modułów IHC zamontowanych na stanowisku,  
b) panel sterowania, c) panel obciążenia, fot. M. Kobusiński

Studenci mają możliwość sterowania kilkoma obwodami oświetlenia żarowego, w tym z wykorzystaniem ściemniacza tyrystorowego oraz czujnika ruchu, a także sterowania zewnętrznego odbiornika o mocy maks. 2 kW. Złącze RS 232 umożliwia podłączenie komputera w trakcie zmiany oprogramowania systemu.

Kolejnym systemem instalacji inteligentnej prezentowanym w laboratorium jest model instalacji elektrycznej w domu jednorodzinym opartej o system przekaźnikowy SI firmy Doepke Norden (rys. 2). Na stanowisku zostało zamontowanych dwanaście przekaźników systemu SI umożliwiających zamodelowanie sterowania miejscowego, grupowego i centralnego czterech obwodów oświetleniowych oraz sterowania roletami, a także bramy garażowej. Studenci mają dodatkowo możliwość zastosowania w układzie sterowania przekaźnika zmierzchowego, czasowego oraz pomiaru siły wiatru [1].



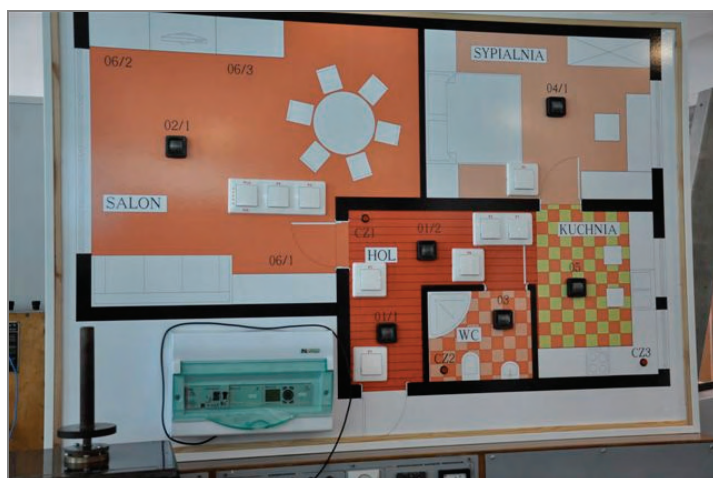
Rys. 2. Widok ogólny modelu instalacji przekaźnikowej systemu SI, fot. M. Kobusiński

W roku 2012 zostało oddane do użytku stanowisko laboratoryjne do badania bezprzewodowego systemu sterowania domem *Xcomfort* firmy Moeller. Moduły zamontowane na stanowisku umożliwiają prezentację możliwości systemu *Xcomfort* w tym zamodelowanie sterowania stało- i zmiennonapięciowego obwodów oświetleniowych, sterowania roletami, wentylacją oraz zaworami grzejnymi w przykładowym apartamencie za pomocą przycisków bezprzewodowych, dwunastokanałowego pilota oraz panelu sterowania centralnego Room Manager (rys. 3). Na stanowisku został także zainstalowany moduł do radiowego programowania instalacji przez komputer z zainstalowanym oprogramowaniem MRF.



Rys. 3. Widok ogólny modelu instalacji przekaźnikowej systemu Xcomfort, fot. M. Kobusiński

Studenci mają także sposobność przeanalizowania możliwości implementacji przekaźnika programowalnego PLC do funkcji sterowania wybranymi obwodami oświetleniowymi w przykładowym mieszkaniu (rys. 4). W stanowisku został zabudowany przekaźnik typu easy 619-DC-RC firmy Moeller. Zainstalowane na PC oprogramowanie EASY-SOFT-PRO umożliwia ćwiczącym opracowanie w języku drabinkowym i przetestowanie własnych programów sterowania.



Rys. 4. Widok ogólny modelu instalacji oświetleniowej sterowanej za pośrednictwem przekaźnika programowalnego PLC, fot. M. Kobusiński

## 2.2. LABORATORIUM INTELIGENTNYCH INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH

Aktualnie w Laboratorium Inteligentnych Instalacji Elektrycznych [3] znajduje się pięć stanowisk laboratoryjnych stanowiących modele wybranych systemów instalacji inteligentnych w tym: dwa stanowiska w systemie KNX/EIB, dwa stanowiska w systemie LCN oraz jedno stanowisko w systemie WAGO-I/O-System. Wszystkie stanowiska powstały w ramach realizacji inżynierskich prac dyplomowych. W przyszłości planuje się dalszą rozbudowę laboratorium poprzez wprowadzenie kolejnych stanowisk, co umożliwi studentom poszerzenie praktycznej wiedzy związanej z różnorodnością systemów instalacji stosowanych w automatyce budynków i zapoznanie się z ich możliwościami.

Stanowiska laboratoryjne wykonane w systemie magistralnym KNX/EIB wyposażone są w podstawowe elementy systemu umożliwiające między innymi sterowanie oświetleniem (źródła żarowe oraz wyładowcze) zarówno za pomocą czujników przyciskowych, jak i w wyniku zmian poziomu natężenia oświetlenia zewnętrznego, sterowanie żaluzjami (roletami), sterowanie ogrzewaniem, a także programowanie i zapamiętywanie tzw. „scen świetlnych”. Dodatkowo wyposażenie stanowią czujniki fizyczne: ruchu, wiatru oraz zestyk drzwiowy (kontaktron) i wyświetlacz LCD (Info-Display). Stanowiska uzupełnione są o elementy służące do wizualizacji realizowanych zadań np. miniaturowy model domu jednorodzinnego (rys. 5). Dzięki dwóm stanowiskom studenci mają możliwość zapoznania się z bazą katalogową urządzeń różnych producentów systemu KNX/EIB oraz realizować zadania o różnym poziomie trudności. Realizowane ćwiczenia laboratoryjne polegają na samodzielnym zaprojektowaniu instalacji, poprawnym połączeniu magistrali i zaprogramowaniu odpowiednich urządzeń wymaganych w danym zadaniu, a następnie sprawdzeniu działania instalacji na stanowisku.



Rys. 5. Widok ogólny jednego z modeli instalacji w systemie KNX/EIB, fot. M. Kobusiński



Kolejnym systemem instalacji inteligentnych prezentowanym w laboratorium jest magistralny system LCN opracowany przez firmę ISSENDORFF Mikroelektronik GmbH. W celu pełniejszego przedstawienia możliwości systemu zbudowane zostały dwa stanowiska laboratoryjne. Pierwsze ze stanowisk wykonano na planie parterowego domku jednorodzinnego, gdzie makieta odzwierciedla rzeczywiste rozmieszczenie elementów systemu i odbiorników (tj. źródła światła, rolety, wentylatory itp.), a także trasy prowadzenia instalacji (rys. 6). Stanowisko zostało wyposażone w odpowiednie moduły logiczne oraz moduły wejść binarnych i wyjść systemu LCN umożliwiające realizację podstawowych funkcji sterowania oświetleniem, ogrzewaniem i klimatyzacją oraz roletami. Dodatkowo na stanowisku zamontowano zestaw czujników, w tym między innymi czujnik natężenia oświetlenia, czujnik ruchu oraz czujnik temperatury a także odbiornik na podczerwień umożliwiający zdalne sterowanie instalacją za pomocą pilota. Stanowisko to jest przeznaczone przede wszystkim do jak najpełniejszej ilustracji możliwości systemu LCN w aplikacjach związanych z budownictwem mieszkaniowym, takich jak np. sygnalizacja włamania lub zalania, sterowanie zależne oświetleniem i wentylacją w łazience, „sceny świetlne” czy też symulacja obecności domowników.



Rys. 6. Widok ogólny jednego z modeli instalacji w systemie LCN, fot. M. Kobusiński

Drugie stanowisko systemu LCN jest przeznaczone do zaprezentowania możliwości systemu w zastosowaniach związanych z budownictwem komunalnym, a w szczególności w biurach, czy hotelach. Stanowisko to zostało wykonane na planie piętra biurowca z salami konferencyjnymi. Wyposażone zostało także w odpowiednie moduły logiczne oraz moduły wyjść systemu LCN, które umożliwiają realizację podstawowych funkcji sterowania w tego typu obiekcie. Elementem dodatkowym stanowiska jest moduł (adapter) pozwalający na wykorzystanie w systemie LCN czujników przyciskowych wykonanych w systemie KNX/EIB. Realizowane pod-

czas zajęć laboratoryjnych ćwiczenia skoncentrowane są w tym przypadku między innymi na funkcjach sterowania lokalnego oraz grupowego oświetleniem i roletami, funkcjach sterowania oświetleniem w pomieszczeniach z ruchomą przegrodą (tzw. „grupy dynamiczne”) oraz na sterowaniu oświetleniem wywołanym działaniem czujnika ruchu itp.

Podczas zajęć laboratoryjnych studenci realizują cały zestaw krótkich zadań o rosnącym poziomie trudności. Zadania te dotyczą realizacji różnych funkcji sterowania i mogą mieć kilka poprawnych rozwiązań. W zależności od inwencji danej grupy studenckiej zadania mogą być modyfikowane w trakcie zajęć laboratoryjnych.

Stanowisko laboratoryjne prezentujące możliwości systemu Wago-I/O-System zostało zbudowane w roku 2008 na planie przykładowego mieszkania (rys. 7). Model instalacji umożliwia realizację następujących funkcji sterowania: sterowanie strumieniem świetlnym, regulację temperatury w pomieszczeniach, sterowanie wybranymi roletami oraz sterowanie wywiewem. Dodatkowo w celu umożliwienia zmiany konfiguracji systemu oraz wizualizacji działania instalacji stanowisko wyposażone jest w komputer PC z zainstalowanym oprogramowaniem CodeSys i przeglądarką internetową. Połączenie komputera ze sterownikiem WAGO odbywa się poprzez port sieci LAN.



Rys. 7. Widok ogólny modelu instalacji systemu WAGO-I/O-System, fot. M. Kobusiński

Uzupełnienie wszystkich stanowisk laboratoryjnych stanowią komputery PC z zainstalowanym odpowiednim oprogramowaniem wymagany do konfiguracji danego systemu.

Program realizowanych ćwiczeń oraz poziom trudności zadań za każdym razem dostosowany jest do stopnia studiów oraz kursu, w ramach którego prowadzone są zajęcia laboratoryjne (tab. 1).

### 2.3. LABORATORIUM KOMPUTEROWO WSPOMAGANEGO PROJEKTOWANIA W ELEKTROENERGETYCE

W Laboratorium Komputerowo Wspomaganego Projektowania w Elektroenergetyce znajduje się 17 nowoczesnych stanowisk komputerowych, z których każde wyposażone jest w kilka systemów wspomaganie projektowania, w tym również w oprogramowanie wykorzystywane przy projektowaniu instalacji inteligentnych.

W laboratorium prowadzone są zajęcia projektowe związane z instalacjami inteligentnymi. Każdy ze studentów realizuje podczas zajęć własne zadanie projektowe, w ramach którego należy na przykładzie zadanego obiektu mieszkalnego samodzielnie zaprojektować od podstaw tradycyjną instalację elektryczną oraz instalację sterowania wykonaną w wybranym systemie automatyki budynkowej (np. system KNX/EIB lub LCN). W zakres projektu instalacji inteligentnej wchodzi zaplanowanie różnych funkcji sterowania, dobór odpowiednich urządzeń koniecznych do realizacji zaplanowanych funkcji w danym systemie, rozmieszczenie urządzeń na planie obiektu i rysowanie tras prowadzenia instalacji, wykonanie projektu instalacji z wykorzystaniem odpowiedniego oprogramowania (w tym utworzenie struktury fizycznej oraz struktury połączeń logicznych) a następnie opracowanie dokumentacji projektowej.

Na zajęciach projektowych studenci mają możliwość wykorzystania wiedzy praktycznej i doświadczenia zdobytych na wykładzie oraz zajęciach laboratoryjnych.

#### LITERATURA

- [1] DOŁĘGA W., KLAJN A., KOBUSIŃSKI M., *Laboratorium z urządzeń i instalacji elektrycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
- [2] Strona internetowa Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej: <http://www.eny.pwr.wroc.pl/index.dhtml>, Dostęp 15.07.2013.
- [3] Strona internetowa Zakładu Urządzeń Elektroenergetycznych Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej: <http://www.zue.pwr.wroc.pl/laboratoria>, Dostęp 15.07.2013.

#### INTELLIGENT ELECTRICAL INSTALLATIONS IN EDUCATION OF STUDENTS OF THE FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING WROCLAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

The paper presents the principles of education for students Faculty of Electrical Engineering Wrocław University of Technology in the field of intelligent electrical installation and placement of the subject in the educational process. The educational base i.e.: Laboratory of Electrical Devices and Installations, Intelligent Installations Systems and Computer Assisted Design in Power Engineering are discussed.

## ROZDZIAŁ XXXI

# UWARUNKOWANIA I ZALETY ZASTOSOWANIA KOGENERACJI W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

Paweł HORN\*

Zastosowanie nowoczesnych modułów kogeneracyjnych lub trigeneracji w mieszkalnictwie to idealne rozwiązanie spełniające potrzeby konsumentów energii elektrycznej, będących mieszkańcami współczesnych osiedli mieszkaniowych. Kogeneracja pozwala na minimalizowanie szkód dla środowiska przy produkcji energii elektrycznej i ciepłej, dzięki jej lokalnej produkcji „skrojonej na miarę” dla odbiorcy będącego jednocześnie jej producentem – prosumenta. Artykuł stanowi symulację zastosowania kogeneracji w kwartale mieszkaniowym eksperymentalnego osiedla „Nowe Żerniki”, powstającego we Wrocławiu. Symulacja opracowana przy współpracy firmy Viessmann, gdyż na jej rozwiązaniach opiera się trigeneracja zrealizowana w referencyjnym biurcu Goepfert-Mayer w Katowicach, posiadającym certyfikat BREEM. Niniejsza analiza zastosowania modułów kogeneracyjnych w wybranym kwartale mieszkaniowym stała się możliwa dzięki uprzejmości wrocławskiego oddziału firmy (informacje techniczne, konsultacje). Autor dokonuje analizy na tle obowiązujących polskich przepisów.

Słowa kluczowe: *kogeneracja w budynkach mieszkalnych, trigeneracja, prosument, kryzys energetyczny, WUWA 2, eksperymentalne osiedle mieszkaniowe, wysokosprawne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej*

## 1. SYMULACJA ZASTOSOWANIA KOGENERACJI WE WROCŁAWSKIM OSIEDLU EKSPERYMENTALNYM

### 1.1. WUWA 2 – CZYLI NOWE ŻERNIKI WE WROCŁAWIU

Wystawa WUWA – „mieszkanie i miejsce pracy” miała miejsce w 1929 roku jako odpowiedź architektów na palące problemy mieszkaniowe współczesnych im mieszkańców miasta Breslau. O ile sama wystawa ma wiele opracowań na jej temat do których warto sięgnąć, to mówiąc o przedsięwzięciu WUWA 2 koncentrujemy się głównie na odniesieniu do potencjału twórczego tamtych inicjatyw, a także ich eksper-

---

\* Zakład Projektowania Architektury Mieszkaniowej, Instytut Architektury i Urbanistyki, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej, ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław.

mentalnego charakteru. Przedsięwzięcie nie ma stricte komercyjnego charakteru. Jest to projekt eksperymentalnego osiedla „Nowe Żerniki”, położonego we Wrocławiu przy nowym stadionie miejskim, o roboczej, ale też i wskazującej na prestiż i wagę przedsięwzięcia nazwie „WUWA 2”. Oczywiście podstawowym warunkiem, który umożliwił zaistnienie tego przedsięwzięcia była inicjatywa miasta Wrocławia, Dolnośląskiej Okręgowej Izby Architektów RP, przy współpracy wrocławskiego oddziału SARP (Stowarzyszenia Architektów Polskich). Jednak inicjatywa wymaga grupy ludzi, którzy chcą coś zrobić, mają zapał i pomysły, jak również doświadczenie w danej dziedzinie (profesjonalizm i otwarta głowa). Tą grupę stanowią architekci, którzy zdecydowali się poświęcić swój czas w ramach pracy społecznej, a także spełnili wymagania organizatorów co do osiągnięć w dziedzinie projektowania architektury mieszkaniowej i doświadczenia. W pracy nad tym projektem pod opieką Architekta Miasta Piotra Fokczyńskiego uczestniczyli również projektanci z Biura Rozwoju Wrocławia (na etapie opracowywania miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego), jak również różni specjaliści, konsultanci z różnych dziedzin technicznych, socjologicznych a także naukowych. Co ważne, przedsięwzięcie jest miejskim projektem związanym z funkcją Wrocławia jako Europejskiej Stolicy Kultury 2016.

## 1.2. POZORNA SPRZECZNOŚĆ INTERESÓW INDYWIDUALNYCH I GLOBALNYCH NA TLE FINANSOWYM

Osiedle zostało zaprojektowane jako zespół kwartałów, stanowiących ideowo całość, jednak będących indywidualną odpowiedzią zespołu projektantów na zdefiniowane w toku pracy zadania projektowe. Kwartał wybrany do analizy dla potrzeb niniejszego artykułu został zaprojektowany we współpracy zespołów pięciu architektów: Pawła Horna (Horn Architektki), Igora Kaźmierczaka (S3NS), Piotra Zybury (CHILLHOUSE), Tadeusza Sawy-Borysławskiego i Tomasza Głowackiego (PAG). Osiedle „Nowe Żerniki” jest zdaniem autora znakiem czasów na chwilę obecną w Polsce, gdyż przy jego projektowaniu zostało poruszone całe spektrum zagadnień finansowych, formalno-prawnych oraz środowiskowych. Po pierwsze, wiele czasu poświęcono dyskusjom w zakresie ekologii osiedla jako całości oraz problemowi dostępności finansowej mieszkań. Niestety, w dzisiejszych czasach te dwa zagadnienia często stanowią bieguny finansowe inwestycji. O ile podstawowy poziom energooszczędności jest realizowany, jako efekt wymagań przepisów budowlanych, to wszelkie nowinki techniczne czy rozwiązania opłacalne środowiskowo w większej skali: miasta, regionu czy kraju, są obciążone kosztem niemożliwym do ponoszenia przez pojedynczego obywatela, jako końcowego użytkownika produktu, jakim jest mieszkanie. Jednak paradoksalnie właśnie nowoczesne rozwiązanie techniczne, jakim jest kogeneracja, będące jeszcze niestety wciąż nowinką techniczną w Polsce, może okazać się już wkrótce zbawienne właśnie dla indywidualnych mieszkańców domów wielo-, a także jednorodzinnych. W obliczu przewidywanego w Polsce kryzysu energetycznego (więcej o tym w rozdziale 3) możliwość uniezależnienia się od dostaw energii

elektrycznej z sieci dystrybucyjnej, produkowanej w przedsiębiorstwach energetycznych, będzie czymś, co doskonale połączy interesy indywidualne poszczególnych konsumentów energii oraz ponadlokalny cel, jakim jest zachowanie zasobów naturalnych dla przyszłych pokoleń i równowagi w środowisku. Pokazuje to opłacalność myślenia ekologicznego: początkowo drogie rozwiązania, oferujące oszczędność energii i niezależność od scentralizowanych źródeł energii elektrycznej, szybko okazują się złotym środkiem, korzystnym pod względem ekologicznym rozpatrywanym na wszystkich poziomach. Skracają się również czas amortyzacji nawet drogich na początku rozwiązań.

Pomimo prób zdefiniowania obszarów, które mogłyby wpłynąć znacząco na obniżenie ceny metra kwadratowego mieszkania, obowiązujące procedury przetargowe dla sprzedaży działek miejskich oraz możliwość przeznaczenia tylko jednego kwartału pod zabudowę w systemie TBS w ramach osiedla „Nowe Żerniki” ceny mieszkań w pozostałych kwartałach będą wynikiem ustaleń dewelopera, który je zrealizuje. W pierwszym etapie pracy nad projektem osiedla powstał miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, który jest już pierwszym nośnikiem i narzędziem realizacji idei projektowych przedsięwzięcia na poziomie skali urbanistycznej. Następnie wypracowane zostały architektoniczne projekty koncepcyjne poszczególnych kwartałów. Projekt osiedla „Nowe Żerniki” jest w tym względzie alternatywą i wzorem – od samego początku opierał się na założeniu stworzenia miejsca do mieszkania (a także i pracy w warunkach domowych czy usług osiedlowych), które umożliwiłoby całościowe spełnienie potrzeb przyszłych mieszkańców na miejscu. Odnosi się to do potrzeb bezpośrednio związanych z mieszkaniem – jego układem funkcjonalnym, wielkością, nasłonecznieniem, możliwością doraźnych zmian, jak i w perspektywie całego osiedla, zatopionego w zieleni, z bliskością sklepów, terenów wypoczynkowych, opieki zdrowotnej, zaplecza oświatowego i kulturalnego. Kwartał omawiany tutaj jest integralną częścią przedsięwzięcia. Jego indywidualny charakter oraz stylistyka jest natomiast autorską wizją projektową zespołu architektów. Kameralna skala budynków łączy się z malowniczym ukształtowaniem przestrzeni pomiędzy budynkami. Jest to zielona łąka, opadająca lekko w kierunku południowym, co wiąże się z usytuowaniem garażu pod płytą, gdyż nie można było go zagłębić pod poziomem terenu z powodu wysokiego poziomu wód gruntowych. Jednocześnie północna krawędź kwartału z wejściami do sklepików i usług jest elewacją placu, którego sercem jest przewidziana dla osiedla hala targowa o charakterze bazaru – zespołu wielu stoisk. Omawiany kwartał, będąc w bezpośrednim sąsiedztwie tej centralnej przestrzeni publicznej osiedla zachowuje kameralny charakter dzięki ukształtowaniu zabudowy, topografii terenu i ukierunkowaniu przepływu ruchu pieszego. Wstępna koncepcja przewidywała 91 mieszkań o różnych metrażach w 12 czterokondygnacyjnych budynkach (trzy kondygnacje mieszkalne) z loggiami i balkonami od stron południowych i zachodnich budynków, z bezpośrednim wyjściem na zielony, wspólny teren z poziomu parterów. Każdy budynek pozwala na pewną elastyczność w łączeniu lub dzieleniu mieszkań dla uzyskania różnych metraży.

### 1.3. ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ

O ile całe osiedle można wpisać w trend zrównoważonego rozwoju na poziomie założeń ideowych, i na poziomie osiedla te założenia będą realizowane poprzez infrastrukturę oraz wspólne przestrzenie zielone, to istotne wcielenie ich w życie dokonywać się będzie na poziomie eksploatacji i wzajemnych zależności pomiędzy elementami osiedla takimi jak budynki i ich powiązania funkcjonalno-przestrzenne. W niniejszym opracowaniu omówiona zostanie symulacja zastosowania kogeneracji w opisywanym kwartale dwunastu budynków, stanowiących funkcjonalną całość z garażem wbudowanym. Dla całości osiedla rozwiązania ekologiczne zaproponowane na etapie projektowania urbanistycznego nie uwzględniały zastosowania trigeneracji, natomiast etap przetargów na działki dla kwartałów, kiedy inwestor mógł pośilkować się koncepcją (nie stanowiącą jednak formalnego zobowiązania) przypadł na okres wygaśnięcia przepisów dotyczących tzw. „żółtych certyfikatów” oraz braku regulacji sprzedaży nadwyżek energii elektrycznej wyprodukowanej lokalnie do sieci publicznej. Zatem zastosowanie kogeneracji na poziomie poszczególnych kwartałów nie miało szans uwzględnienia w studium opłacalności inwestycji wykonywanych przez prywatnych inwestorów (deweloperów) przed decyzją zakupu terenów.

## 2. KOGENERACJA PO POLSKU

Wiceminister gospodarki – Tomczykiewicz na wystąpieniu w Sejmie stwierdził: „Potrzebę kontynuacji systemu wsparcia kogeneracji dowiedziono w raporcie Ministerstwa Gospodarki przygotowanym dla Komisji Europejskiej. Wykazała ona, że wytwarzanie energii w skojarzeniu wzrosło jedynie o 1,4 proc., z 15,6 proc. w roku 2007 do 17 proc. w 2010 roku.”. I dalej: „[...] kluczowe dla rozwoju rynku jest zapewnienie „przewidywalnej sytuacji administracyjnoprawnej i zapewnienie zaufania inwestorów” poprzez zachowanie ciągłości obowiązywania systemu, który i tak został już przerwany. Dotychczasowe przepisy, obowiązujące od 2007 roku do końca 2012 roku, nie zostały bowiem przedłużone na czas”. Jak komentuje Derski na stronie Rynku Energii Odnawialnej: *Przypomnijmy, że ze wspomnianego raportu Ministerstwa Gospodarki wynika także, iż obecny system wsparcia kogeneracji jest nieefektywny i zapewnia jedynie funkcjonowanie istniejących instalacji. Dlatego resort chciał wprowadzić nowe – pomarańczowe certyfikaty – wspierające świeżo oddawane jednostki. Wsparcie dla nich miałyby zostać zapewnione na stabilnym poziomie, tak aby sprzedaż energii oraz certyfikatów dawała inwestorom łącznie 400 zł/MWh przychodu. Projektowi na poziomie rządu sprzeciwił się jednak arbitralnie resort finansów. Podczas prac sejmowych jego zgoda nie będzie już wymagana. Ministerstwo poinformowało także, że obecny projekt ustawy jest już rozpatrywany przez Komisję Europejską,*

która powinna wyrazić zgodę na pomoc publiczną w postaci przyznawania certyfikatów inwestorom. Jej zgoda będzie konieczna, aby system ponownie zaczął obowiązywać [1]. Żółte certyfikaty, stanowiące dotychczas świadectwo pochodzenia energii dla jednostek o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej źródła do 1 MW lub opalanych paliwami gazowymi były wydawane do 31 marca 2013 roku. Ich wydawanie za rok 2013 zależy od nowelizacji Ustawy Prawo energetyczne [2]. Wydawany przez Urząd Regulacji Energetyki certyfikat pochodzenia energii z kogeneracji stanowił wsparcie dla przedsiębiorcy, gdyż można je było sprzedawać na Towarowej Gieldzie Energii. Natomiast jak czytamy na stronie [www.reo.pl](http://www.reo.pl): *W piątek, 26 lipca Parlament przyjął poselską nowelizację Prawa energetycznego, tzw. mały trójpak. Pozwala ona na otwarcie rynku energii dla prosumentów i sprzedaż samodzielnie wyprodukowanej energii do sieci dystrybucyjnej. Nie zapewnia jednak żadnego systemu wsparcia dla mikroinstalacji. Zgodnie z proponowanymi zapisami osoba fizyczna nieposiadająca działalności gospodarczej będzie mogła produkować energię w mikroinstalacji OZE (do 40 kW), a także uzyskać bezpłatne przyłączenie do sieci dystrybucyjnej oraz gwarancję zakupu energii przez sprzedawcę z urzędu. Jednak będzie się on odbywać po zaledwie 80 proc. średniej ceny sprzedaży energii z poprzedniego roku kalendarzowego* [3]. Pokazuje to znaczne skomplikowanie formalne rynku energetyki, gazowego i odnawialnych źródeł energii, gdyż jest on regulowany różnymi ustawami, a dodatkowo polskie przepisy muszą odpowiadać wytycznym unijnym – zapewniając spełnienie dyrektyw. Prosta zasada, by wytwarzać prąd na własne potrzeby na miejscu, bez strat przesyłowych a ciepło odpadowe zanieczyszczającego środowisko wykorzystywać do produkcji energii grzewczej dla potrzeb domu, osiedla lub budynku użyteczności publicznej okazuje się niezwykle trudna do zastosowania ze względu na brak lub skomplikowanie przepisów, utrudniających lub uniemożliwiających analizę opłacalności inwestycji. Jednak, jeśli już teraz wiadomo, że uzyskanie i sprzedaż żółtego certyfikatu może podnieść zysk ze sprzedaży 1 MWh o 120 zł. [4], co daje nam 12 gr zysku na kWh.<sup>1</sup> poza tym koszt wyprodukowania 1 kWh prądu w bloku kogeneracyjnym wynosi 20 gr, a zakupu w sieci np. około 40 gr, to dodatkowo 1 kWh odsprzedany do sieci daje 12 gr zysku. Ten zysk może zostać wykorzystany w różny sposób np.: na obniżkę kosztów utrzymania mieszkania dla mieszkańców w przypadku podwyższonej ceny zakupu mieszkania (a co za tym idzie raty kredytu), uwzględniającej nakład inwestycyjny na zakup i montaż instalacji kogeneratora. W przypadku kosztu kotłowni około 1 mln złotych, jego udział w cenie metra pow. użytkowej mieszkania wynosiłby około 200 zł., co przy średnim metrażu około 48 m<sup>2</sup> (91 mieszkań o łącznej powierzchni około 4400 m<sup>2</sup>) daje średnio 9600 zł zwwyżki ceny zakupu mieszkania. Zwrot inwestycji w kogenerację to około 3–4 lata [5].

---

<sup>1</sup> Oczywiście pod warunkiem wcześniej wspomnianego przywrócenia regulacji prawnych w tym względzie.



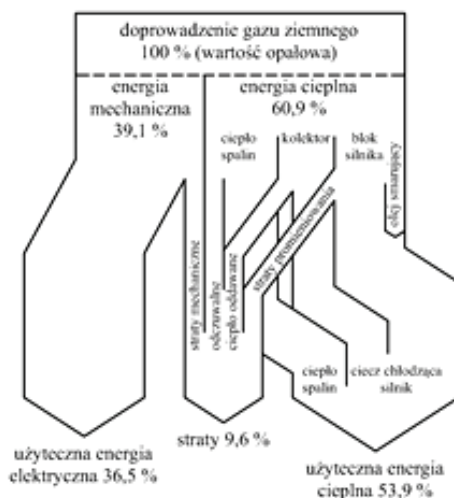
### 3. KOGENERACJA W BUDYNKACH MIESZKALNYCH: ZALETY ZASTOSOWANIA, ASPEKTY TECHNICZNE, KONTEKST GOSPODARCZY W POLSCE

Kogeneracja jako idea jest rozwiązaniem ekologicznym i dającym korzyści bezpośredniemu użytkownikowi. O ile sama zasada kogeneracji nie jest przedmiotem niniejszego opracowania, to warto wspomnieć, że chodzi o wykorzystanie ciepła odpadowego, powstającego w produkcji prądu, do ogrzania wody użytkowej lub grzewczej. Duże przedsiębiorstwa kogeneracyjne muszą pobierać opłaty za przesył. Przesyłanie energii na duże odległości wiąże się ze stratami, a często wiele rejonów miasta nie jest objętych siecią ciepłowniczą lub jej budowa jest nieopłacalna. Dlatego moduły kogeneracyjne przeznaczone do stosowania lokalnego są rozwiązaniem nowoczesnym i omijającym te problemy. Rysunek 1 pokazuje proporcje energii elektrycznej: 36,5% i ciepłej: 53,9%, uzyskanej ze spalania gazu w kogeneratorze VITOBLOC 200 typ EM-140/207: (wyjściowe 100%) oraz niski poziom strat: 9,6%. (Rysunek pokazano przy omówieniu doboru konkretnego kogeneratora na s. 8). Dla porównania, aby uzyskać analogiczne ilości energii elektrycznej i ciepłej przy analogicznej wyjściowej ilości energii w elektrowni węglowej o sprawności 38% do środowiska trafi 70% energii jako strata. Stąd oszczędność energii pierwotnej przy zastosowaniu kogeneratora wyniesie 36% [6]. Energia cieplna uzyskana ze spalania gazu w silniku mechanicznym produkującym prąd może zostać wykorzystana dla celów grzewczych, w przypadku trigeneracji dodatkowo do celów klimatyzacji. W budynku mieszkalnym jest to szczególnie ważne. W okresach jesiennych i wiosennych mieszkańcy często doświadczają dyskomfortu – przed lub tuż po zakończeniu sezonu grzewczego niektóre pomieszczenia bez dostępu słońca są zimne, np. pokoje od północy lub łazienki, co można zniwelować dogrzewaniem dzięki kogeneratorowi, umożliwiającemu również całoroczne dogrzewanie takich pomieszczeń jak wspólne suszarnie, pralnie i garaże. Produkcja prądu we własnej kotłowni, oprócz pokrycia własnego zapotrzebowania na prąd pozwala na wykorzystanie ciepła odpadowego na klimatyzację, natomiast sam prąd może być wykorzystany również w pralniach, systemach sterowania, bezpieczeństwa czy windach. Zastosowanie wind w budynkach niskich podnosi dostępność dla osób starszych czy niepełnosprawnych, a komfort – wszystkim mieszkańcom. Polskie przepisy nakładają obowiązek stosowania wind w budynkach powyżej 4 kondygnacji i ze względu na koszt instalacji i eksploatacji prawie zawsze rezygnuje się z ich zastosowania w niższych budynkach. Kogenerator może tę sytuację zmienić, zapewniając dostawę własnego prądu. Sugerowane jest wykorzystanie prądu do celów wspólnych - rozdzielenie prądu na mieszkania jest trudne – lepiej, gdy funkcjonuje jeden centralny licznik w zarządzie wspólnoty [5]. Jednak w kontekście przewidywanego kryzysu energetycznego opłaca się zaprojektować bardziej skomplikowany rozdział energii na poszczególnych odbiorców w budynku.

W symulacji dla kubatury obejmującej mieszkania i lokale usługowe wynoszącej około 20500 m<sup>3</sup> potrzebna moc kotła wynosi w przybliżeniu 410 kW, zapotrzebowanie na prąd wyniesie około 140 kW. Ze względu na dużą kubaturę a także konieczność około 2 tys. godzin przeglądów mechanicznych silnika modułu kogeneracyjnego, należy zastosować dwa urządzenia, pracujące równolegle: przy czym na początku sezonu włączalby się jeden a drugi stanowiłby rezerwę bezpieczeństwa dla zapotrzebowania szczytowego. Zastosowanie dwóch źródeł ciepła ma dodatkową zaletę: w przypadku awarii jednego z nich instalacji nie grozi zamarznięcie. Na podstawie danych technicznych firmy Viessmann przyjęto moduł kogeneracyjny VITOBLOC 200 typ EM-140/207 [7] i kocioł kondensacyjny, np. Vitocrossal 300 typ CT3 [8] o mocy 460 kW. Pierwsze oznaczenie modułu kogeneracyjnego zawsze dotyczy mocy elektrycznej w kW, moc cieplna wynosi właśnie 207 kW. Moduł pracując pokrywa zapotrzebowanie na prąd dla całej inwestycji i część ciepła, kocioł natomiast włączy się w okresie zwiększonego zapotrzebowania na ciepło grzewcze i ciepłą wodę, ze względu na swoją elastyczność mocy grzewczej, modulowanej w zakresie 30–100%. Ze względu na wymagania techniczne (moduł kogeneracji powinien mieć dość długie okresy pracy) – stosuje się zasobniki buforowe do magazynowania wody grzewczej, a nadwyżka prądu może być oddana do sieci dystrybucyjnej. Dodatkowo, możliwe jest zdalne sterowanie i monitorowanie systemu przez system Telecontrol i Vitocom 300. Należy przy tym zwrócić uwagę, że głównym urządzeniem grzewczym jest kocioł kondensacyjny pracujący równolegle z generatorem prądu. Oba urządzenia są podłączone do instalacji grzewczej, układu podgrzewu ciepłej wody użytkowej, mogłyby również zostać podłączone do innych odbiorników ciepła np. basenu pływackiego w osiedlowym kubie fitness, gdyby projekt go przewidywał [9]. W przypadku zwiększonego zapotrzebowania na ciepło grzewcze kotły kondensacyjne można instalować kaskadowo, a nowatorskie rozwiązania montażu na ścianie pozwalają na oszczędność miejsca, tak ważną przy wysokich kosztach metra kwadratowego inwestycji [5]. Oczywiście powyższy dobór urządzeń jest przykładowy, zarówno jako jedno z różnych możliwych rozwiązań zaspokojenia potrzeb energetycznych rozpatrywanego zespołu budynków, jak i co do wyboru producenta urządzeń. Firma Viessmann została wybrana do symulacji ze względu na zrealizowany w Katowicach obiekt – biurowiec Goeppert-Mayer, pierwszy w Polsce budynek z certyfikatem BREEAM, w którym zastosowano trigenerację na bazie rozwiązań Firmy Viessmann. Trigeneracja obejmuje zastosowanie absorpcyjnego agregatu wody lodowej do celów chłodzenia [10, 11].

Należy podkreślić, że zarówno w omawianym zespole budynków jak i we wspomnianym biurowcu Górnośląskiego Parku Przemysłowego: „Zastosowanie systemu trigeneracyjnego opartego o moduł kogeneracyjny oraz chiller absorpcyjny nie wyklucza użycia konwencjonalnych źródeł energii. Wręcz przeciwnie, potrafią one uzupełniać się i współpracować ze sobą. Energia elektryczna produkowana jest w tzw. „trybie równoległym” z siecią Zakładu Energetycznego (rys. 1). Oznacza to, że gdy w danej chwili system produkuje więcej energii elektrycznej niż aktualne potrzeby

biurowca, nadmiar tej energii zostaje odsprzedany do sieci. Z kolei, jeżeli potrzeby energetyczne budynku są większe niż maksymalna moc elektryczna systemu trigeneracyjnego, niedobór energii jest pobierany z sieci Zakładu Energetycznego” [10].



Rys. 1. Bilans energetyczny modułu mikrobloku grzewczo-energetycznego VITOBLOC 200 typ EM-140/207, oprac. własne na podstawie [7]

W przypadku zastosowania kogeneracji lub trigeneracji w budynkach mieszkalnych, dobór konkretnych urządzeń wynika z dokładnych obliczeń, bazujących na danych z projektu, a także uwzględnia aktualne ceny rynkowe urządzeń i ich montażu oraz ceny paliw i energii. Co prawda polskie przepisy szczegółowe nie obejmują kogeneracji, jednak ze względu na spalanie gazu należy je traktować jako kotły grzewcze i stosować odpowiednie przepisy, odnoszące się do kotłowni i instalacji gazowych, a także wentylacji i przewodów kominowych (m.in. [12]) Należy także zwrócić uwagę na parametry akustyczne, ze względu na uciążliwość dla mieszkańców ze strony zarówno pracujących urządzeń jak i szumu w instalacjach. Bliższej analizie wymagają również zasady odsprzedaży wyprodukowanej energii elektrycznej w zakresie technicznym zastosowania przetworników, mierników itp. elementów instalacyjnych, ze względu na aspekty techniczne, prawne i finansowe. Także należy pamiętać o tym, że do bloku kogeneracyjnego należą odpowiednie systemowe komponenty techniczne: cyfrowe systemy regulacji, które dopasowują moc do aktualnego zapotrzebowania w energię, oraz akcesoria przyłączeniowe do gazu opałowego i spalin [13, s. 3]. Pomimo utrudnień, wynikających z obecnego stanu przepisów technicznych i regulacji prawnych, kogeneracja jest rozwiązaniem wartym zastosowania przede wszystkim ze względu na kryzys energetyczny, przewidywany w Polsce w najbliższych latach. Jak pisze Prusek: *Resort gospodarki*

*ostrzega, że w latach 2016-17 Polsce grozi niedobór mocy. Najgorzej może być zimą 2017 r. [...] Pierwsze niedobory mocy w Polsce mogą pojawić się w szczycie zimowym 2015 r., ale będzie to jedynie 95 MW. Krytyczna zima grozi nam w 2017 r. – wtedy będzie brakować aż 1100 MW. Latem też będzie problem, bo w 2016 r. może brakować 520 MW, a w 2017 r. – 680 MW. Niedobory mogą doprowadzić do ograniczenia w poborze mocy, a nawet wyłączenia odbiorców. Aby zapobiec niedoborom, można importować energię, zmieniać terminy remontów bloków albo uruchamiać rezerwy mocy. Ale najważniejsze to jak najszybciej budować nowe źródła energii. Inwestycje w energetyce to projekty wieloletnie. Kluczowe dla utrzymania stabilnych dostaw energii w kolejnych latach dopiero się rozpoczęły lub się rozpoczynają. Resort gospodarki zwraca uwagę, że przez najbliższe dwa lata nie zostaną oddane do eksploatacji żadne duże źródła mocy. [...] Inwestycje w energetyce są konieczne także dlatego, że rozwijająca się gospodarka potrzebuje coraz więcej prądu, nawet jeśli dzięki nowym technologiom stanie się bardziej efektywna i np. ograniczy się straty przesyłowe albo zużycie w bardziej energooszczędnych budynkach i urządzeniach. Ekspertki szacują, że wzrost PKB o 1 proc. powoduje wzrost zapotrzebowania gospodarki na prąd o 0,7 proc. [14].*

#### 4. PODSUMOWANIE

Podstawowe zalety kogeneracji to jej wymiar ekologiczny, wpisujący obiekty, w których byłaby zastosowana, do nurtu projektowania z zastosowaniem zasad zrównoważonego rozwoju, a jednocześnie podwyższenie komfortu użytkowania mieszkań i bezpieczeństwa konsumentów energii elektrycznej. Biorąc pod uwagę, że nasze życie zależy w ogromnej mierze od urządzeń elektrycznych, przewidywany w Polsce kryzys energetyczny w najbliższych latach jest faktem nie do zignorowania. Zastosowanie w budynku mieszkalnym modułu kogeneracji staje się w tym kontekście nie tylko wyrazem dbałości o środowisko i o własny komfort, ale nabiera znaczenia życiowej konieczności dla współczesnego człowieka, korzystającego z energii elektrycznej przy zaspokajaniu swoich podstawowych potrzeb życiowych i mieszkaniowych.

#### LITERATURA

- [1] DERSKI B., *Żółte certyfikaty wrócą jeszcze w tym roku*, <http://www.reo.pl/zolte-certyfikaty-wroca-jeszcze-w-tym-roku>, Dostęp 05.08.2013.
- [2] KOSIŃSKI P., *System wsparcia kogeneracji w Polsce*, [http://www.bioalians.pl/images/stories/20130523\\_Bio\\_Alians\\_System\\_wsparcia\\_kogeneracji\\_w\\_Polsce.pdf](http://www.bioalians.pl/images/stories/20130523_Bio_Alians_System_wsparcia_kogeneracji_w_Polsce.pdf), Dostęp 05.08.2013.
- [3] *Koalicja Klimatyczna, Nowelizacja przyjęta, ale problemy zostają*, <http://www.reo.pl/koalicja-klimatyczna-nowelizacja-przyjeta-ale-problemy-zostaja>, Dostęp 05.08.2013
- [4] ROSTOSKA D., *Czy wiesz, że...możesz zarabiać na sprzedaży certyfikatów?*, <http://www.bosbank.dlafirm.pl/eko-naped/czy-wiesz-e-mo-esz-zarabiac-na-sprzedazy-certyfikatow/>, Dostęp 05.08.2013.

- [5] Informacje: konsultacja Viessmann, oddział Wrocław, lipiec 2013.
- [6] Viessmann, BHKW Dokumentacja 2012 (w formie CD) *Prospekt – Moduły kogeneracyjne 2012\_02.pdf*, VIESSMANN 2012.02, 6.
- [7] Viessmann, BHKW Dokumentacja 2012 (w formie CD) *Przegląd VITOBLOC 200 gaz ziemny.pdf*, VIESSMANN 2012.02.
- [8] Viessmann, Viessmann\_-\_prospektvitocrossall-200807.pdf, Viessmann, P007 03 PL07/2008, 25.
- [9] Viessmann, BHKW Dokumentacja 2012 (w formie CD) *Top Technik – Vitobloc 2012\_02.pdf*, VIESSMANN 2012.02, 2-3.
- [10] *Park technologiczny*, <http://www.gppkatowice.pl/park-technologiczny.html>. Dostęp 05.08.2013.
- [11] JEDLECKI P., *Dom, który sam kombinuje*, Gazeta Wyborcza, 2012.11.12, 26–27.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690, z 2003 r., Nr 33, poz. 270, z 2004 r., Nr 109, poz. 1156, z 2008 r., Nr 201, poz. 1238, z 2009 r., Nr 56, poz. 461 oraz z 2010 r., Nr 239, poz. 1597). Pełny tekst aktu, <http://www.gunb.gov.pl/>.
- [13] Viessmann, BHKW Dokumentacja 2012 (w formie CD) *Top Technik – Vitobloc 2012\_02.pdf*, VIESSMANN 2012.02, 3.
- [14] PRUSEK T., *Czy zimą 2017 r. zabraknie w Polsce prądu?*, [http://wyborcza.biz/Energetyka/1,129200,14399548,Czy\\_zima\\_2017\\_r\\_zabraknie\\_w\\_Polsce\\_pradu\\_.html](http://wyborcza.biz/Energetyka/1,129200,14399548,Czy_zima_2017_r_zabraknie_w_Polsce_pradu_.html), Dostęp 08.08.2013.

#### CONDITIONS OF USE AND BENEFITS OF CHP IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Due to the expected energy crisis in Poland in the coming years, to become independent from the electricity supply in the daily operation becomes an issue of particular importance at the moment.

The use of modern cogeneration modules (CHP – Combined Heat and Power) or tri-generation (CHP+Absorption Chiller) for housing is, in the outlined context, the ideal solution to meet the needs of electricity consumers, who are residents of modern housing estates. CHP in general is part of the contemporary trend of sustainable development for minimizing harm to the environment in the production of electricity and heat, and its form of local “tailor-made” production by customers – so called “prosumers” has additional advantage of independence from centralized energy supply sources. The article is a simulation of the use of CHP in selected residential quarter of an experimental housing estate “New Zerniki”, which is realized in Wrocław. The simulation elaborated in collaboration with the division of the Company Viessmann based in Wrocław. Tri-generation in the reference office Goeppert-Mayer building in Katowice, certified BREEM is based on solutions of Viessmann. Courtesy of Wrocław branch companies made possible this study of use of cogeneration unit for residential quarter in the experimental housing estate “WuWa 2”. The author makes the analysis against the background of the existing Polish law.

## ROZDZIAŁ XXXII

# HYBRYDOWE KOLEKTORY SŁONECZNE

Paweł PACYGA\*

Hybrydowe kolektory słoneczne są to urządzenia pozwalające na jednoczesną konwersję energii promieniowania słonecznego do energii cieplnej i energii elektrycznej. Standardowe kolektory PVT (Photovoltaic/Thermal) składają się z modułu fotowoltaicznego oraz płyty absorbera przymocowanej do tylnej ściany modułu. Zadaniem wspomnianej płyty jest chłodzenie modułu PV do odpowiedniej temperatury, co prowadzi do wzrostu sprawności przetwarzania energii słonecznej w elektryczność, natomiast odebrane ciepło można wykorzystać do produkcji ciepłej wody użytkowej lub do napędu adsorpcyjnych systemów klimatyzacyjnych. W artykule przedstawiono obecne trendy rozwoju hybrydowych kolektorów słonecznych – począwszy od płaskich kolektorów PVT do zaawansowanych, parabolicznych kolektorów CPVT.

Słowa kluczowe: *hybrydowe kolektory słoneczne, energetyka ze źródeł odnawialnych*

### 1. WPROWADZENIE

Hybrydowe kolektory słoneczne charakteryzują się wyższą sprawnością konwersji energii promieniowania słonecznego do energii elektrycznej i energii cieplnej oraz większą stabilnością działania, niż pracujące indywidualnie panele fotowoltaiczne czy kolektory słoneczne.

Zasadniczo, możemy podzielić systemy słoneczne na dwie podstawowe kategorie zależne od sposobu konwersji energii słonecznej: produkujące ciepło lub energię elektryczną. W przypadku pierwszej kategorii wynikiem procesu konwersji promieniowania słonecznego jest nisko- lub wysokotemperaturowe ciepło użyteczne, a urządzenia służące do przeprowadzania wspomnianego procesu noszą nazwę kolektorów słonecznych.

Kolektor słoneczny jest szczególnym rodzajem wymiennika ciepła, który umożliwia zamianę energii promieniowania słonecznego, padającego na powierzchnię absorbera, na energię cieplną medium roboczego. Pod względem sposobu odbioru promieniowania słonecznego rozróżniamy dwa typy kolektorów słonecznych: stacjonarne

---

\* Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

oraz koncentrujące. Kolektory nie wyposażone w system skupiania wiązki światła posiadają taką samą powierzchnię do przechwytywania promieniowania słonecznego i absorbowania go. W przypadku kolektorów skupiających powierzchnia przechwytyjąca promieniowanie zazwyczaj wykonana jest w postaci wklęsłych elementów refleksyjnych, które kierują wiązkę światła na znacznie mniejszą powierzchnię absorbującą odbiornika, dzięki takiemu rozwiązaniu konstrukcyjnemu uzyskuje się wyższe temperatury i gęstości energii.

Panele fotowoltaiczne cieszą się obecnie dużą popularnością ze względu na możliwość bezpośredniej konwersji energii słonecznej do energii elektrycznej. Zasada działania tych urządzeń opiera się na wykorzystaniu efektu fotoelektrycznego występującego w półprzewodnikowym złączu p-n. Najczęściej wykorzystywane są ogniwa zbudowane na bazie krzemu monokrystalicznego, ale stosuje się także ogniwa oparte na krzemie polikrystalicznym, krzemie amorficznym, polimerach i wielu innych.

Obecnie na świecie powszechna staje się idea fototermicznej konwersji energii, która łączy dwa opisane powyżej sposoby przetwarzania energii promieniowania słonecznego. Hybrydowe kolektory słoneczne pozwalają kogeneracyjnie produkować zarówno elektryczność, jak i ciepło. W artykule przedstawiono obecne trendy rozwoju hybrydowych kolektorów słonecznych – począwszy od płaskich kolektorów PVT (*Photovoltaic/Thermal*) do zaawansowanych, parabolicznych kolektorów CPVT (*Concentrating Photovoltaic/Thermal*).

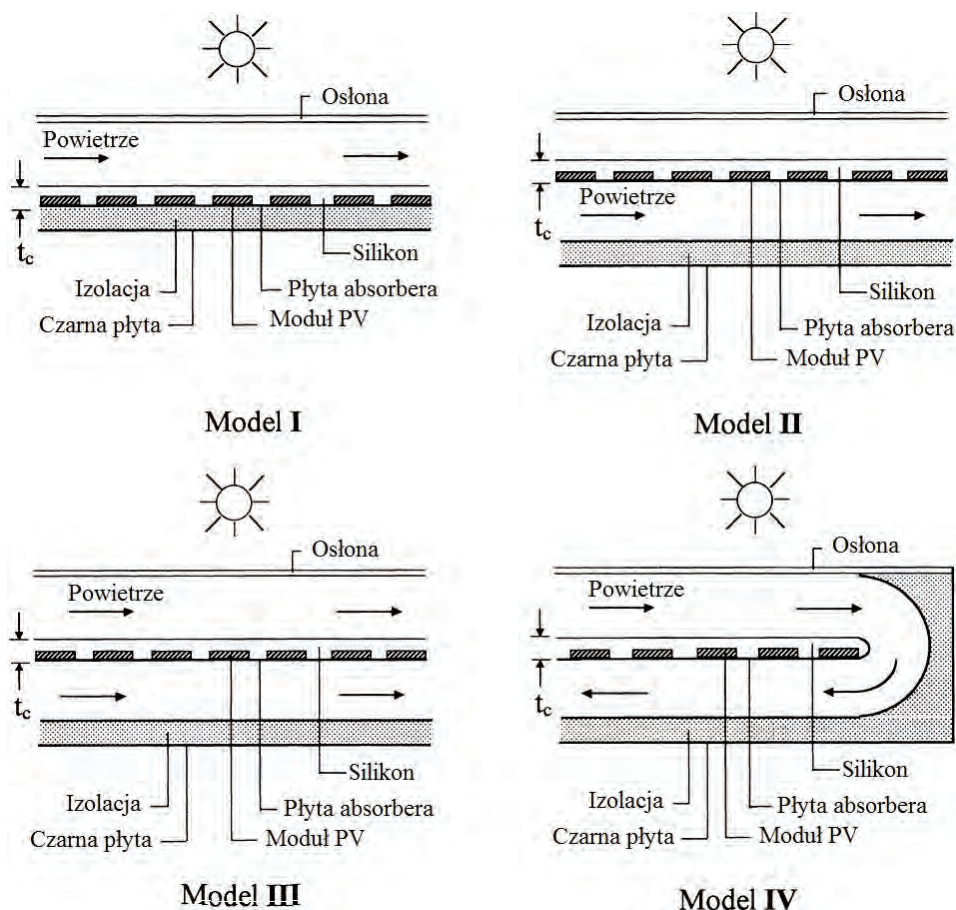
## 2. POWIETRZNE KOLEKTORY PVT

Powietrzne kolektory PVT zapewniają proste rozwiązanie problemu chłodzenia modułu fotowoltaicznego. Przepływ powietrza może być naturalny lub wymuszony. Przepływ turbulentny charakteryzuje się korzystniejszymi współczynnikami przeniesienia ciepła w stosunku do przepływu swobodnego, niestety część wyprodukowanej energii elektrycznej musi zostać zużyta na zasilenie wentylatora. Powietrze chłodząc rozgrzany moduł fotowoltaiczny ogrzewa się do ustalonego poziomu temperatury zależnego od aktualnych warunków klimatycznych, konstrukcji kolektora PVT oraz charakteru przepływu powietrza.

Tonui i Tripanagnostopoulos [15] prowadzili badania mające na celu poprawę wydajności powietrznego kolektora PVT przy jak najmniejszych kosztach inwestycyjnych. Naukowcy zaproponowali modyfikację w kanale powietrza – wprowadzenie cienkiej blachy metalowej do kanału lub wykonanie zębrowania na tylnej ścianie w kanale powietrznym, co przyczyniło się do wzrostu strumienia odbieranego ciepła przez powietrze i tym samym efektywnego chłodzenia panelu fotowoltaicznego. W trakcie badań stworzono model analityczny omawianego kolektora, a wyniki uzyskane na jego podstawie porównano z danymi pochodzącymi z eksperymentu. Następnie na podstawie modelu przeprowadzono badania dotyczące wpływu głębokości

kanalu powietrza, jego długości oraz strumienia masy przepływającego powietrza na sprawność elektryczną i cieplną kolektora PVT.

Wyniki badań wpływu wzajemnego położenia kanału powietrza i panelu fotowoltaicznego na termiczną, elektryczną, hydrauliczną oraz całkowitą sprawnością płaskiego kolektora powietrznego PVT przedstawiono w pracy [7]. Zaprezentowano cztery modele numeryczne, widoczne na rys. 1: I – kanał powietrza znajdujący nad panelem fotowoltaicznym, II – kanał powietrza znajdujący się pod panelem fotowoltaicznym, III – panel fotowoltaiczny znajdujący się pomiędzy kanałami powietrza ze zgodnym kierunkiem przepływu, IV – panel fotowoltaiczny chłodzony obustronnie powietrzem przepływającym jednym kanałem. Wyniki uzyskane w wyniku obliczeń numerycznych wskazują, iż pierwszy układ jest rozwiązaniem najmniej efektywnym, natomiast trzy pozostałe układy charakteryzują się zbliżonymi wynikami.



Rys. 1. Schematy różnych modeli powietrznych kolektorów PVT, oprac. własne na podstawie [7]



Powietrzne kolektory PVT są mniej efektywne od cieczowych kolektorów PVT ze względu na gorsze własności cieplne powietrza w stosunku do wody (m. in. niższe wartości współczynników przekazywania ciepła oraz mniejszą pojemność cieplną). Nie stanowi to jednak przeszkody w stosowaniu kolektorów powietrznych, ponieważ urządzenia te nie wymagają dużej ilości materiałów do swojej budowy, a ponadto charakteryzują się niewysokimi kosztami eksploatacyjnymi.

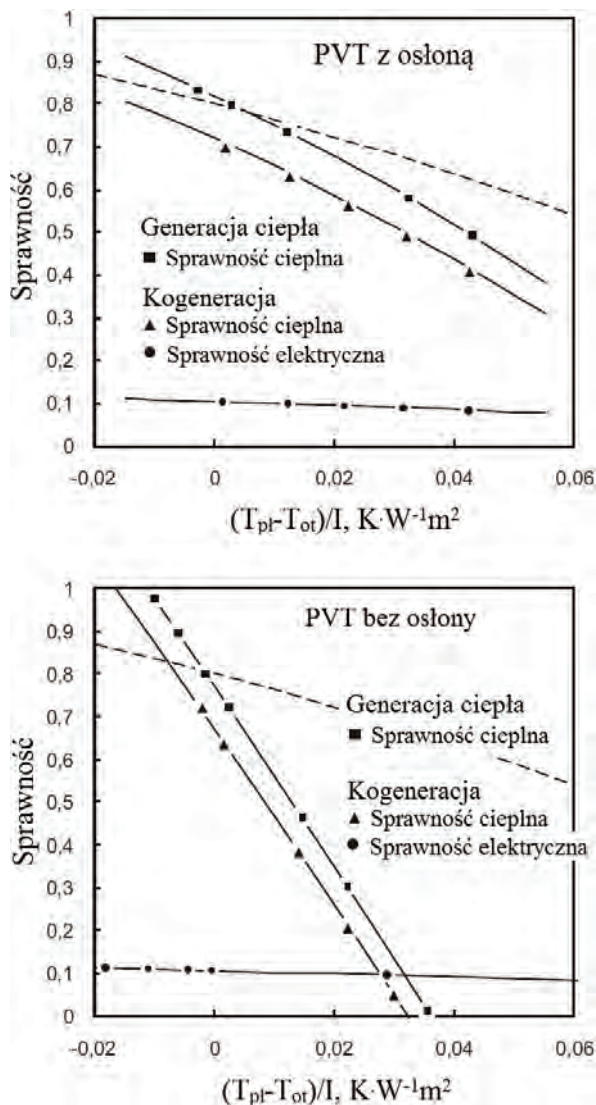
### 3. CIECZOWE KOLEKTORY PVT

Już w późnych latach osiemdziesiątych Hayakashi i in. [6] zaprezentowali system składający się z serii paneli fotowoltaicznych o łącznej powierzchni 48 m<sup>2</sup>. Każdy z paneli połączony był z przezroczystą rurą wypełnioną czarnym płynem. Energia elektryczna była magazynowana w akumulatorach, a energia cieplna w dwóch zbiornikach wodnych, każdy o pojemności 1 m<sup>3</sup>. Celem instalacji było zapewnienie odpowiedniej ilości energii do produkcji ciepłej wody użytkowej oraz do ogrzewania pomieszczeń w systemie podłogowym.

Kalogirou oraz Tripanagnostopolous [9] w swojej pracy przedstawili system wyposażony w hybrydowy kolektor PVT służący do przygotowywania ciepłej wody użytkowej oraz produkcji energii elektrycznej. Idea działania układu polega na chłodzeniu modułu fotowoltaicznego za pomocą przepływającej wody, dzięki obniżeniu temperatury modułu sprawność konwersji promieniowania słonecznego do energii elektrycznej pozostaje na odpowiednim poziomie. Odebrane ciepło odpadowe służy do ogrzewania lub innych niskotemperaturowych instalacji cieplnych. Materiałami, z których zbudowane zostały panele fotowoltaiczne były krzem polikrystaliczny oraz krzem amorficzny. Wyniki badań pokazują, że zastosowanie krzemu polikrystalicznego zwiększa ilość produkowanej energii elektrycznej w stosunku do krzemu amorficznego, natomiast ilość produkowanego ciepła ulega niewielkiemu zmniejszeniu.

Dupeyrat i in. [4] dokonali analizy pracy systemu solarnego służącego do przygotowywania ciepłej wody użytkowej, wyposażonego w hybrydowy kolektor słoneczny. Badacze zwrócili szczególną uwagę na zastosowanie wspomnianego systemu w rozwiązaniach, gdzie jedną z głównych przeszkód jest niewielka dostępna przestrzeń. Wynikiem rozważań teoretycznych naukowców było stworzenie nowego typu kolektora PVT. Badania eksperymentalne pokazują, że sprawność cieplna urządzenia jest równie wysoka, jak w przypadku zastosowania płaskiego kolektora słonecznego. Również sprawność przetwarzania energii słonecznej na energię elektryczną nie odstaje znacząco od tej osiągananej przez standardowe moduły PV o zbliżonej jakości (rys. 2).

Vokas i in. [16] zaprezentowali rozważania teoretyczne systemu wyposażonego w cieczowy kolektor słoneczny PVT, służącego do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń.

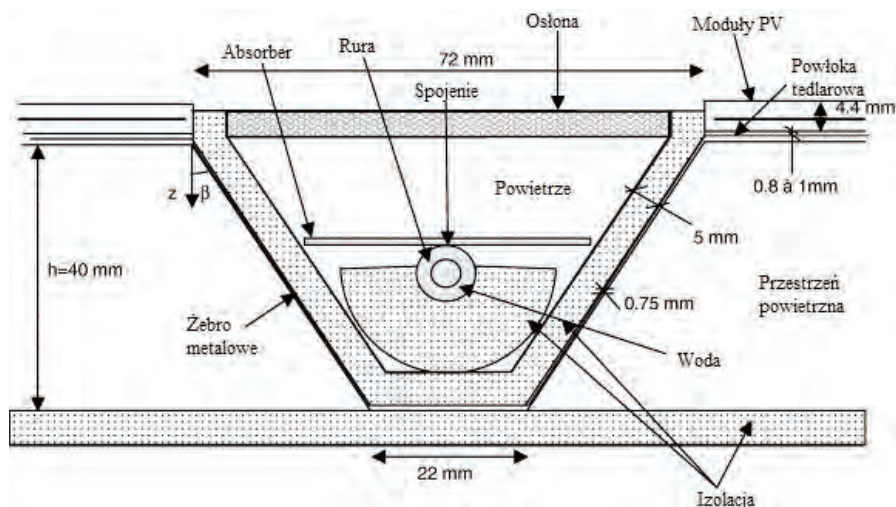


Rys. 2. Charakterystyki pracy dwóch kolektorów PVT: z osłoną oraz bez osłony, oprac. własne na podstawie [4]

Sprawność cieplna rozpatrywanego systemu solarne zostało oszacowane jako tylko o 9% niższa od sprawności osiągananej przez klasyczne instalacje kolektorów słonecznych.

Assoa i in. [1] przedstawili nową koncepcję kolektora hybrydowego PVT (rys. 3). Ten typ kolektora umożliwia wstępne ogrzewanie powietrza i produkcję ciepłej wody użytkowej oraz generację energii elektrycznej przez ogniwa słoneczne. Szczególnie

położenie elementów absorbera oraz modułów fotowoltaicznych zezwala na produkcję wody o wyższej temperaturze, niż większość obecnie stosowanych kolektorów hybrydowych. Wspomniana zaleta omawianego kolektora zezwala na budowę systemów chłodzenia i grzania bez potrzeby stosowania dodatkowych źródeł ciepła. W swojej pracy autorzy prezentują dwuwymiarowy model stacjonarny hybrydowego kolektora PVT, na podstawie którego badają wpływ różnych czynników (np. strumienia masy przepływającego czynnika) na sprawność całkowitą kolektora.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny kolektora słonecznego PVT z dwoma czynnikami: powietrzem i wodą, oprac. własne na podstawie [1]

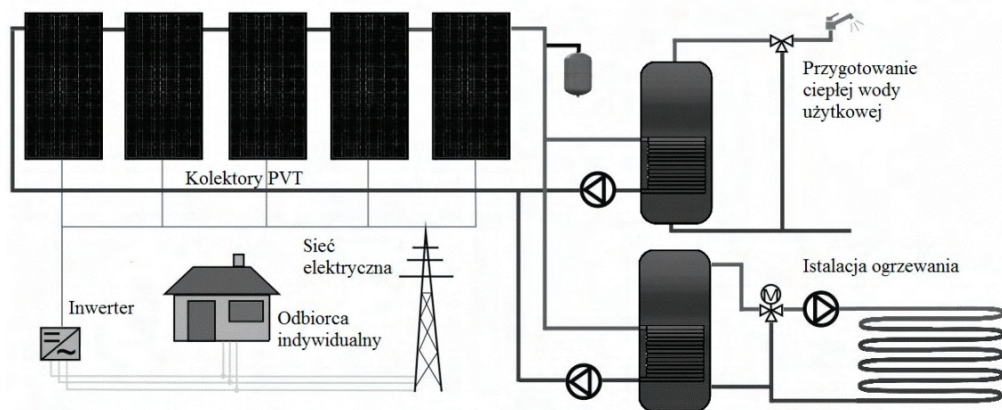
Zacharenko i in. [17] zwrócili uwagę na kontakt termiczny pomiędzy panelem fotowoltaicznym a płytą absorbera. Autorzy zaproponowali element łączący wykonany z cienkiej 2 mm blachy aluminiowej pokrytej izolacją elektryczną grubości 2  $\mu\text{m}$ . Tak wykonane podłoże zapewnia przewodność cieplną mniejszą jedynie o 15% w stosunku do przewodności cieplnej aluminium. Ponadto sugeruje się, aby powierzchnia ogniw fotowoltaicznych była mniejsza od powierzchni absorbera.

Elswijk i in. [5] przeprowadzili badania dotyczące dużej instalacji hybrydowych kolektorów PVT znajdujących się na dachach budynków wielorodzinnych. Wnioski płynące z przeprowadzonej analizy sugerują, że zastosowanie cieczowych kolektorów PVT pozwala zaoszczędzić znacząco powierzchnię – około 38% powierzchni jaką musiałyby zająć umiejscowione osobno przy sobie panele fotowoltaiczne oraz kolektory słoneczne.

Santbergen i in. [12] prowadzili badania numeryczne dotyczące płaskiego kolektora PVT. Celem badań było określenie uzysku energii elektrycznej oraz energii cieplnej, w przypadku zastosowania ogniw fotowoltaicznych różniących się między sobą

technologią wykonania. Wyniki badań wskazują na to, że zysk energii elektrycznej jest o 14% mniejszy, niż w przypadku zastosowania indywidualnie pracujących modułów PV. Co do uzysku energii cieplnej sytuacja miała się podobnie, uzysk ciepła w kolektorze PVT okazał się o 19% niższy niż w przypadku użycia konwencjonalnych kolektorów płaskich. Naukowcy wyjaśniają wspomniane straty w następujący sposób: spadek wydajności produkcji energii elektrycznej spowodowany jest zwiększoną temperaturą płynu cyrkulującego, natomiast obniżona ilość odbieranej energii cieplnej wynika z wysokiej emisyjności laminatu ogniów fotowoltaicznych oraz wykorzystania części energii promieniowania słonecznego na cele generacji energii elektrycznej. Wspomniane straty energii można wyeliminować poprzez zastosowanie powłok antyrefleksyjnych, a także przez nałożenie warstwy selektywnej na powierzchnię absorbera.

Polo Lopez i in. [11] w swojej pracy przedstawili innowacyjny moduł PVT. Kolektor zbudowany jest z rurek powszechnie używanych do budowy instalacji ogrzewania podłogowego wypełnionych specjalną solanką w celu chłodzenia ogniów fotowoltaicznych. Przeprowadzone przez naukowców badania zawierają jedynie wyniki wstępne, które sugerują, że wykonanie prototypowego kolektora PVT z powszechnie dostępnych materiałów, charakteryzujących się niskim kosztem, także może prowadzić do efektywnego obniżenia temperatury paneli fotowoltaicznych, i tym samym zwiększenia sprawności konwersji energii promieniowania słonecznego do energii elektrycznej. Autorzy wskazują duże możliwości rozwojowe zaproponowanego kolektora hybrydowego.



Rys. 4. Przykładowa aplikacja hybrydowych kolektorów słonecznych PVT190, oprac. własne na podstawie [14]

Sprzedawany w Polsce, hybrydowy kolektor słoneczny PVT190 [14] stanowi połączenie półprzewodnikowego modułu fotowoltaicznego z płaskim cieczowym kolektorem słonecznym. Zapewnia jednocześnie przetwarzanie energii słonecznej w ciepło

i prąd elektryczny, co zilustrowane zostało na rys. 4. Hybrydowy kolektor słoneczny PVT190 oprócz ciepła, wytworzy w ciągu roku 190–200 kWh energii elektrycznej. Tradycyjny moduł fotowoltaiczny o porównywalnej mocy, wytwarzający wyłącznie prąd elektryczny, wytworzy 170 kWh energii. Zastosowanie hybrydowych kolektorów słonecznych PVT190 zamiast tradycyjnych kolektorów i modułów fotowoltaicznych skraca okres zwrotu inwestycji o 11–20% [14].

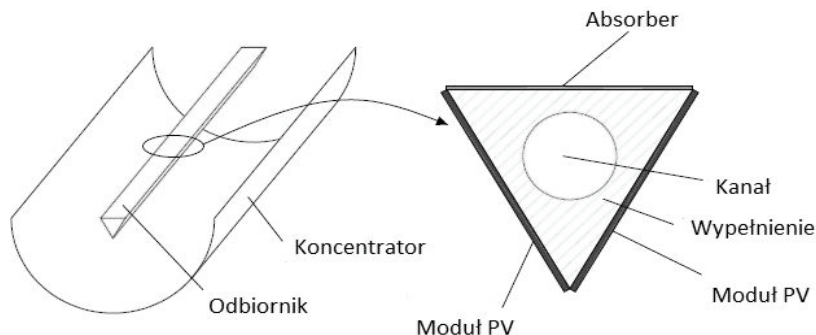
#### 4. SKUPIAJĄCE KOLEKTORY CPVT

Chcąc uzyskać wyższą sprawność procesu produkcji energii elektrycznej, w kolektorach typu PVT, obniża się temperaturę medium chłodzącego, tym samym obniżając temperaturę panelu PV. Niestety w ten sposób otrzymujemy niskotemperaturowe ciepło odpadowe, które ma ograniczoną liczbę efektywnych aplikacji. Z tego względu poszukuje się rozwiązań gwarantujących wyższe temperatury pracy, sięgające 80 °C, przy zachowaniu wysokiej sprawności produkcji elektryczności [8].

Odpowiedzią na powyższe oczekiwania stały się kolektory typu CPVT (Concentrating Photovoltaic/Thermal). Koszt takiego urządzenia jest znacznie niższy niż przeciętnego kolektora PVT. Różnica ta wynika z mniejszej ilości zainstalowanych modułów PV na jednostkę powierzchni. Schemat koncepcyjny omawianego kolektora został pokazany na rys. 5.

Biorąc pod uwagę fakt, że temperatura pracy takiego urządzenia może sięgać ponad 250 °C, sugeruje się zaimplementowanie w tym rozwiązaniu trójzłączniowych ogniw fotowoltaicznych osiągających w warunkach nominalnych sprawność rzędu 44% [13]. Zaadaptowanie kolektora CPVT we wspomnianej postaci gwarantowałoby możliwość pracy przy temperaturach 240 °C ze sprawnością produkcji energii elektrycznej sięgającą 20% [10]. Co więcej, medium robocze, o tak wysokiej temperaturze, może służyć jako górne źródło ciepła dla silników Stirlinga, Braytona, czy do realizacji obiegu ORC, jak również do ogrzewania i chłodzenia solarnego [3].

Calise i in. [2] przeprowadzili badania skupiającego kolektora PVT zintegrowanego z systemami ogrzewania oraz chłodzenia. Wspomniany kolektor wykonany jest z technologii parabolicznego koncentratora talerzowego z modułami trójzłączniowymi. Stworzony przez naukowców model uwzględnia poligenerację energii elektrycznej, ciepła na cele grzewcze oraz chłodzenia, a także do wytwarzania ciepłej wody użytkowej. Badania symulacyjne pokazują, że omawiany system jest w stanie zaoszczędzić wiele energii, przede wszystkim w okresie letnim. Natomiast analiza ekonomiczna potwierdza zasadność budowy tego typu systemów, zwłaszcza przy odpowiednim dofinansowaniu ze środków publicznych. Autorzy stwierdzają, że wykorzystanie w omawianej instalacji skupiającego, parabolicznego kolektora PVT wiąże się ze zwiększoną sprawnością i wydajnością systemu, niż w przypadku zastosowania standardowego, płaskiego kolektora PVT.



Rys. 5. Projekt koncepcyjny kolektora CPVT, oprac. własne na podstawie [3]

## 5. PODSUMOWANIE

Hybrydowe kolektory słoneczne są to urządzenia pozwalające na jednoczesną konwersję energii promieniowania słonecznego do energii cieplnej i energii elektrycznej. Standardowe kolektory PVT składają się z modułu fotowoltaicznego oraz płyty absorbera, której zadaniem jest chłodzenie modułu fotowoltaicznego, co prowadzi do wzrostu sprawności przetwarzania energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną, natomiast odebrane ciepło można wykorzystać w różnych aplikacjach niskotemperaturowych.

Hybrydowe kolektory słoneczne, które doskonale wpisują się w tematykę związaną z odnawialnymi źródłami energii, są bardzo obiecującymi urządzeniami, pozwalającymi na zwiększoną całkowitą produkcję energii. Niestety dotąd nie wykonano żadnych znaczących kroków w celu obniżenia ich kosztu, co wpłynęłoby na ich konkurencyjność w stosunku do innych technologii solarnych i ich rozpowszechnienie w kraju.

## LITERATURA

- [1] ASSOA Y.B., MENEZO C., FRAISSE G., YEZOU R., BRAU J., *Study of a new concept of photovoltaic-thermal hybrid collector*, Solar Energy, 2007, 81, 1132–1143.
- [2] CALISE F., D'ACCADIA M.D., PALOMBO A., VANOLI L., *Dynamic simulation of a novel high-temperature solar trigeneration system based on concentrating photovoltaic/thermal collectors*, Energy, 2012, 5, 1–15.
- [3] CALISE F., VANOLI L., *Parabolic Trough Photovoltaic/Thermal Collectors: Design and Simulation Model*, Energies, 2012, 5, 4186–4208.
- [4] DUPEYRATA P., MÉNÉZOB C., FORTUINC S., *Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system*, Energy and Buildings, 2012.
- [5] ELSWIJK M.J., JONG M.J.M., BRAAKMAN J.N.C., LANGE E.T.N., de, SMIT W.F., *Photovoltaic/Thermal collectors in large solar thermal systems*, 19th EPSEC, Paris 2004.

- [6] HAYAKASHI B., MUZUSAKI K., SATOH T., HATANAKA T., *Research and development of photovoltaic/thermal hybrid solar power generation system*, ISES Solar World Congress, Kobe 1989.
- [7] HEGAZY A.A., *Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors*, Energy Conversion Management, 2000, 41, 861–881.
- [8] IBRAHIM A., OTHMAN M., RUSLAN M.H., MAT S., SOPIAN K., *Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors*, Renew. Sustain. Energy Rev., 2011, 15, 352–365.
- [9] KALOGIROU S.A., TRIPANAGNOSTOPOULOS Y., *Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production*, Energy Conversion and Management, 2006, 47, 3368–3382.
- [10] MITTELMAN G., KRIBUS A., DAYAN A., *Solar cooling with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems*, Energy Conversion Management, 2007, 48, 2481–2490.
- [11] POLO LÓPEZ C.S., TENCONI L., LO CASTRO F., BRAMBILASCA S., VIRTUANI A., *Testing of a Cost-effective Photovoltaic, Thermal Hybrid Solar Collector Prototype*, IEEE, 2011, 479–484.
- [12] SANTBERGEN R., RINDT C.C.M., ZONDAG H.A., VAN ZOLINGEN R.J.Ch., *Detailed analysis of the energy yield of systems with covered sheet-and-tube PVT collectors*, Solar Energy, 84, 2010, 867–878.
- [13] STEVENSON R., *Powerful PVs approach 50 percent efficiency*, IEEE Spectrum, 49, 12, 2012, 14–16.
- [14] *Tehaco Energy. Energetyka odnawialna. Karta katalogowa PVT19*, <http://www.tehaco-energy.com/images/stories/pedeefy/newPVT190.pdf>. Dostęp 10.07.2013.
- [15] TONUI JK., TRIPANAGNOSTOPOULOS Y., *Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements*, Solar Energy, 2007, 81, 498–511.
- [16] VOKAS G., CHRISTANDONIS N., SKITTIDES F., *Hybrid photovoltaic-thermal systems for domestic heating and cooling – a theoretical approach*, Solar Energy, 80, 5, 607–615, 2006.
- [17] ZAKHERCHENKO R., LICEA-JIMENEZ L., PEREZ-GARCIA S.A., VOROBEIV P., DEHESA-CARRASCO U., PE'REZ-ROBELS J.F. et al., *Photovoltaic solar panel for a hybrid PV/thermal system*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2004, 82, 253–261.

## HYBRID SOLAR COLLECTORS

The hybrid photovoltaic/thermal systems consist of PV modules and heat extraction units mounted together. These systems can simultaneously provide electrical and thermal energy, thus achieving a higher energy conversion rate in comparison to simple photovoltaic systems. The solar energy conversion in electricity and heat with this device is a good advancement for future energy demand. The demand of heat and electricity are needed in industries and different application. The work done by different researchers in this area shows that there is a huge potential of new and hybrid solar energy devices for useful and multipurpose applications. In hot countries, PV cells are suffering of low efficiency due to non availability of low ambient temperature required for cooling the PVC system. Therefore, by placing a solar thermal collector behind a solar photovoltaic array, the PV cells can be cooled down to some extent and at the same time reduces the heat produced by a PVC system. Moreover, the solar collector can harvest most of the energy that passes through the array that otherwise would be lost, recovering it for productive and useful applications. It is clear from the literature review that PV/T collectors are very promising devices and that no substantial steps have been taken towards reducing their cost and making them more competitive. Future work should focus to improve the efficiency of PV/T collectors and cost reduction.

## ROZDZIAŁ XXXIII

# POSTĘP TECHNOLOGICZNY W PŁASKICH KOLEKTORACH SŁONECZNYCH

Paweł PACYGA\*

Płaski kolektor słoneczny należy do najlepiej poznanych technologii pozyskiwania energii cieplnej z energii promieniowania słonecznego. Zastosowanie płaskich kolektorów słonecznych jest szczególnie powszechne w przypadku krajów zlokalizowanych na wyższych szerokościach geograficznych, gdzie udział promieniowania dyfuzyjnego w ciągu roku jest znaczny. Parę lat wstecz, typowe, płaskie kolektory słoneczne składały się ze szklanej przesłony, płyty absorbera, rurek medium roboczego oraz materiałów izolacyjnych. Rozległe badania nad tymi urządzeniami doprowadziły do znacznego wzrostu efektywności procesu konwersji energii słonecznej do ciepła użytkowego. Artykuł w swej treści opisuje obecne kierunki rozwoju płaskich kolektorów słonecznych na świecie.

Słowa kluczowe: *płaski kolektor słoneczny, energetyka rozproszona*

### 1. WPROWADZENIE

Idea działania płaskiego kolektora słonecznego polega na pochłanianiu promieniowania słonecznego przechodzącego przez osłonę przezroczystą i padającego na specjalnie przygotowaną powierzchnię absorbera. Znaczna część energii słonecznej absorbowana przez płytę jest przekazywana do cyrkulującego medium roboczego i dalej przekazywana do punktu magazynowania lub użycia. Zwykle kolektor płaski wykonany jest w taki sposób, że spód płyty absorbera i powierzchnie boczne są starannie zaizolowane w celu redukcji strat ciepła do otoczenia. Płyta absorbera może być wykonana w postaci pojedynczej blachy, do której w przypadku kolektora cieczowego, przymocowane są rurki stanowiące kanały przepływowe dla medium. Do budowy płaskich kolektorów słonecznych często wykorzystuje się osłonę przezroczystą, której zadaniem jest redukcja strat konwekcyjnych z absorbera, ponieważ pomiędzy wymiennymi elementami znajduje się nieruchome powietrze. Dodatkową funkcją osłony

---

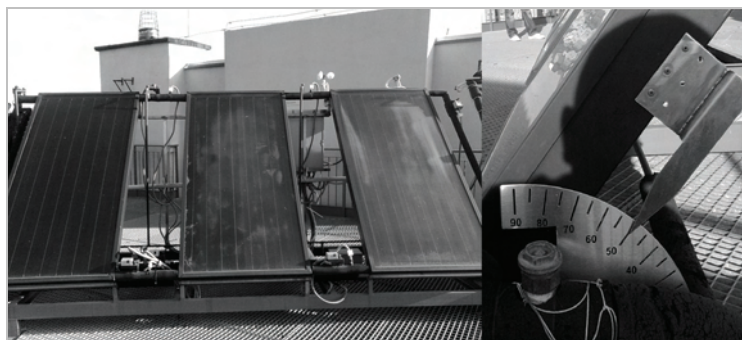
\* Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.



jest także redukcja strat radiacyjnych z kolektora. Wynika to z transparentności szkła dla promieniowania krótkofalowego docierającego ze Słońca, oraz niemalże całkowitej nieprzezroczystości dla promieniowania długofalowego pochodzącego od nagrzananej płyty absorbera. Istotną zaletą płaskich kolektorów słonecznych jest to, że są relatywnie niedrogie w produkcji, ponadto są w stanie pochłaniać zarówno promieniowanie bezpośrednie, jak i rozproszone. Co więcej, ze względu na to, że pozycja kolektora zwykle jest stała, tak więc żaden system podążania za słońcem nie jest wymagany. Na rys. 1 przedstawiono zdjęcie płaskich kolektorów słonecznych, służących do przygotowywania ciepłej wody użytkowej w Centrum Odnawialnych Źródeł Energii w Bielawie. Natomiast na rys. 2 widoczne są niektóre elementy aparatury sterującej i pomiarowej oraz kąt pochylenia względem podłoża wspomnianych powyżej kolektorów, pracujących na dachu COŹE.



Rys. 1. Płaskie kolektory słoneczne umieszczone na dachu Centrum Odnawialnych Źródeł Energii w Bielawie, fot. P. Pacyga



Rys. 2. Kolektory słoneczne znajdujące się na dachu Centrum Odnawialnych Źródeł Energii w Bielawie, fot. P. Pacyga

## 2. BUDOWA KOLEKTORA

Jak już zostało to wspomniane, podstawowe elementy płaskiego kolektora słonecznego to: osłona, kanały medium roboczego, płyta absorbera oraz izolacja cieplna. Osłona wykonana jest w postaci jednej lub większej liczby szklanych osłon przezroczystych, oczywiście mogą być zastosowane inne materiały transparentne. Kanały medium roboczego, zazwyczaj będące rurkami lub żebrami, kierują płyn z wlotu do wylotu kolektora. Płyta absorbera najczęściej jest płaska, aczkolwiek można także spotkać się z absorberami w postaci blachy falistej lub wyżłobionej.

Istotną cechą zastosowanej płyty jest tak zwana warstwa selektywna naniesiona na jej powierzchnię, która charakteryzuje się wysoką absorpcyjnością i niską emisyjnością; izolacja, której zadaniem jest zminimalizowanie strat ciepła z kolektora do otoczenia; obudowa, stanowi element scalający wcześniej opisane komponenty i ochraniający je przed uszkodzeniem.

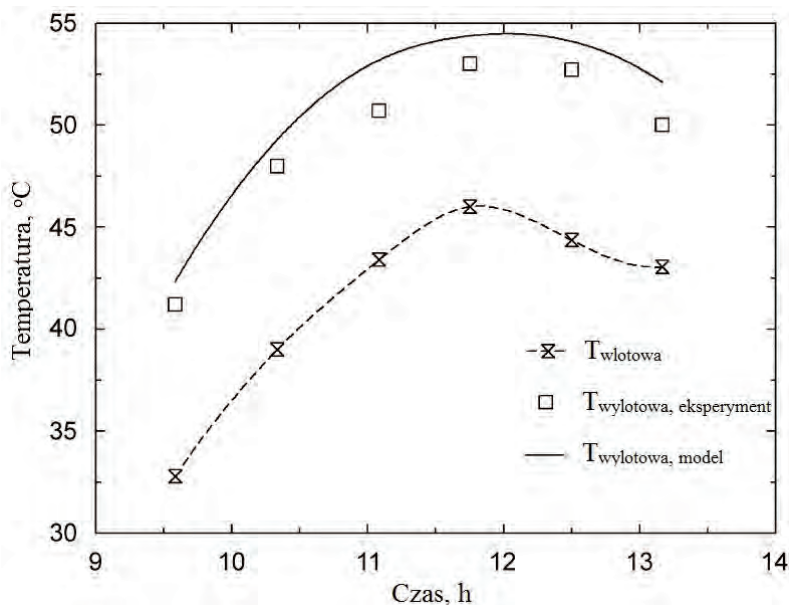
Sposobem na zmaksymalizowanie pochłanianej energii przez absorber jest zastosowanie warstwy selektywnej. Typowe powierzchnie selektywnie składają się z cienkiej warstwy górnej, która silnie pochłania krótkofalowe promieniowanie i zarazem jest transparentna dla promieniowania długofalowego.

Osłona przezroczysta jest istotnym elementem kolektora słonecznego. Wykonana jest zazwyczaj ze szkła, ponieważ potrafi przepuszczać aż 90% docierającego promieniowania krótkofalowego i jednocześnie nie przepuszczając promieniowania długofalowego emitowanego z powierzchni płyty absorbera. Zwykle stosuje się szkła o niskiej zawartości żelaza, ze względu na opisane powyżej właściwości, lecz można spotkać się także z antyrefleksyjnymi osłonami o teksturowanej powierzchni, która znacznie zwiększa transmisyjność.

## 3. BADANIA

Selmi i in. [6] zaprezentowali symulację procesu przekazywania ciepła w płaskim kolektorze słonecznym za pomocą programu CFD. Naukowcy uwzględnili w swoich badaniach zróżnicowane sposoby przewodzenia, konwekcji i radiacji pomiędzy powierzchnią rury, osłoną przezroczystą, izolacją dolną i bocznymi ścianami kolektora. Wyniki otrzymane na podstawie programu CFD charakteryzują się dużą zgodnością z danymi uzyskanymi na drodze eksperymentalnej, co zostało zilustrowane na rys. 3.

Lambert i in. [3] zwrócili uwagę na ideę, według której przepływ pulsacyjny może w istotny sposób zwiększyć strumień przekazywanego ciepła poprzez wzrost dyfuzyjności cieplnej przepływającego czynnika.

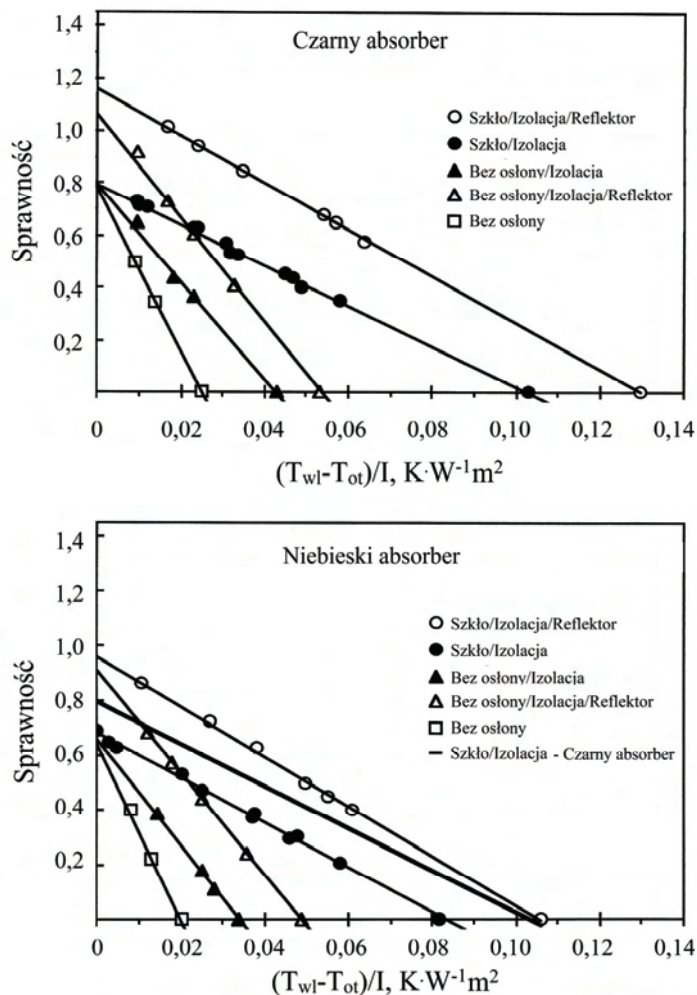


Rys. 3. Charakterystyka pracy płaskiego kolektora słonecznego – porównanie wyników symulacji CFD z danymi eksperymentalnymi, oprac. własne na podstawie [6]

Tsilingiris [9] zaproponował nowy typ polimerowego kolektora, który jest odporny na korozję, jednak posiada kilka ograniczeń jak np.: niska przewodność cieplna i możliwość zastosowania wspomnianego kolektora tylko do średnitemperaturowych aplikacji. Opisujący kolektor jest odpowiedzią na poszukiwania technologii solarnej, która prowadziłaby do poprawy ekonomiczności stosowania słonecznego podgrzewania wody. Kolektor słoneczny ma parę równoległych płyt, pomiędzy którymi przepływa woda. Przestrzeń między płytami może zmieniać się od kilku mm do kilku cm, w zależności od oczekiwanych parametrów kolektora. Konstrukcja kolektora umożliwia absorpcję promieniowania słonecznego na tylnej polimerowej płycie oraz w przepływającej wodzie, co pomaga eliminować niekorzystny efekt przewodzenia z górnej płyty absorbera i skutkuje zwiększoną sprawnością kolektora. Wyniki jednoznacznie pokazują, że ilość pochłoniętego promieniowania wzrosła o 20%, natomiast współczynnik strat ciepła do otoczenia został zmniejszony o 15% w porównaniu do standardowego kolektora polimerowego. Kolektory polimerowe idealnie nadają się do produkcji wielkoseryjnej, co może prowadzić do znacznego obniżenia ceny instalacji.

Tripanagnostopolous i in. [8] zwrócili uwagę na problematykę integracji kolektorów słonecznych z budynkami. W celu zapewnienia kompatybilności wspomnianych urządzeń ciepłych z projektem architektonicznym rozpatrywano wpływ zabarwienia absorbera na sprawność kolektora. Badacze skonstruowali testowy kolektor płaski

z barwionym absorberem, którego zadaniem było przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Zbudowany model urządzenia testowany był na zewnątrz. Eksperyment uwzględniał badanie kolektora słonecznego z osłoną przezroczystą oraz bez osłony, a także z czarnym, niebieskim i czerwono-brązowym absorberem. W celu kompensacji strat ciepłych kolektora bez osłony i niskich własności optycznych barwionego absorbera zastosowano dodatkowe reflektory, zwiększające docierające do płyty promieniowanie słoneczne. Dodatkowy strumień energii z reflektorów zwiększył wydajność cieplną kolektora oraz jego sprawność (autorzy w swoich obliczeniach nie



Rys. 4. Charakterystyki sprawności kolektora słonecznego w zależności od różnicy temperatury, koloru absorbera, a także zastosowanego wariantu budowy kolektora, oprac. własne na podstawie [8]

uwzględniali strumienia promieniowania słonecznego odbitego od reflektorów w całkowitym strumieniu energii, docierającym do powierzchni kolektora). Zaprezentowane wyniki eksperymentalne, jak i teoretyczne pokazują efektywny zakres działania przedstawionych kolektorów, które mogą być użyte w różnych instalacjach zamiast standardowych kolektorów z czarnymi absorberami (rys. 4). Efektywność kolektora z barwionym absorberem może być zbliżona do sprawności osiągananej przez powszechnie stosowane kolektory płaskie z czarną płytą.

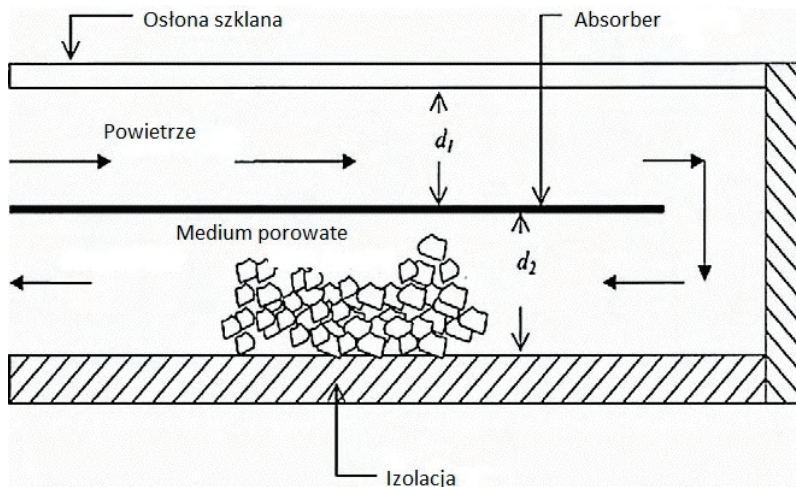
Ackermann i in. [1] przedstawili model cieplno-przepływowego kolektora słonecznego z wewnętrznymi, wzdlużnymi żebrami. Celem doświadczeń było zbadanie w pełni rozwiniętego przepływu laminarnego oraz jego wpływu na charakterystykę przekazywania ciepła urządzenia. Ponadto rozważano wpływ wysokości, grubości, pochylenia, stosunku przewodności cieplnej ścianek panelu oraz żeber do przewodności cieplnej płynu. Wyniki badań pokazują dużą zgodność danych symulacyjnych z danymi doświadczalnymi, co potwierdza dużą użyteczność modelu przy projektowaniu wewnątrznie żebrowanych kanałów w kolektorach słonecznych. Najwyższą sprawność przekazywania ciepła uzyskano dla niewielkich kątów pochylenia i zarazem zwiększonej grubości żeber, a także przy zwiększonej wartości wspomnianego stosunku współczynników przewodzenia ciepła.

Hellstrom i in. [2] zbadali wpływ zmiany absorpcyjności i emisyjności absorbera. Ponadto, pokazali różnicę w zastosowaniu filmu teflonowego i teflonowego plastra miodu. Określili także wpływ powłok antyrefleksyjnych osłony szklanej na roczną sprawność kolektora płaskiego w szwedzkim klimacie. Naukowcy stwierdzili, że wzrost absorpcyjności od 0,95 do 0,97 i spadek emisyjności od 0,1 do 0,05 powoduje wzrost rocznej sprawności kolektora o 6,7%. Zastosowanie filmu teflonowego, jako drugiej osłony, podniosło sprawność o 5,6%, natomiast użycie teflonowego plastra miodu powoduje wzrost sprawności o 12,1%. Warstwa antyrefleksyjna osłony szklanej zwiększa sprawność o 6,5%. Zastosowanie kombinacji teflonowego plastra miodu i powłoki antyrefleksyjnej, a także poprawy własności optycznych płyty absorbera objawia się wzrostem sprawności o 24,6%. Badacze przeprowadzili badania uwzględniające stosowanie struktur plastra miodu wykonanych z innych materiałów niż teflon. Niestety ze względu na niską odporność na temperaturę stagnacji zostały one odrzucone w dalszych badaniach.

Zhao i in. [10] przeprowadzili badania eksperymentalne materiału zmiennofazowego, jakim był wosk parafinowy, w którym umieszczono piankę metalową w celu zwiększenia strumienia przekazywanego ciepła. Naukowcy dostarczając do próbki stały strumień ciepła doprowadzali do topnienia wosku. Stwierdzono, że konwekcja naturalna może poprawić sprawność przekazywania ciepła dzięki redukcji różnicy temperatury pomiędzy ścianką a PCM w trakcie topnienia próbki. Wprowadzenie pianki metalowej do wosku objawia się wzrostem przekazywanego strumienia energii od 3 do 10 razy. Zauważono silną zależność między strukturą pianki metalowej i materiału, z którego jest wykonana na charakterystykę cieplną próbki. Podczas testów

chłodzenia, przy konwekcji naturalnej i wymuszonej, zaobserwowano, że użycie pianki metalowej znacznie przyspiesza krzepnięcie próbki w stosunku do czystego PCM. Zanotowano, że czas krzepnięcia jest dwukrotnie krótszy. Naukowcy stworzyli dwuwymiarowy model numeryczny, który dobrze odzwierciedla zachowanie się próbki w rzeczywistych warunkach. Zaimplementowanie pianek metalowych wypełnionych materiałem zmiennofazowym w kolektorach słonecznych może okazać się efektywną metodą podnoszenia wydajności systemów solarnych.

Martinopoulos i in. [4], w celu zwiększenia odbieranego strumienia ciepła przez płaski kolektor słoneczny, w którym energia promieniowania jest bezpośrednio absorbowana przez zaczerniony płyn cyrkulujący, zaimplementowali struktury plastra miodu, wykonane z poliwęglanu. Wykonano kolektor polimerowy i zbadano jego zachowanie zarówno eksperymentalnie, jak i za pomocą CFD. Rozkład temperatury i prędkości płynu oraz sprawność kolektora przy nominalnym przepływie zostały wykorzystane do zweryfikowania modelu. Naukowcy stwierdzili, na podstawie rozkładu temperatury oraz średniej sprawności kolektora, że dane uzyskane poprzez symulację pozostają w dobrej zgodności z danymi doświadczalnymi. Uzyskana sprawność kolektora jest zbliżona do tej uzyskiwanej przez tanie kolektory płaskie.



Rys. 5. Schemat płaskiego kolektora słonecznego z wypełnieniem porowatym w kanale powrotnym powietrza, oprac. własne na podstawie [7]

Sopian i in. [7] zbudowali płaski kolektor słoneczny, w którym płyta absorbera omywana jest powietrzem z obu stron. Ponadto, w dolnym kanale przepływowym medium roboczego umieszczono materiał porowaty, co zostało schematycznie ukazane na rys. 5. Zastosowanie opisanego rozwiązania zapewnia wyższą temperaturę wylotową w porównaniu do konwencjonalnego kolektora płaskiego, która przekłada

się na wyższą sprawność procesu konwersji promieniowania słonecznego do ciepła użytecznego. Medium porowate testowane było ze względu na różny stopień porowatości i jego wpływ na wzrost przekazywanego strumienia ciepła.

Badacze porównali wyniki opracowanego modelu teoretycznego z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie. Zwrócono uwagę na temperaturę wyjściową, sprawność cieplną kolektora przy różnych warunkach pracy. Uzyskano dużą zgodność pomiędzy wynikami eksperymentalnymi i modelowymi. Stwierdzono, że sprawność opisanego kolektora z wkładem porowatym waha się w okolicach 60–70%.

Rittidech i Wannapakne [5] przeprowadzili badania płaskiego kolektora słonecznego, działającego w połączeniu z wbudowaną rurką ciepła. Omawiany system nie wymaga żadnego zewnętrznego źródła energii, ponieważ jego działanie opiera się na wykorzystaniu sił grawitacji i efektu kapilarnego. Zaproponowany przez autorów kolektor składa się z płyty metalowej o grubości 1 mm znajdującej się pod szklaną osłoną. Istotną częścią kolektora jest długa, kapilarna rurka posiadająca wiele zagięć, w których zlokalizowane są: parowacz, skraplacz oraz strefa adiabatyczna. Przedstawiony system charakteryzuje się zadowalającą sprawnością na poziomie 62%, oferuje dużą odporność na korozję oraz brak zamarzania w okresie zimowym, będąc jednocześnie znacznie tańszą wersją instalacji kolektora słonecznego wyposażonego w wbudowaną rurkę ciepła w stosunku do obecnie stosowanych systemów tego typu.

#### 4. PODSUMOWANIE

Płaski kolektor słoneczny należy do najlepiej poznanych i rozwiniętych urządzeń technik słonecznych. Jest powszechnie stosowany w celu pozyskiwania niskotemperaturowej energii cieplnej pochodzącej ze Słońca. Pomimo tego, że kolektory słoneczne są dostępne od wielu lat, pozostają stale w obszarze zainteresowań naukowców.

Powierzchnia czynna odpowiedzialna za odbiór promieniowania słonecznego zwykle przybiera geometrię płaskiej płyty. Takie rozwiązanie pozwala znacznie uprościć technologię wytwarzania tego typu elementów, co istotnie wpływa na obniżenie kosztów produkcji. Zaletą płaskich kolektorów słonecznych jest zdolność do pochłaniania całkowitego promieniowania słonecznego docierającego do ich powierzchni, a następnie konwersji do ciepła użytecznego. Urządzenia te znajdują szerokie zastosowanie w krajach zlokalizowanych na wyższych szerokościach geograficznych, m. in. w Polsce, gdzie udział promieniowania dyfuzyjnego w cyklu rocznym jest znaczny.

Obecnie buduje się płaskie kolektory słoneczne stosując przesłony wielowarstwowe z niską zawartością żelaza ze względu na stosunkowo wysoki współczynnik transmisyjności dla promieniowania krótkofalowego i niemalże zerowy współczyn-

nik transmisyjności dla długofalowego promieniowania cieplnego. Ponadto, stosuje się filmy teflonowe, struktury plastra miodu, czy np. przepływy pulsacyjne w celu zwiększenia strumienia przekazywanego ciepła.

Widoczne są nowe trendy rozwoju płaskich kolektorów słonecznych: w kierunku kolektorów PVT czyli tzw. kolektorów hybrydowych, oraz poprzez zastosowanie w tych urządzeniach zaawansowanych mieszanin zwanych nanopłynami. Zmiany te mogą prowadzić do wzrostu popularności tych urządzeń w Polsce i tym samym zwiększeniu ilości produkowanej energii ze źródeł odnawialnych.

#### LITERATURA

- [1] ACKERMANN J.A., ONG L.E., LAU S.C., *Conjugate heat transfer in solar collector panels with internal longitudinal corrugated fins: Part I – Overall results*, ASME-JSES-KSES International Solar Energy Conference Part 1 (of 2), Maui, HI, USA, 5 April 1992 through 9 April 1992; Code 17009.
- [2] HELLSTROM B., ADSTEN M., NOSTELL P., KARLSSON B., WACKELGARD E., *The impact of optical and thermal properties on the performance of flat plate solar collectors*, *Renewable Energy*, 2003, 28, 331–344.
- [3] LAMBERT A.A., CUEVASA S., DEL RIO J.A., *Enhanced heat transfer using oscillatory flows in solar collectors*, *Solar Energy*, 2006, 80, 1296–1302.
- [4] MARTINOPOULOS G., MISSIRLIS D., TSILINGIRIDIS G., YAKINTHOS K., KYRIAKIS N., *CFD modeling of a polymer solar collector*, *Renewable Energy*, 2010, 35, 1499–1508.
- [5] RITTIDECH S., WANNAPAKNE S., *Experimental study of the performance of a solar collector by closed-end oscillating heat pipe (CEOHP)*, *Applied Thermal Engineering*, 2007, 27, 1978–1985.
- [6] SELMI M., AL-KHAWAJA M.J., MARAFIA A., *Validation of CFD simulation for flat plate solar energy collector*, *Renewable Energy*, 2008, 33, 383–387.
- [7] SOPIAN K., ALGHOULA M.A., ALFEGIB E.M., SULAIMANA M.Y., MUSAB E.A., *Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous–nonporous media*, *Renewable Energy*, 2009, 34, 640–645.
- [8] TRIPANAGNOSTOPOULOS Y., SOULIOTIS M., NOUSIA T., *Solar collectors with colored Absorbers*, *Solar Energy*, 2000, 68, 343–356.
- [9] TSILINGIRIS P.T., *Back absorbing parallel plate polymer absorbers in solar collector design*, *Energy Conversion and Management*, 2002, 43, 135–150.
- [10] ZHAO C.Y., LU W., TIAN Y., *Heat transfer enhancement for thermal energy storage using metal foams embedded within phase change materials*, *Solar Energy*, 2010, 84, 1402–1412.

#### TECHNOLOGICAL PROGRESS IN FLAT-PLATE SOLAR COLLECTORS

Flat-plate solar collectors are special kind of heat exchangers that transform solar energy to internal energy of a transport medium. They absorb the incoming solar radiation, convert it into heat, and transfer this heat to a fluid which is flowing through the collectors. When solar radiation passes through a transparent cover and impinges on the blackened absorber surface of high absorptivity, a large portion of this energy is absorbed by the plate and then transferred to the transport medium in the fluid tubes to be carried away for storage or use. The underside of the absorber plate and the side of casing are well insulated to reduce conduction losses. In addition, the transparent cover is used to reduce convection losses from the absorber plate through the restraint of the stagnant air layer between the absorber plate and the glass. Moreover, it reduces radiation losses from the collector as the glass is



transparent to the short wave radiation received by the sun but it is nearly opaque to long-wave thermal radiation emitted by the absorber plate. The collector plate absorbs as much of the irradiation as possible through the glazing, while losing as little heat as possible upward to the atmosphere and downward through the back of the casing. Glass has been widely used to glaze solar collectors because it can transmit much of the incoming shortwave solar irradiation while transmitting virtually none of the long-wave radiation emitted outward by the absorber plate. Several of the most common types of flat-plate solar collectors are presented in this paper.

## ROZDZIAŁ XXXIV

# KONCEPCJA DOMU ENERGOOSZCZĘDNEGO Z CAŁOROCZNYM AKUMULATOREM ENERGII CIEPLNEJ – STANOWISKA BADAWCZE

Jacek KASPERSKI\*, Magdalena NEMŚ\*

W artykule przedstawiono koncepcję samowystarczalnego energetycznie domu jednorodzinnego, dostosowanego do warunków klimatycznych Dolnego Śląska. System ciepły budynku opiera się na współpracy słonecznego, powietrznego kolektora skupiającego ze złożem akumulacyjnym wypełnionym materiałem ceramicznym lub kamiennym. Złoże akumulacyjne, po odpowiednim zaizolowaniu cieplnym pozwala na zakumulowanie znacznej ilości energii cieplnej, wystarczającej do ogrzewania energooszczędnego domu jednorodzinnego w sezonie zimowym. Przedstawiono dotychczasowe prace zmierzające do weryfikacji poprawności działania systemu ciepłego na zbudowanych przez autorów stanowiskach badawczych. Opisano dwa zbudowane stanowiska badawcze i opisane także trzecie, aktualnie budowane.

Słowa kluczowe: *dom energooszczędny, kolektor słoneczny, złoże akumulacyjne*

### 1. WSTĘP

Energooszczędność jest stosunkowo nowym trendem w sektorze budownictwa. Ze względu na zalecenia Dyrektyw Unii Europejskiej i prawa polskiego wydaje się jednak, że w najbliższych latach stanie się ona standardem uwzględnianym już na etapie tworzenia projektów. Z pojęciem energooszczędności budynku wiąże się zarówno rodzaj wybranych materiałów budowlanych, konstrukcja architektoniczna jak i zastosowany system grzewczy i klimatyzacyjny.

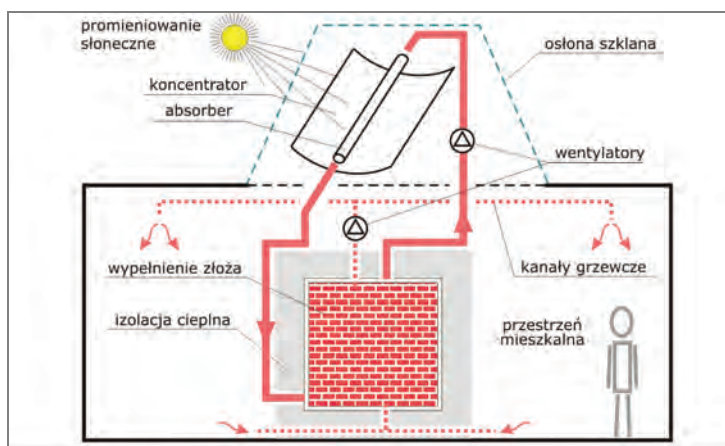
W dalszej części artykułu przedstawiona została koncepcja domu energooszczędnego, którego system ogrzewania, klimatyzacji oraz produkcji energii elektrycznej opiera się na całorocznej akumulacji energii cieplnej ze Słońca.

---

\* Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wroclawska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, osoba kontaktowa: jacek.kasperski@pwr.wroc.pl

## 2. KONCEPCJA DOMU ENERGOOSZCZĘDNEGO

Prezentowany system ciepły został zaprojektowany dla budynku jednorodzinnego o powierzchni mieszkalnej 100–150 m<sup>2</sup>, zbudowanego w technologii energooszczędnej, o zapotrzebowaniu na energię 40–60 kWh/m<sup>2</sup>. Uproszczony schemat układu słonecznego ogrzewania pomieszczeń z całorocznym złożem kamiennym dedykowany dla wolnostojącego domu jednorodzinnego został przedstawiony na rys. 1. Specyfika działania systemu jest następująca: koncentrator za pomocą systemu nadążnego śledzi Słońce i skupia promieniowanie bezpośrednie na absorberze, w którym jest podgrzewane powietrze. Powietrze ogrzewane przez kolektor jest kierowane do złoża akumulacyjnego, wypełnionego materiałem ceramicznym lub kamiennym, który przejmuje ciepło.



Rys. 1. Koncepcja rozważanego domu samowystarczalnego energetycznie, oprac. J. Kasperski

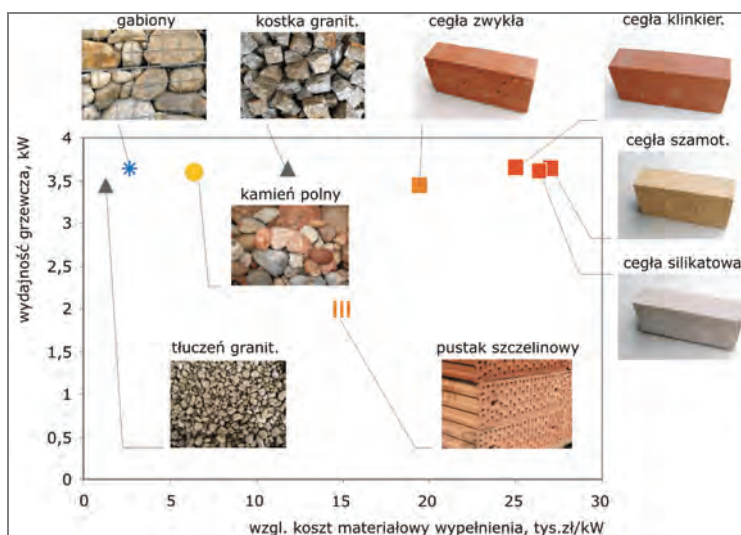
Dotychczas przeprowadzone symulacje sugerują, że koncepcyjny system ciepły będzie w stanie zaspokoić potrzeby grzewcze mieszkańców budynku, opierając się głównie lub wyłącznie na źródłach odnawialnych. Szacunkowo, przyjąć można, że w warunkach krajowych opisany system ciepły zgromadzi w okresie lata i jesieni połowę energii cieplnej potrzebnej do ogrzania budynku zimą. Ta część energii musi zostać zakumulowana w złożu i wykorzystana w czasie braku promieniowania słonecznego (noc, dni pochmurne, deszczowe). Druga połowa energii zostanie pozyskana z promieniowania słonecznego na bieżąco w okresie zimowym i wiosennym.

Zasada działania tego systemu jest stosunkowo prosta, niemniej jednak układ jest duży i ciężki, wymaga stabilnego fundamentowania złoża i jego izolacji cieplnej. Według analiz przeprowadzonych w polskim klimacie instalacja będzie wyposażona w złożo o rozmiarach od 2 × 2 × 2 m do 3 × 3 × 3 m, kolektor słoneczny o powierzchni od 8 do 20 m<sup>2</sup>. Kolektor, będzie wyposażony w system nadążnego śledzenia jednoosiowego Słońca (tzw. traker).

Zastosowanie przeszklonej obudowy kolektora słonecznego chroni go od wiatru, opadu deszczu, śniegu, rosy i pyłu, które w niewielkim tylko stopniu nie osadzają się na pionowych taflach szkła. Do uzyskania wysokich temperatur w okresie zimowym, gdy promieniowanie słoneczne jest niskie niezbędne jest zastosowanie koncentratora (zwierciadła) o profilu parabolicznym. Profil koncentratora oraz jego rozmiary poprzeczne powinny zapewnić osiągnięcie odpowiednio wysokich stopni koncentracji – od 10 do 40. Czynnikiem roboczym w układzie jest powietrze, które została wybrane z powodu powszechnej dostępności, prostoty oraz bezpieczeństwa użytkowników. Współcześnie eksploatowane są systemy ogrzewania kominkowego o temperaturach powierza dochodzących do  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$  a więc zbliżonych do rozważanych w instalacji kolektora słonecznego. Podobnie znane są i eksploatowane dwutaryfowe, akumulacyjne piece grzewcze o temperaturach złoża dochodzących nawet do  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . W przypadku rozpatrywanego systemu cieplnego założono, że górna granica temperatury uzyskiwanej przez kolektor słoneczny ma wynosić około  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Wstępne symulacje numeryczne [1] przeprowadzone dla warunków klimatycznych Wrocławia wykazały, że stosowany system powinien bez problemu działać w cyklu rocznym. Temperatura złoża, nawet w zimie, nie powinna spadać poniżej  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 2.1. DOBÓR MATERIAŁU WYPEŁNIENIA ZŁOŻA

Zastosowany materiał musi być odporny na działanie wysokich temperatur, działanie naprzemiennych cykli nagrzewania i studzenia, powinien zapewniać stabilność mechaniczną w stosach bez dodatkowych spoiw łączących warstwy złoża.



Rys. 2. Porównanie parametrów złoża dla różnych materiałów wypełnienia, oprac. J. Kasperski

Spośród wielu możliwych materiałów wypełnienia złoża akumulacyjnego rozpatrywano materiały ogólnie dostępne na terenie Dolnego Śląska cegły ceramiczne, klinkierowe, szamotowe, silikatowe, cegły szczelinowe, tłuczeń granitowy i bazaltowy, kostkę granitową, otoczaki. Poszczególne materiały znacznie różnią się gęstością, ciepłem właściwym i ceną jednostkową. Przeprowadzone analizy [2] wykazały, że najwyższe wydajności grzewcze z jednostki objętości złoża osiągnąć mogą być dla wypełnienia ceglano-ceglanego, zwłaszcza cegły klinkierowej, szamotowej i silikatowej oraz dla wypełnienia kamiennego. Porównanie kosztów jednostkowych pokazało (rys. 2), że złożo o tej samej wydajności grzewczej wykonane z cegieł jest jednak ok. 10-krotnie droższe niż kamiennie. Złożo ceglano-ceglano jest proste w wykonaniu i stabilnie konstrukcyjnie, jednak w przypadku wypełnienia kamiennego założono zastosowanie koszy gabionowych, które pozwolą utrzymać wieloletnią stateczność konstrukcyjną złoża. Granit posiada dobre właściwości akumulacyjne, jest tani i łatwo dostępny na Dolnym Śląsku.

Złożo o temperaturze roboczej dochodzącej do 400 °C wymaga dobrej izolacji termicznej, wykonanej z materiału odpornego na działanie takich temperatur roboczych (wełna mineralna, szklana, spienione materiały ceramiczne lub szkło). Oszacowano, że niezbędna grubość izolacji wynosi około 100 cm, co pozwoli na przechowanie zakumulowanej energii ciepłej przez kilka miesięcy.

## 2.2. DOBÓR KOLEKTORA SŁONECZNEGO

Płaskie kolektory słoneczne, stosowane do nagrzewania powietrza nie osiągają zwykle temperatur wyższych niż 100 °C, dlatego do opisanego systemu ciepłego dobrany został kolektor słoneczny z linowym zwierciadłem skupiającym o profilu parabolicznym, przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Prototypowy kolektor słoneczny o budowie wewnętrznej dostosowanej do nagrzewania powietrza, oprac. J. Kasperski

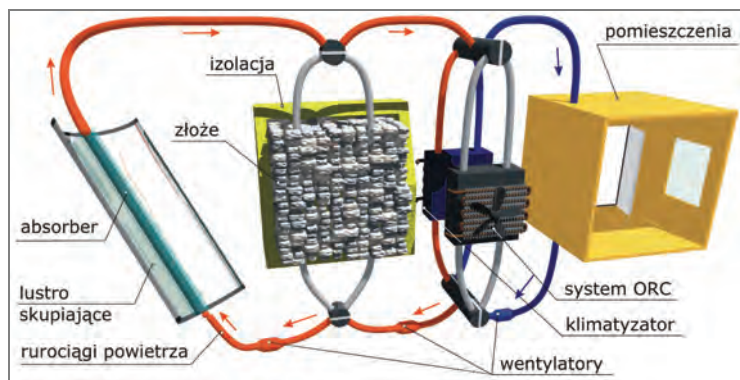
Kolektor taki stosowany jest w elektrowniach słonecznych, nagrzewając przepływający w nim olej termalny lub ciekły sód. W zastosowaniu do opisywanej instalacji absorber

musiał zostać wyposażony w powierzchnie ożebrowane konieczne do podniesienia jakości wymiany ciepła podczas nagrzewania przepływającego przez niego powietrza.

Wykorzystanie kolektorów skupiających wymaga kierowania zwierciadła w stronę bieżącego położenia Słońca. Wymaga to stosowania elektromechanicznych mechanizmów obracających kolektor w dwóch płaszczyznach, najczęściej poziomej i pionowej. W przypadku kolektorów skupiających liniowo, jedynie stopień swobody można pominąć, co znacznie upraszcza budowę tych mechanizmów oraz koniecznych połączeń rurowych, które nie muszą być elastyczne i podążać za ruchem kolektora.

### 3. WARIANTY PRACY SYSTEMU

Koncepcyjny system ciepły umożliwia realizację wielu wariantów pracy. Wybór odpowiedniej opcji zależy od ilości promieniowania słonecznego, stanu naładowania (temperatury) złoża akumulacyjnego oraz zapotrzebowania budynku na energię ciepłą i elektryczną [3].



Rys. 4. Schemat blokowy wyposażenia systemu energetycznego budynku, oprac. J. Kasperski

W zależności od tych parametrów oraz wyposażenia systemu w dodatkowe urządzenia (generator ORC, klimatyzator z napędem cieplnym, pokazane na rys. 4) możliwe są następujące stany pracy systemu:

- a) bezpośrednie ładowanie akumulatora energią ciepłą uzyskiwaną z kolektora słonecznego.

Gęstość promieniowania słonecznego musi w tym przypadku pozwolić na otrzymanie w kolektorze temperatury powietrza wyższej niż temperatura panująca w złożu akumulacyjnym. Dzieje się tak przede wszystkim w ciągu dnia w okresie od wiosny do jesieni.

- b) ogrzewanie pomieszczeń mieszkalnych z ciepłem pochodzącym z rozładowywania złoża akumulacyjnego.

Ilość ciepła w złożu maleje podczas procesu jego rozładowywania, zatem uzyskuje się coraz niższą temperaturę powietrza. Zjawisko to występuje głównie w nocy i podczas pochmurnych dni w okresie od jesieni do wiosny.

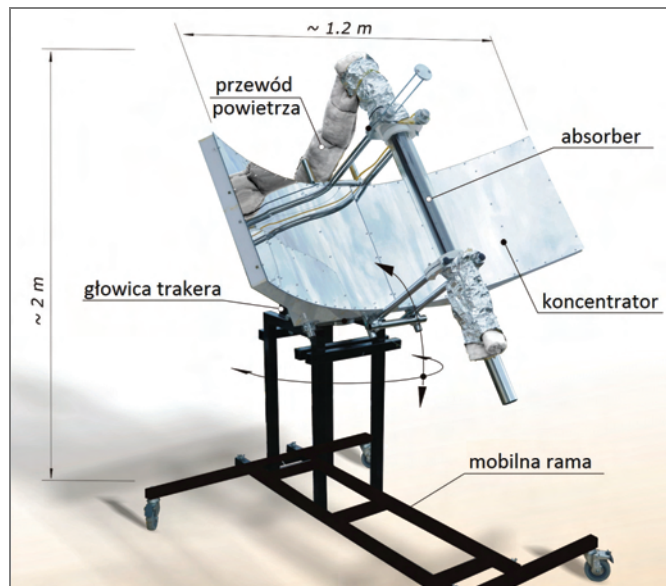
- c) bezpośrednio ogrzewanie powierzchni mieszkaniowej z energii cieplnej pochodzącej z kolektora słonecznego.  
Taka sytuacja występuje wówczas, gdy gęstość promieniowania słonecznego jest niska, a temperatura generowana przez kolektor jest niższa niż temperatura złoża akumulacyjnego, ale nadal na tyle wysoka, aby umożliwić ogrzewanie pomieszczeń. Dzieje się tak przede wszystkim w ciągu dnia, jesienią i zimą.
- d) klimatyzowanie pomieszczeń w okresach nadmiernych temperatur otoczenia. Klimatyzator jest zasilany bezpośrednio przez ciepło uzyskiwanego z kolektora słonecznego. Dzieje się tak przede wszystkim w ciągu dnia od wiosny do jesieni.
- e) wytwarzanie energii elektrycznej przez zastosowanie urządzenia realizującego *Organic Rankine Cycle* (ORC) bezpośrednio zasilanego przez energię cieplną pochodzącą z kolektora słonecznego.  
Dzieje się tak w ciągu dnia w okresie od jesieni do wiosny.
- f) wytwarzanie energii elektrycznej za pomocą ORC zasilanego w ciepło pochodzące ze złoża akumulacyjnego.  
Zjawisko to występuje głównie w nocy i podczas pochmurny dzień w okresie od jesieni do wiosny.
- g) wytwarzanie energii elektrycznej przez urządzenie realizującego obieg ORC bezpośrednio zasilane energią cieplną z kolektora słonecznego. Jeśli w danym momencie przestrzeń mieszkalna nie wymaga ogrzewania, to ciepło skraplania z ORC usuwane jest do środowiska.  
Dzieje się tak przede wszystkim w ciągu dnia od wiosny do jesieni.

#### 4. WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA

Innowacyjny system cieplny wymaga weryfikacji eksperymentalnej na obiekcie rzeczywistym, zbudowanym w mniejszej skali osiąganey mocy cieplnej. W tym celu zbudowane zostały dotychczas dwa stanowiska badawcze, a prace nad trzecim dobiegają końca. Pierwsze z nich stanowi słoneczna nagrzewnica powietrza, drugie – układ współpracy skupiającego kolektora słonecznego ze złożem akumulacyjnym, natomiast trzecie – złożo akumulacyjne.

##### 4.1. SZCZELINOWA NAGRZEWNICA POWIETRZA

Jako pierwsze, autorzy artykułu zaprojektowali i zbudowali stanowisko eksperymentalne (rys. 4) służące do badania możliwości wykorzystania słonecznego kolektora skupiającego, jako nagrzewnicy powietrza w warunkach klimatycznych Wrocławia.



Rys. 5. Słoneczna nagrzewnica powietrza, oprac. J. Kasperski

Absorber kolektora słonecznego został wykonany z wałka aluminiowego o długości 0,5 m, pokrytego czarną farbą odporną na działanie wysokich temperatur. Dodatkowo został on poprzez frezowanie wewnątrz ożebrowany w celu zwiększenia strumienia ciepła przekazywanego do powietrza. Absorber jest otoczony szklaną osłoną, wewnątrz której panuje próżnia, co w znacznym stopniu pozwoliło wyeliminować straty ciepła. W trakcie badań doświadczalnych, układ działał w systemie otwartym. Powietrze zasysane z otoczenia było podgrzewane w absorberze, na którym skupiana była wiązka promieniowania bezpośredniego. Strumień objętości powietrza nadmuchiwane przez wentylator wynosił  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ . Układ optyczny jest posadowiono na głowicy, która pozwalała zmieniać jego położenie względem Słońca w dwóch osiach swobody, co jest niezbędne ze względu na specyfikę działania kolektorów skupiających. Na stanowisku przeprowadzono szereg badań mających na celu wyznaczenie charakterystyki kolektora oraz obserwację charakterystyk dziennych pracy układu i uzyskiwanych parametrów. Otrzymane temperatury powietrza zachęciły autorów koncepcji do dalszych prac eksperymentalnych uwzględniających proces akumulacji energii cieplnej. Przeprowadzone badania oraz analizy numeryczne potwierdziły poprawność przyjętej koncepcji budowy szczelinowej nagrzewnicy powietrza [5].

#### 4.2. DŁUGOTERMINOWA AKUMULACJA ENERGII CIEPLNEJ ZE SŁOŃCA

Drugie stanowisko badawcze (rys. 6a) składa się z koncentratora słonecznego o aperturze  $1,65 \text{ m}^2$  połączonego ze złożem akumulacyjnym wypełnionym tłuczniem



granitowym ( $0,15 \text{ m}^3$ ) i zaizolowanym wełną mineralną. Kolektor jest zamocowany na trakerze umożliwiającym wykonywanie obrotu w dwóch osiach (poziomej i pionowej). Traker jest wyposażony w system automatycznego naprowadzania na najjaśniejszy punkt na niebie w ciągu dnia, natomiast w nocy kolektor przyjmuje pozycję uśpioną w kierunku wschodnim.



Rys. 6. a) Stanowisko do badania współpracy kolektora słonecznego ze złożem akumulacyjnym.

b) Złoże z wypełnieniem z tłucznia granitowego jak złoże akumulacyjne, w górnej części widoczna jest ponacinana rura wylotowa powietrza oraz poprzeczne do niej rurki osłonowe czujników temperatury złoża, oprac. J. Kasperski

Pierwotnym zastosowaniem opisanego kolektora, zakupionego u polskiego producenta, było przygotowywanie cwu. Z tego powodu w oryginalnej wersji zastosowano w nim jednowarstwowy absorber o średnicy 50 mm. Na początku badań z nagrzewaniem powietrza, absorber ten popękał i implodował z powodu osiągnięcia wysokich temperatur oraz nadmiernych naprężeń cieplnych. W jego miejsce zbudowano i wstawiono przebadany wcześniej absorber szczelinowy przedstawiony na rys. 3.

W celu wymuszenia krążenia powietrza w układzie zaprojektowano i wykonano wentylator odporny na wysokie temperatury. Powietrze pobierane z górnej części złoża kamiennego kierowane jest poprzez wentylator do absorbera. Gorące powietrze wpływające z absorbera płynie do dolnej części złoża kamiennego (rys. 6b).

Wentylator, złoże kamienne i kolektor słoneczny połączono systemem kanałów wentylacyjnych. Aby zapobiec konwekcyjnemu ruchowi gorącego powietrza z górnej części złoża do kolektora zamontowano zawór elektromechaniczny. Zawór ten otwiera

się wraz z włączeniem wentylatora i zamyka wraz z jego wyłączeniem. Z powodu koniecznych ruchów trakeru zastosowano elastyczne kanały powietrza, każdy 1,5 m długości, pomiędzy absorberem, wentylatorem oraz zaworem. Na koniec budowy, każdą z części systemu zaizolowano cieplnie.

Obecnie na stanowisku, które znajduje się na terenie Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy, odbywają się badania w długich cyklach czasowych.

#### 4.3. BADANIE PROCESU AKUMULACJI W ZŁOŻU

W ostatnim czasie autorzy koncepcji rozpoczęli prace nad trzecim stanowiskiem eksperymentalnym. Będzie ono służyć do badania procesu akumulacji energii cieplnej w złożu w warunkach laboratoryjnych. Układ o wielkości  $1,0 \times 0,6 \times 0,6$  m składa się z dwóch metalowych sześciątów, z których większy stanowi obudowę zewnętrzną. W wewnętrznym umieszczony jest materiał wypełnienia. Przestrzeń między sześciątami wypełniona jest wełną mineralną. Stanowisko zostało zaprojektowane tak, aby w prosty sposób można było zmieniać materiał wypełnienia. Po ukończeniu budowy stanowiska planowane są następujące badania:

- wpływ rodzaju wypełnienia, gęstości upakowania i wielkości frakcji na efektywność procesu akumulacji,
- pomiary spadku ciśnienia w złożu,
- wpływ strumienia przepływu i temperatury wpływającego powietrza na szybkość akumulacji.

### 5. PODSUMOWANIE

Koncepcja samowystarczalnego energetycznie domu jednorodzinnego, dostosowanego do warunków klimatycznych Dolnego Śląska, na obecnym etapie jej rozwoju wymaga już tylko badań eksperymentalnych. Badania te prowadzone są aktualnie na trzech stanowiskach badawczych. Na pierwszym i najstarszym z nich prowadzone są badania sprawności skupiającego kolektora słonecznego o prototypowej konstrukcji z wewnętrznym ożebrowaniem. Stanowisko to nie posiada systemu automatycznego pozycjonowania względem położenia Słońca i jest obsługiwane ręcznie. Drugie ze stanowisk, w pełni zautomatyzowane, służy do długookresowych, wielodniowych badań eksploatacyjnych systemu grzewczego wraz z niewielką akumulacją pobranego ciepła. Trzecie ze stanowisk pozwalać będzie na wyznaczanie parametrów złoża akumulacyjnego w zależności od rodzaju użytego materiału wypełnienia oraz jego sposobu ułożenia. Całość wyników z badań doświadczalnych pozwoli na osiągnięcie optymalnych parametrów pracy systemu cieplnego składającego się z liniowo skupiającego kolektora słonecznego nagrzewającego powietrze i współpracującego ze złożem akumulacyjnym z wypełnieniem ceramicznym lub kamiennym.

## LITERATURA

- [1] KASPERSKI J., NEMŚ M., *System ogrzewczy domu jednorodzinnego wykorzystujący energię słoneczną akumulowaną w złożu ceramicznym w cyklu całorocznym : model matematyczny i wyniki wstępne*, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 2008, nr 5, 23–27.
- [2] KASPERSKI J., NEMŚ M., *Wybrane parametry pracy suchego złoża akumulacyjnego w systemie grzewczym budynku na obszarze Dolnego Śląska*, Termodynamika w nauce i gospodarce. T. 1, praca pod. red. Zbigniewa Gnutka i Władysława Gajewskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008, 508–515.
- [3] NEMŚ M., KOLASIŃSKI P., KASPERSKI J., *A solar high-temperature heat accumulation system with an ORC generator*, ISES Solar World Congress [Dokument elektroniczny]: Kassel, 28.08–2.09.2011, International Solar Energy Society.
- [4] NEMŚ M., KASPERSKI J., BAC A., *Panorama wariantów instalacji wysokotemperaturowego, słonecznego ogrzewania budynku*, Instal (Warszawa), 2011, nr 10, 31–35.
- [5] KASPERSKI J., NEMŚ M., *Investigation of thermo-hydraulic performance of concentrated solar air-heater with internal multiple-fin array*, Applied Thermal Engineering, Vol. 58, No. 1/2, 2013, 411–419.

IDEA OF LOW-ENERGY HOUSE WITH WHOLE-YEAR HEAT STORAGE  
– EXPERIMENTAL SET-UPS

Paper presents the concept of self-sufficient low-energy house according to the climatic conditions of Lower Silesia. Energy system of the building bases on the cooperation of concentrated solar air collector with storage stack filled with ceramic or stone. Two experimental set-ups used by authors were described in detail. Third described set-up is built.

## ROZDZIAŁ XXXV

# WYKORZYSTANIE CIEPŁA PRZEMIAN FAZOWYCH W POMPACH CIEPŁA

Stefan RESZEWSKI\*

W artykule przedstawiono możliwości eksploatacji pary wodnej zawartej w powietrzu atmosferycznym jako dolnego źródła ciepła dla pomp ciepła. Przedstawiono rezultaty badań prototypów oraz egzemplarzy produkcyjnych pomp ciepła eksploatujących ciepło skraplania oraz resublimacji pary wodnej zawartej w powietrzu atmosferycznym. Zamieszczono również dane dotyczące eksploatacji pompy ciepła opartej na pomysłe autora w domu jednorodzinym.

Słowa kluczowe: *ciepło resublimacji, pompa ciepła, badania eksploatacyjne*

### 1. PRZEMIANA RESUBLIMACJI WILGOCI I JEJ WYKORZYSTANIE JAKO DOLNE ŹRÓDŁO CIEPŁA

W ciągu kilkunastu lat śledzenia rozwoju konstrukcji systemów pomp ciepła stwierdzono, że w znakomitej większości dostępne pompy ciepła eksploatują trzy tradycyjne źródła ciepła powietrze, wodę i grunt. Powstała nawet norma PN EN 14511 [4] klasyfikująca pompy ciepła pod względem eksploatowanego źródła oraz określająca wymogi dotyczące współczynnika efektywności, która znalazła swoje odzwierciedlenie w prawodawstwie UE 2009/28/WE [5].

Faktem jest, że wszystkie sklasyfikowane rozwiązania opisane w tej normie odnoszą się do przypadków pozyskiwania ciepła z dolnego źródła ciepła za pomocą konwekcji wymuszonej poprzez przemiany chłodzenia powietrza lub cieczy z wykorzystaniem systemów pośrednich lub bezpośrednich. Kierunek ten zakłada pozyskiwanie ciepła przy bardzo niewielkiej gęstości strumienia ciepła, co prowadzi do rozbudowania powierzchni wymiany ciepła wymienników, co z kolei przekłada się bezpośrednio na koszt inwestycyjny pompy ciepła.

---

\* Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska.

Jeżeli weźmie się pod uwagę, że średnia gęstość strumienia ciepła wymiennika gruntowego poziomego nie powinna przekraczać  $20 \text{ W/m}^2$  to przy ilości ciepła koniecznej do pobrania  $10 \text{ kW}$  oznacza to minimum  $500 \text{ m}^2$  powierzchni koniecznej do zabudowy takiego wymiennika. Śledząc z kolei rozwiązania eksploatujące przemianę chłodzenia powietrza atmosferycznego lub wody dochodzi się do wniosku, że aby pozyskać taki strumień ciepła konieczne jest przetłoczenie przez parowacz znaczących objętości wymienionych mediów. Bez wykorzystania konwekcji wymuszonej prowadziłyby to do absurdalnych powierzchni wymiany ciepła parowaczy.

Przyczyną tego faktu jest pozyskiwanie ciepła jawnego, co wprost powiązane jest z wartościami ciepła właściwego mediów wykorzystywanych jako dolne źródło ciepła. Aby uzmysłowić potencjał energetyczny jakim dysponuje opisywane źródło ciepła jakim jest wilgoć zawarta w powietrzu atmosferycznym w tabeli 1 zaprezentowano wartości charakterystyczne.

W literaturze traktującej o tematyce pomp ciepła nie spotkano przypadków opisujących rezultaty badań przedstawiających możliwości eksploatacji ciepła utajonego przemian fazowych. Gwarantują one zdecydowanie większe gęstości pozyskiwanego strumienia ciepła, stąd zainteresowanie autora tym zagadnieniem.

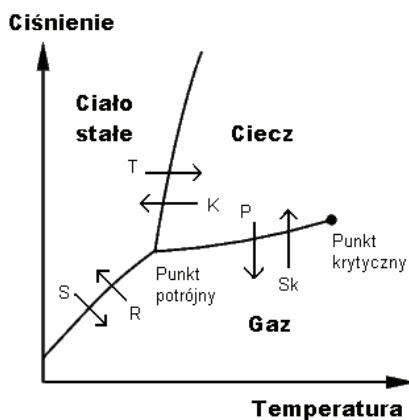
Tabela 1. Wartości charakterystyczne ciepła przemian fazowych oraz ciepła właściwego powietrza i wody, oprac. własne

Ciepło właściwe powietrza	1,05 kJ/kgK
Ciepło właściwe wody	4,19 kJ/kgK
Ciepło zamarzania wody	333 kJ/kg
Ciepło przemiany parowania i skraplania wody	2500 kJ/kg
Ciepło utajone przemiany fazowej resublimacji oraz sublimacji dla wody	2833 kJ/kg

Kierunek poszukiwań został ograniczony do możliwości pozyskiwania ciepła ze źródła odnawialnego, powszechnie dostępnego, jakim jest powietrze. W klasycznych pompach ciepła klasy powietrze–woda zjawisko resublimacji jest niepożądane ze względu na oblodzenie parowników, co z kolei generuje dodatkowy nakład energetyczny na usuwanie lodu przy pomocy zewnętrznej energii. Prace badawcze zostały ukierunkowane na wykorzystanie zjawiska powstawania szronu zamiast usuwania go z powierzchni wymiany ciepła. Zjawisko to jest nieuniknione w przypadku, gdy temperatura powierzchni wymiennika jest niższa od temperatury punktu rosy powietrza atmosferycznego i gdy temperatura ta jest niższa niż temperatura krzepnięcia wody.

Mając na uwadze problemy techniczne oraz niekoherentność występujące w klasycznych pompach ciepła klasy powietrze-woda, skupiono się na możliwości pozyskania ciepła przy wykorzystaniu przemian fazowych wilgoci zawartej w powietrzu atmosferycznym. Z podstawowych praw fizyki wiadomo, że energia przemian fazo-

wych parowania (P), skraplania (Sk) oraz sublimacji (S) i resublimacji (R) wielokrotnie przewyższa przemiany zachodzące podczas konwekcji naturalnej lub wymuszonej. Dzięki temu możliwe jest uzyskiwanie znacznie większych gęstości strumienia ciepła i możliwe jest ograniczenie powierzchni wymiany ciepła. Ze względu na fakt, że pompa ciepła ma za zadanie zapewnić efekt grzewczy w okresie niskich temperatur otoczenia skupiono się na wykorzystaniu przemian skraplania oraz resublimacji pary wodnej zawartej w powietrzu. Procesy resublimacji i sublimacji są zjawiskami, podczas których występuje najbardziej intensywna wymiana ciepła, jaką można zaobserwować w przyrodzie. Resublimacja polega na bezpośrednim przejściu substancji z gazowego stanu skupienia w stały. Zjawisko to występuje, gdy temperatura punktu rosy dla wody zawartej w powietrzu przypada poniżej punktu zamarzania, czyli poniżej  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jeśli przy temperaturze poniżej  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  nasycone parą wodną powietrze styka się z przedmiotami, których powierzchnia ma niższą temperaturę para wodna przechodzi bezpośrednio ze stanu gazowego w stały stan skupienia tworząc drobne kryształki lodu (rys. 1).



Rys. 1. Przemiany termodynamiczne wody między różnymi stanami skupienia, oprac. własne

#### 1.1. ANALIZA TEORETYCZNA MOŻLIWOŚCI EKSPLOATACJI PRZEMIANY RESUBLIMACJI

Poniżej przedstawiono porównanie możliwości pozyskania ciepła przy wykorzystaniu klasycznej pompy ciepła powietrze-woda oraz eksploatującej ciepło resublimacji. Do porównania wykorzystano założenia określone normą PN EN 14511 opisane w tabelach 2 i 3. Sformułowane w niej graniczne wartości współczynników efektywności COP, powyżej których można zaliczyć pompę ciepła odpowiedniej klasy, jako źródło energii odnawialnej [2].

Tabela 2. Standardowe warunki eksploatacji dotyczące współczynników efektywności pomp ciepła powietrze-woda, oprac. własne na podstawie [4]

		Parownik		Skraplacz	
		Temperatura powietrza napływającego mierzona termometrem suchym; °C	Temperatura powietrza napływającego mierzona termometrem mokrym; °C	Temperatura wody na wlocie; °C	Temperatura wody na wylocie; °C
Standardowe warunki porównawcze wg PN-EN 14511-2 (obowiązujące przed 2011)	Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne. Górne źródło ciepła – woda lub solanka w instalacji ogrzewania podłogowego	7	6	30	35
Standardowe warunki porównawcze wg norm: PN-EN 14511-2 (obowiązujące od 2011 roku)	Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne. Górne źródło ciepła – woda lub solanka w instalacji ogrzewania podłogowego	2	1	30	35

Tabela 3. Wymagania dotyczące minimalnych współczynników efektywności wg PN-EN 14511 [4]

Rodzaje pomp ciepła	Graniczny współczynnik efektywności do roku 2011	Graniczny współczynnik efektywności od roku 2011	Wymagany wzrost współczynnika efektywności
Powietrze–woda; dolne źródło ciepła – powietrze Górne źródło ciepła – inst. c.o.	3,0	3,10	+3,33%
Solanka–woda Dolne źródło ciepła – solanka odbierająca ciepło za pomocą wymiennika gruntowego Górne źródło ciepła – inst. c.o.	4,0	4,30	+7,50%
Woda–woda Dolne źródło ciepła – woda Górne źródło ciepła – inst. c.o.	4,50	5,10	+13,33%

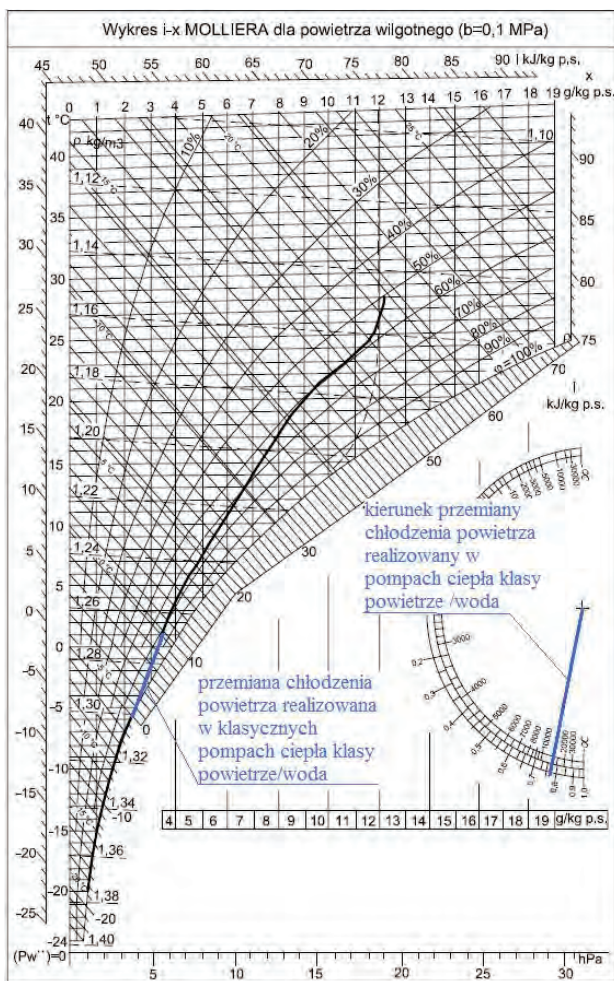
Z założeń projektowych pomp ciepła klasy powietrze–woda wynika, że powietrze opływające żebra parowacza pompy ciepła jest schładzane o 7 K. Minimalna różnica temperatur pomiędzy temperaturą ścianki wymiennika a temperatura powietrza opuszczającego parowacz wynosi 3 K. Z powyższego wynika, że temperaturą odparowania czynnika chłodniczego nie może być wyższa niż  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Założono, że  $\dot{m}_p$  wynosi 1 kg/s. Różnica entalpii  $\Delta i$  przemiany wynosi 9,5 kJ/kg.

$$\dot{Q} = \dot{m}_p \cdot \Delta i = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 9,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 9,5 \text{ kW}, \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{m}_p$  – strumień masowy powietrz opływającego parowacz, kg/s,

$\Delta i$  – różnica entalpii przemiany chłodzenia powietrza, kJ/kg.



Rys. 2. Odzworowanie przemiany chłodzenia powietrza w klasycznej pompie ciepła powietrze–woda, oprac. własne

Dla pompy ciepła pozyskującej ciepło resublimacji założono, że podobny strumień powietrza opływa powierzchnię zewnętrzną parowacza 1 kg/s. Dla obu przypadków



założono, że pompy ciepła pracują w okolicach Wrocławia, dzięki czemu możliwe było wykorzystanie krzywej klimatycznej miasta. W warunkach określonych normą zawartość wilgoci w powietrzu wynosi 3,7 g/kg.

$$\dot{Q} = \dot{m}_w \cdot (r + c_t) = 0,0037 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2883 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 10,66 \text{ kW} , \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{m}_w$  – strumień masowy powietrza opływającego parowacz, kg/s,

$r$  – ciepło parowania wody, kJ/kg,

$c_t$  – ciepło topnienia lodu, kJ/kg.

Już na podstawie porównania rezultatów z zależności (1) i (2) można zauważyć, że:

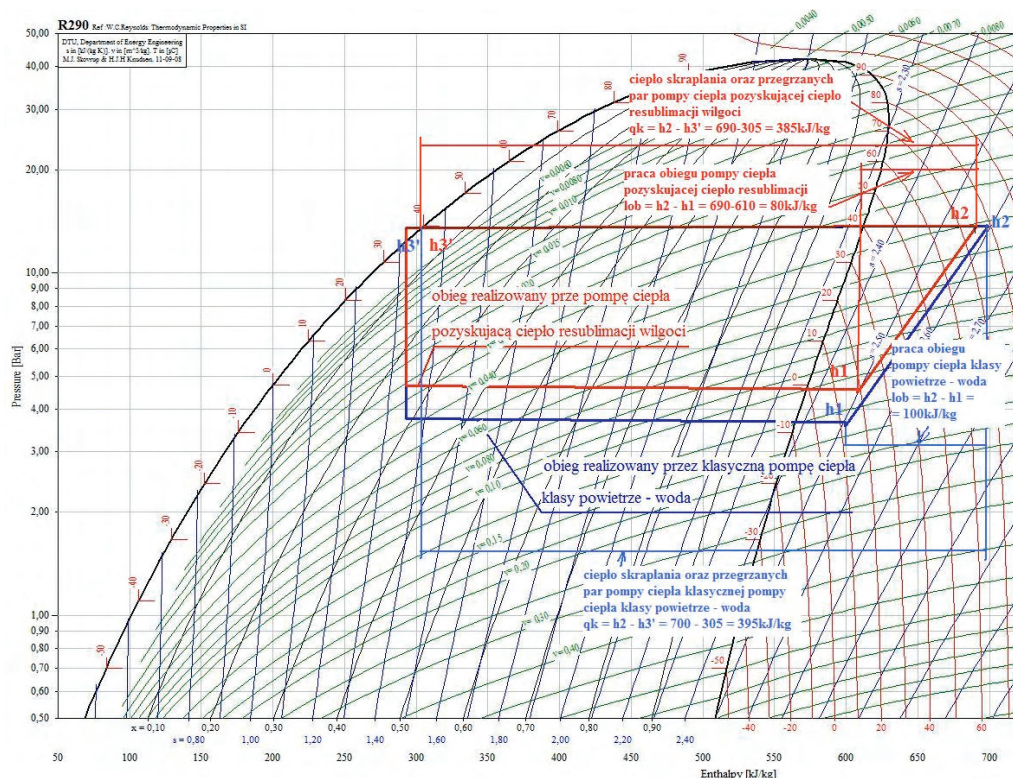
- 1) Strumień ciepła przemiany resublimacji jest o około 12% większy.
- 2) Aby uzyskać efekt resublimacji wystarczająca jest temperatura ścianki wymiennika  $-1$  °C.
- 3) Aby uzyskać podobny efekt w przypadku przemiany chłodzenia powietrza konieczna jest temperatura ścianki wymiennika co najmniej  $-8$  °C.
- 4) Aby pozyskać strumień ciepła z przemiany chłodzenia powietrza porównywalny z procesem resublimacji konieczne jest zaangażowanie wentylatora o wydatku około 2850 m<sup>3</sup>/h.
- 5) Spodziewany współczynnik efektywności pompy ciepła pozyskującej ciepło resublimacji będzie wyższy ze względu na bezsporny fakt, że temperatura odprowadzenia czynnika chłodniczego będzie wyższa o co najmniej 7 K (rys. 3).

Na wykresie lgp-h przedstawiono odwzorowanie obiegów porównywanych pomp ciepła.

Tabela 4. Analiza termodynamiczna obiegów porównywanych pomp ciepła

Podstawowe parametry obiegów	Klasyczna pompa ciepła powietrze-woda	Pompa ciepła eksploatująca ciepło resublimacji wilgoci z powietrza
Wartość jednostkowego ciepła skraplania oraz przegrzanych par	394 kJ/kg	385 kJ/kg
Wartość jednostkowej mocy koniecznej do napędu sprężarki	100 kJ/kg	80 kJ/kg
Współczynnik efektywności obiegu pompy ciepła	3,94	4,81

Z analizy termodynamicznej obiegów obu pomp ciepła, przedstawionej w tabeli 4 wynika, że współczynnik efektywności jest o 22% wyższy dla eksploatującej ciepło resublimacji, jako dolnego źródła ciepła.



Rys. 3. Odzworowanie obiegów porównywanych pomp ciepła na wykresie fazowym dla R290, oprac. własne

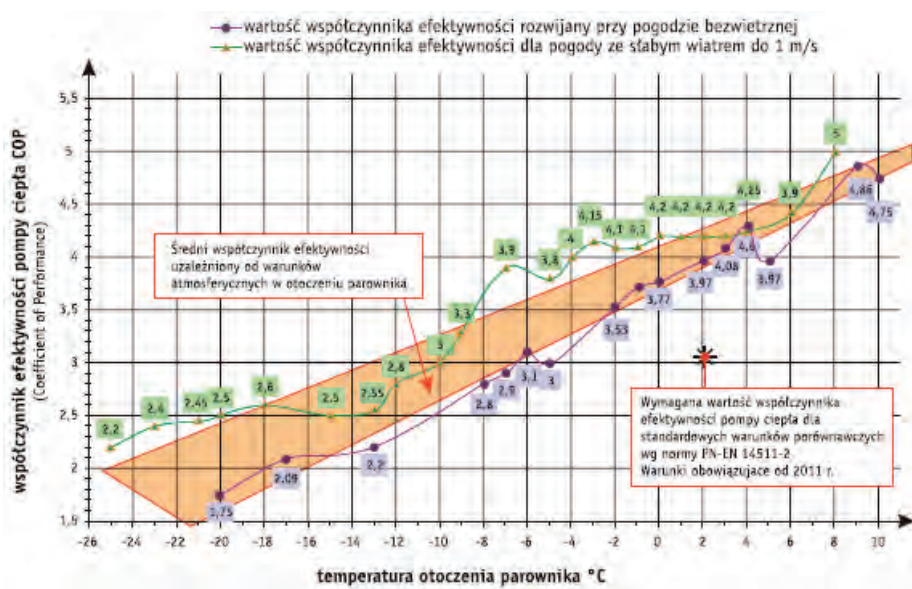
## 1.2. INNOWACYJNOŚĆ KONSTRUKCJI ORAZ BADANIA EKSPLOATACYJNE PROTOTYPU POMPY CIEPŁA

Obserwacja przemysłowych wymienników ciepła do odgazowywania skroplonych gazów technicznych, magazynowanych w dużych zbiornikach, doprowadziła do podjęcia badań nad adaptacją przemiany resublimacji jako dolnego źródła ciepła i próby wykorzystania podobnej konstrukcji jako parowacza w pompach ciepła (rys. 4). Opisywaną pompę ciepła klasyfikować można w kategorii powietrze-woda, a jej osiągi pozwalają na uznanie jej za odnawialne źródło energii w myśl dyrektywy UE 2009/28/WE, ponieważ osiąga współczynnik efektywności wyższy od wymaganego w normie PN-EN 14511 dla tej kategorii urządzeń [1, 2].

W pracach optymalizacyjnych konstrukcji zakładano uzyskanie maksymalnej wartości urządzenia w temperaturach otoczenia od  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  ze względu na najczęstsze ich występowanie. Celami pośrednimi było osiągnięcie COP powyżej 3,10 w temperaturze otoczenia  $+2 \text{ }^\circ\text{C}$  i spełnienie obowiązujących od roku 2011 wymagań,



Rys. 4. Prototyp pompy ciepła z parowaczem o konstrukcji podobnej do przemysłowych wymienników do odgazowywania skroplonych gazów, fot. S. Reszewski



Rys. 5. Rezultaty badań prototypu pompy ciepła pozyskującej ciepło resublimacji wilgoci z powietrza, oprac. własne

jak również zapewnienie uzyskanie wartości współczynnika efektywności COP powyżej 1,5 w warunkach zimowych dla temperatury otoczenia  $-20^{\circ}\text{C}$ . Przekazanie ciepła przez skraplacz podczas badań wynikało z wymagań PN-EN 14511, tempe-

ratura wody opuszczającej ten wymiennik wynosiła  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Proponowana prototypowa konstrukcja, w opisanych warunkach, osiąga współczynnik efektywności znacznie wyższy od wymaganego – przedział od 3,97 do 4,2. Można mówić o zakresie współczynnika efektywności, a nie o stałej wartości, ponieważ z obserwacji prowadzonych w horyzoncie czasowym 5 lat zauważono, że na ten proces mają wpływ następujące parametry: prędkość powietrza opływającego powierzchnię zewnętrzną parowacza, zawartość wilgoci w powietrzu, różnica temperatur między temperaturą ścianki wymiennika i powietrza atmosferycznego oraz ciśnienie atmosferyczne. Ze względu na fakt, że w literaturze nie napotkano na zależności opisujące proces wnikania ciepła od strony resublimującej wody dalsze prace naukowo-badawcze i analityczne autora zakładają przygotowanie zależności opisujących w sposób matematyczny to zjawisko. Przedstawiona na rys. 5 zależność współczynnika efektywności w uzależnieniu od temperatury otoczenia jest rezultatem czterech lat eksperymentów prototypu [1].

Proces odbioru ciepła resublimacji jest realizowany w sposób bezpośredni w rozumieniu normy PN EN 378, nie stosowano również żadnych urządzeń intensyfikujących ruch powietrza wokół parowacza.

### 1.3. BADANIA EGZEMPLARZY PRODUKCYJNYCH

W czasie trwających 5 lat eksperymentów, aby doprowadzić proces optymalizacyjny do konstrukcji docelowej wielokrotnie modyfikowano konstrukcję zmieniając sprężarki, skraplacze, elementy rozprężne, średnice rurociągów, zbiorniki itd. Prace optymalizacyjne doprowadziły do określenia optymalnego napełnienia zgodnego z normą PN EN 378, kształtu parowników oraz żeber. Model matematyczny parownika do eksploatacji ciepła resublimacji stanowi część pracy naukowej autora.

Dalsze badania przeniesiono na egzemplarze produkcyjne i wykonano je z wykorzystaniem dwóch różnych metod pomiarowych z udziałem egzemplarzy produkcyjnych. Jeden z nich zainstalowano w obiekcie, na którym testowano prototyp i eksperymenty prowadzono metodą porównawczą z prototypem. Uzyskano współczynniki efektywności wyższe niż w przypadku prototypu. Drugi z egzemplarzy produkcyjnych wyposażono w instalację monitoringu i badania trwały przez część sezonu grzewczego 2010/2011 oraz przez cały sezon 2011/2012 [3].

System monitoringu, przedstawiony na rys. 6, obejmuje 9 punktów temperaturowych charakterystycznych dla obiegu ziębienia, ciśnienia parowania i skraplania oraz aktualne zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarki. Czujniki temperatury zostały skalibrowane przy użyciu techniki termowizyjnej w celu uniknięcia błędów pomiarowych. Dysponując narzędziami do monitorowania parametrów atmosferycznych oraz instalacji pompy ciepła spodziewany efekt to stworzenia modelu matematycznego do projektowania wymienników z przeznaczeniem dla pomp ciepła pozyskujących ciepło resublimacji.

Dla warunków pracy zbliżonych do wymaganych w normie PN EN 14511 oraz masowego strumienia wody ogrzewanej przez skraplacz  $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$  i mocy konsumowanej przez sprężarkę  $3,9 \text{ kW}$  pompy ciepła uzyskano –  $\text{COP}_{(pc)} = 4,3$ .

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot (T_{w\text{wylot}} - T_{w\text{wlot}}) = 0,5 \cdot 4,19 \cdot (308,45 - 300,45) = 16,8 \text{ kW} , \quad (3)$$

$$\text{COP}_{(pc)} = \frac{\dot{Q}}{P_{el}} = \frac{16,8}{3,9} = 4,3 , \quad (4)$$

gdzie:

$\dot{m}_w$  – strumień masowy wody przepływającej przez skraplacz, kg/s,

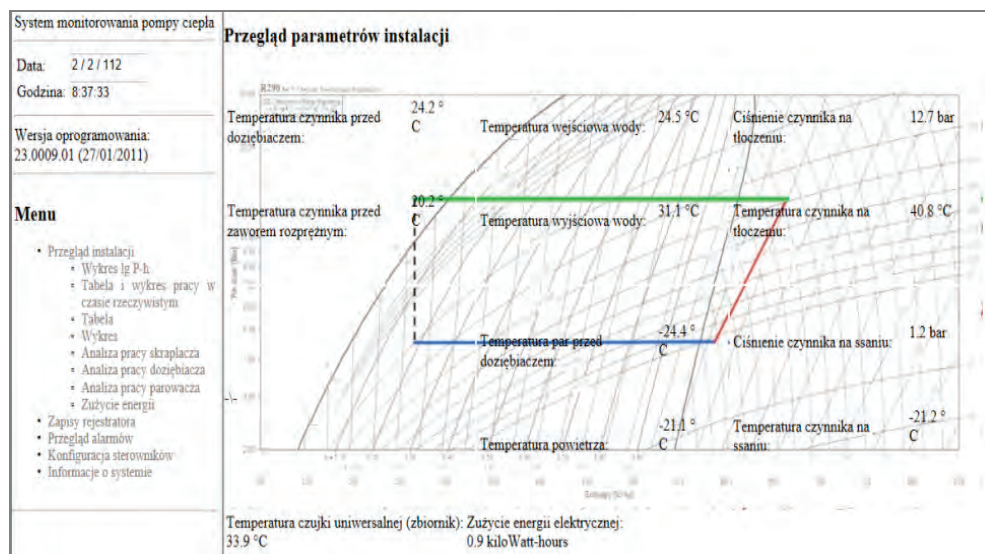
$c_{pw}$  – ciepło właściwe wody, kJ/kgK,

$T_{w\text{wylot}}$  – temperatura wody na wylocie ze skraplacza, K,

$T_{w\text{wlot}}$  – temperatura wody na wlocie ze skraplacza, K.

Badania przeprowadzono również w warunkach zimowych, co przedstawiono poniżej. Przy temperaturze powietrza zewnętrznego  $-21,1^\circ \text{C}$  uzyskano współczynnik efektywności –  $\text{COP}_{(pc)} = 3,3$ .

Opisana pompa ciepła przeznaczona jest do współpracy ze wszystkimi znanymi niskotemperaturowymi instalacjami grzewczymi o temperaturach medium na zasilaniu od  $28^\circ \text{C}$  do  $48^\circ \text{C}$ . Możliwe jest również uzyskanie efektu ogrzewania CWU do określonej w przepisach temperatury  $55^\circ \text{C}$  w przypadku wykorzystania pompy dwufunkcyjnej.



Rys. 6. Praca pompy ciepła w warunkach zimowych przy temperaturze powietrza zewnętrznego poniżej  $-20^\circ \text{C}$ , oprac. własne

## 1.4. DANE EKSPLOATACYJNE W OBIEKCIE MIESZKALNYM

W roku 2011 zainstalowano dwufunkcyjną pompę ciepła EKO-HEAT 16/81 w domu jednorodzinnym o powierzchni 200 m<sup>2</sup> z dobowym zapotrzebowaniem na CWU 400 dm<sup>3</sup>/doba. Pompa ciepła współpracowała z centralą wentylacyjno-klimatyzacyjną oraz zasobnikiem CWU o objętości 400 dm<sup>3</sup>. Nagrzewnica centrali była zasilana wodą o temperaturze +44 °C, a powracająca woda do podgrzania wpływała na skraplacz o temperaturze +34 °C.

Obiekt wyposażony w instalację z pompą ciepła pozyskującą ciepło resublimacji znajduje się w II strefie klimatycznej w Kątach Wrocławskich. Badania dotyczące konsumpcji energii koniecznej do ogrzania obiektu przeprowadzono w czasie 88 dni obejmujących okres grzewczy, w którym możliwe było wykorzystanie taryfy G12. Poniżej w tabeli zaprezentowano dane dotyczące zużycia energii oraz koszt eksploatacji.

Odczyty liczników energii elektrycznej dla I i II taryfy obejmują również normalną eksploatację domu, czyli zużycie energii na napęd odbiorników AGD i RTV. Zużycie energii w ciągu doby na ich napęd wyniosło średnio 7 kWh.

Zużycie energii elektrycznej do napędu pompy ciepła w trybie pracy CWU wyniosło średnio dziennie 7 kWh na produkcję 400 litrów ciepłej wody użytkowej o temperaturze 55 °C. Energia ta jest konsumowana przez pompę ciepła jedynie w okresie występowania taryfy nocnej. Koszt produkcji CWU w ciągu 88 dni wyniósł 88 dni × 7 kWh/dobę × 0,2459 zł/kWh (Taryfa G12) × 1,23 (podatek Vat) = 186,31zł

Tabela 5. Analiza kosztów eksploatacji obiektu wyposażonego w pompę ciepła EKO-HEAT 16/81

Całkowite zużycie energii dla budynku (odczyt z licznika en. elektrycznej)			Zużycie energii na napęd pompy ciepła EKO-HEAT 16/81 na potrzeby CO				Liczba dni między odczy- tami licznika	Ilość zużytej energii elektrycz- nej. Suma kWh	Koszt energii netto zł	Koszt energii brutto zł
Taryfa szczytowa (dzienna)	Taryfa poza- szczytowa (nocna)	RAZEM	I taryfa	II taryfa	Razem					
22.12.11	4,00	0,00	4,00	–	–	–				
29.01.12	896,00	1356,00	2252,00	2,98	22,63	25,60	8	204,80	63,29	
04.02.12	1085,00	1642,00	2727,00	9,10	28,67	37,77	6	226,60	85,39	
25.02.12	2167,00	2555,00	4722,00	10,46	17,29	27,74	7	194,20	87,52	
19.03.12	2720,00	3295	6015,00	0,75	0,00	0,75	2	1,50	1,18	
								2455,00	1045,55	1286

Koszt brutto ogrzewania w przedstawionym okresie czasu wyniósł 1286 zł.

Razem koszt przygotowania CWU i CO wyniósł 1472 zł brutto w ciągu 88 dni (16,7 zł dziennie), co przedstawiono w tabeli 5.

## 2. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane rozwiązanie jest alternatywą w stosunku do konwencjonalnych źródeł ciepła oraz pomp ciepła klasy sklasyfikowanych w normie PN EN 14511 nie tylko ze względu na osiągany współczynnik efektywności. Badania potwierdziły skuteczność eksploatacji źródła ciepła w warunkach niskich temperatur otoczenia oraz spodziewany wysoki współczynnik efektywności. Badania naukowe znalazły swoje potwierdzenie w rzeczywistym obiekcie budowlanym.

### LITERATURA

- [1] RESZEWSKI S., KOWALSKI A., *Resublimacja jako źródło ciepła*, Hydraulika i Pneumatyka, No. 1, Wrocław 2011, 24–28.
- [2] RESZEWSKI S., *Pompa ciepła Eko – HEAT*, PROMONT, Świebodzice 2011.
- [3] RESZEWSKI S., *Resublimacja – odnawialne i nieograniczone źródło ciepła w systemach pompach ciepła*. Materiały konferencyjne: Konferencja Dolnośląski Dom Energooszczędny, 18.11.20011.
- [4] PN-EN 14511-1:2009 *Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia, cz. 1*.
- [5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.

### THE HEAT OF PHASE CHANGES AS A SOURCE OF HEAT FOR HEAT PUMPS

The paper presents the possibilities of exploiting the water vapor contained in the atmosphere as a heat source for heat pumps. The paper presents the results of research prototypes and production units of heat pumps which use heat of resublimation and heat of condensation of water vapor in the atmosphere. It also provides data on the operation of the heat pump's based on the idea of a single family home.

## ROZDZIAŁ XXXVI

# NANOPLYNY – PRZEŁOM W ENERGETYCE SŁONECZNEJ

Paweł PACYGA\*

Celem tego artykułu jest przegląd aplikacji wykorzystujących nanopłyiny w inżynierii słonecznej. Nanopłyiny stanowią płynną mieszaninę cieczy oraz cząstek stałych. Technologia ta należy do jednej z najszybciej rozwijanych obecnie dziedzin nauki na świecie. W obliczu wyczerpywania się zasobów paliw kopalnych i ich wpływu na środowisko naturalne, badacze skłaniają się do rozwijania alternatywnych źródeł energii. Zastosowanie nanotechnologii w energetyce słonecznej prowadzi do znacznych wzrostów sprawności i wydajności systemów ciepłych, które stają się już konkurencyjne w stosunku do rozwiązań klasycznych.

Słowa kluczowe: *nanopłyiny, energetyka słoneczna*

### 1. WPROWADZENIE

Przyglądając się procesom przemysłowym takim jak np. produkcja energii elektrycznej, ogrzewanie lub chłodzenie dochodzi się do wniosku jak ważne są odpowiednio dobrane płyny, dzięki którym przebiegają wymienione procesy. Istotną wadą powszechnie stosowanych czynników jest stosunkowo niewielka przewodność cieplna, która objawia się bardzo ograniczonymi wartościami współczynników ciepła w systemach ciepłych. Naukowcy odnaleźli sposób na pokonanie tej przeciwności poprzez zastosowanie nanocząstek stałych dodawanych do cieczy.

W ostatnich latach wielu naukowców badało wpływ nanopłynów na zwiększenie przekazywania ciepła w urządzeniach ciepłych, zarówno eksperymentalnie i teoretycznie. Użycie nanopłynów, owocujące poprawą własności ciepłych układów, może zapewnić podstawy do znacznych innowacji w zakresie intensyfikacji przekazywania ciepła w wielu gałęziach przemysłu. Niniejsza praca prezentuje przegląd badań nad zastosowaniami nanopłynów w energetyce słonecznej.

---

\* Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

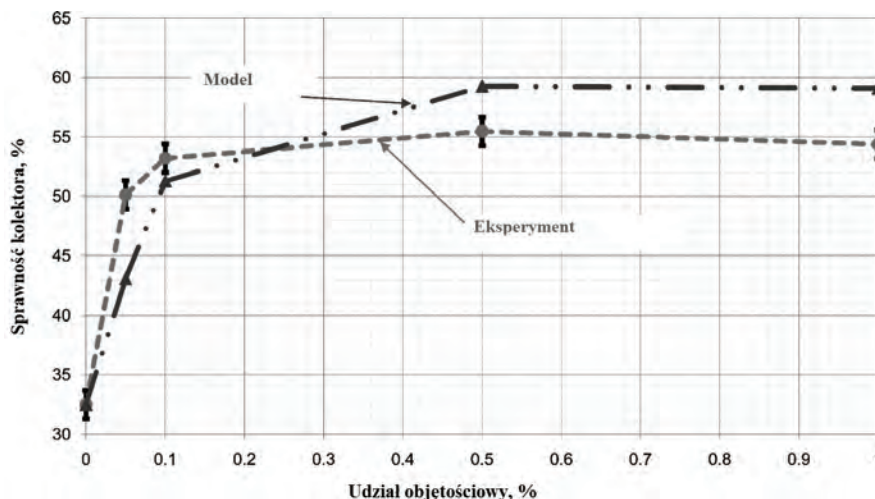


## 2. SPRAWNOŚĆ KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Tyagi i in. [13] przeprowadzili teoretyczną analizę wpływu różnych parametrów na sprawność niskotemperaturowego, opartego o nanopłyn kolektora słonecznego, absorbującego promieniowanie bezpośrednie, i porównali go ze standardowym kolektorem płaskim. Górna część kolektora pokryta była szkłem, natomiast dolna – izolacją. Czynnikiem roboczym była mieszanina wody i nanocząstek aluminium. W pracy zaprezentowano dwuwymiarowy model wymiany ciepła, który uwzględniał pochłanianie promieniowania bezpośredniego przez cienki film nanopłyn. Następnie, wyjaśniono proces absorbowania i rozpraszania energii światła słonecznego w obrębie nanopłyn. Na podstawie modelu numerycznego ujmującego równania zachowania energii i przekazywania ciepła oszacowano rozkład profilu temperatury i natężenia w nanopłynie. Zauważono, że zastosowanie nanocząstek zwiększa dziewięciokrotnie strumień absorbowanej energii w stosunku do czystej wody. Autorzy przedstawili charakterystykę sprawności kolektora w funkcji udziału objętościowego cząstek w mieszaninie, wyrażonego w procentach. Krzywa sprawności kolektora wyznaczona została w przedziale udziału procentowego nanocząstek od 0,1% do 5%. Wyniki badań nad dodatkiem nanocząstek do czynnika roboczego pokazują znaczny wzrost sprawności dla małych udziałów nanocząstek. W określonych warunkach sprawność kolektora DAC (Direct Absorbition Collector), używającego nanopłyn jako medium robocze, okazała się o 10% wyższa, niż kolektora płaskiego.

Otanicar i in. [9] przeprowadzili badania eksperymentalne i teoretyczne wpływu różnych nanopłynów na wydajność kolektora DAC. Wykorzystane do badań mieszaniny zawierały nanocząstki stałe takie jak: nanorurki węglowe, grafit oraz srebro. Jak pokazuje eksperyment, niewielkie ilości nanocząstek – do udziału objętościowego cząstek stanowiącego ok. 0,5% całej mieszaniny – prowadzą do znacznego wzrostu sprawności urządzenia. Powyżej wspomnianej wartości sprawność kolektora stabilizuje się a nawet zaczyna nieznacznie spadać wraz ze wzrostem ilości nanocząstek. Ponadto, badacze na przykładzie srebra wskazali, iż wzrost wielkości pojedynczych nanocząstek prowadzi do obniżenia sprawności kolektora.

Należy zwrócić uwagę, że sprawność tego typu kolektorów silnie zależy od zdolności do pochłaniania energii przez medium robocze, która jest bardzo niska dla standardowych płynów stosowanych w kolektorach. Połączenie nanocząstek z płynem istotnie wpływa na własności termofizyczne mieszaniny, jak np. przewodność cieplną. Według autorów nasuwa się wniosek, że nanocząstki posiadają znaczny potencjał, pozwalający na poprawę zdolności radiacyjnych płynu, prowadzących do poprawy sprawności kolektorów DAC. Wyniki badań jednoznacznie wskazują wzrost sprawności do 5% w kolektorach wykorzystujących nanopłyn jako mechanizm absorbujący. Wyniki modelu numerycznego, uwidaczniają wzrost sprawności kolektora słonecznego wraz ze wzrostem udziału objętościowego nanocząstek w płynie, do momentu gdzie dalszy wzrost udziału prowadzi do spadku sprawności (rys. 1).



Rys. 1. Charakterystyka sprawności kolektora słonecznego w zależności od udziału objętościowego nanocząstek w mieszaninie, oprac. własne na podstawie [9]

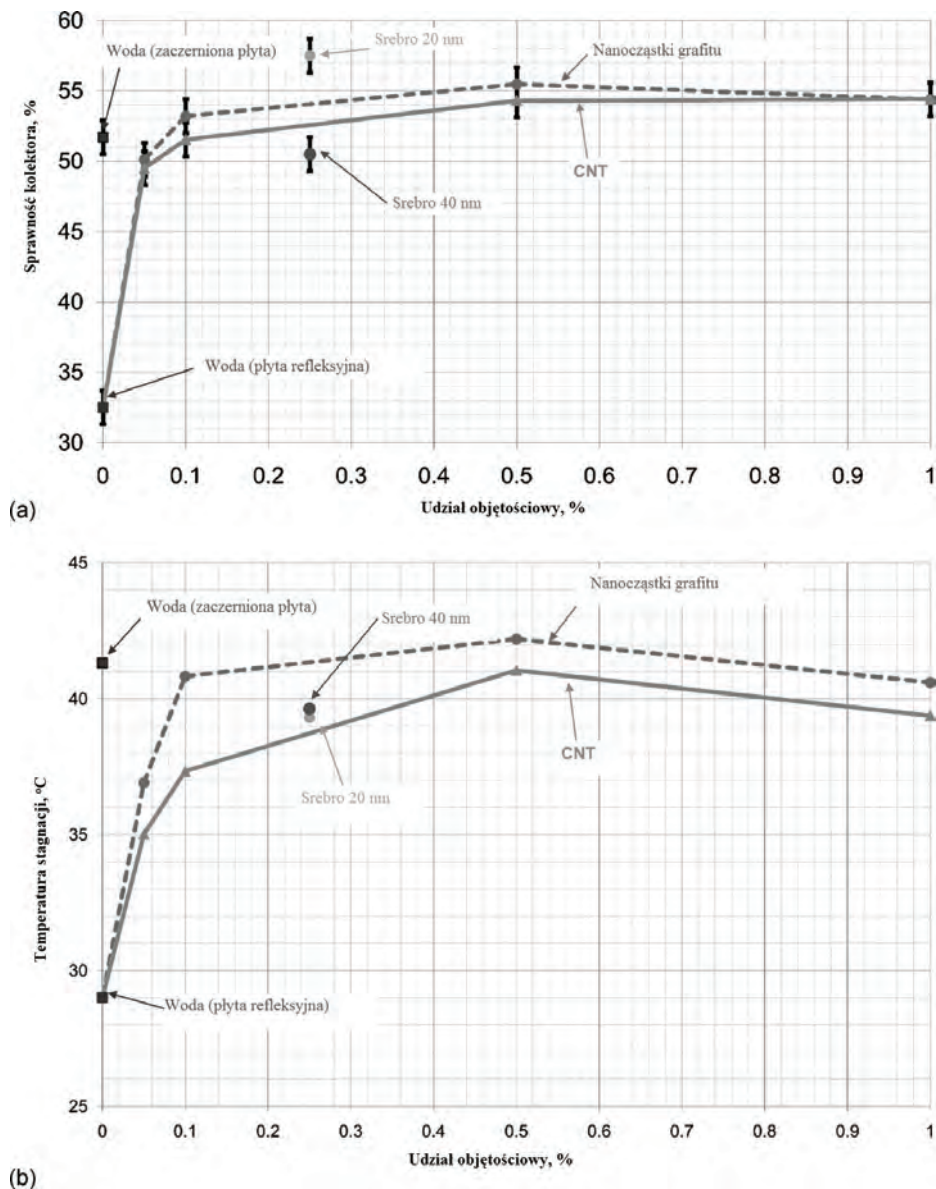
Zbadano dwa warianty konstrukcji kolektora, gdzie medium przepływającym była woda. Tylna ściana absorbująca za pierwszym razem została wykonana w postaci płyty refleksyjnej, natomiast za drugim jako płyta zaczerniona. Otrzymane sprawności kolektora to odpowiednio 52% i 33%, wskazujące na zdolność do pochłaniania promieniowania przez przepływający płyn.

Kolejne eksperymenty, z nanopłynami, zostały przeprowadzone przy zastosowaniu płyty refleksyjnej. Charakterystyka sprawności kolektora zmienia się znacznie wraz z dodatkiem nanocząstek (rys. 2). Najwyższa sprawność 58% została osiągnięta dla nanopłyynu z dodatkiem cząstek srebra o wielkości 20 nm. Zastosowanie nanocząstek srebra, o rozmiarze 40 nm, skutkowało zmniejszeniem sprawności do 51%, przy tym samym udziale objętościowym.

W przypadku nanocząstek grafitu oraz nanorurek węglowych obserwowano znaczny wzrost sprawności do 0,1% udziału objętościowego cząstek w mieszaninie, maksymalna sprawność dla obu nanopłynów występowała przy udziale 0,5%, po czym ustalała się na stałym poziomie lub nieco malała.

Naukowcy szacują, że nanopłyn składający się z 1% udziału objętościowego nanocząstek o rozmiarze 30 nm charakteryzuje się trzystukrotnie większą powierzchnią czynną, zdolną do pochłaniania promieniowania, niż dolna część kanału wspomnianego kolektora.

Taylor i in. [12] przeprowadzili analizę porównawczą dwóch systemów: opartego o nanopłyn słonecznego systemu koncentrującego, składającego się ze skupiającego punktowo kolektora słonecznego oraz identycznego pod względem konstrukcyjnym systemu klasycznego.



Rys. 2. Charakterystyki pracy kolektora słonecznego w zależności od udziału objętościowego nanocząstek w mieszaninie:

- a) wykres dotyczący sprawności kolektora,  
 b) wykres dotyczący temperatury stagnacji kolektora, oprac. własne na podstawie [9]

Wyniki pokazują, że wykorzystanie nanopłynów w odbiorniku może poprawić sprawność o 10%. Przeprowadzone przez badaczy analizy ekonomiczne sugerują, iż

zastosowanie nanopłyyny w elektrowni z odbiornikiem centralnym o mocy 100 MW może zwiększyć przychód roczny o 3,5 mln dolarów.

He i in. [3] prowadzili badania dotyczące konwersji światła na ciepło dla dwóch nanopłyynów, woda/ tlenek tytanu  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , woda/ rurki węglowe  $\text{CNT}/\text{H}_2\text{O}$  w rurowym zaizolowanym próżniowo kolektorze słonecznym. Wyniki pokazują wysoką sprawność konwersji dla drugiego przypadku  $\text{CNT}/\text{H}_2\text{O}$  dla udziału masowego z 0,5%. Ze względu na lepsze własności przetwarzania energii  $\text{CNT}/\text{H}_2\text{O}$  w stosunku do  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , temperatura  $\text{CNT}/\text{H}_2\text{O}$  jest wyższa niż  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ . To oznacza, że  $\text{CNT}/\text{H}_2\text{O}$  jest odpowiedniejszy w zastosowaniu przy próżniowych kolektorach rurowych.

Li i in. [6] dokonali analizy trzech mieszanin zawierających nanocząstki stałe, kolejno:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}/\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}/\text{H}_2\text{O}$ , na wydajność rurowego kolektora. Badano zmianę współczynnika przekazywania ciepła w rurowym kolektorze słonecznym ze względu na rodzaj i ilość zastosowanego nanopłyyny. W przypadku zastosowania któregośkolwiek ze wspomnianych nanopłyynów strumień przekazywanego ciepła ulegał zwiększeniu w stosunku do czystej wody. Wyniki pokazują, że  $\text{ZnO}/\text{H}_2\text{O}$  o 0,2% koncentracji objętościowej jest najlepszym wyborem dla tego typu kolektora. Badacze wymieniają zalety wybranego nanopłyyny m.in.: mała lepkość, duża zdolność do przekazywania i akumulowania ciepła.

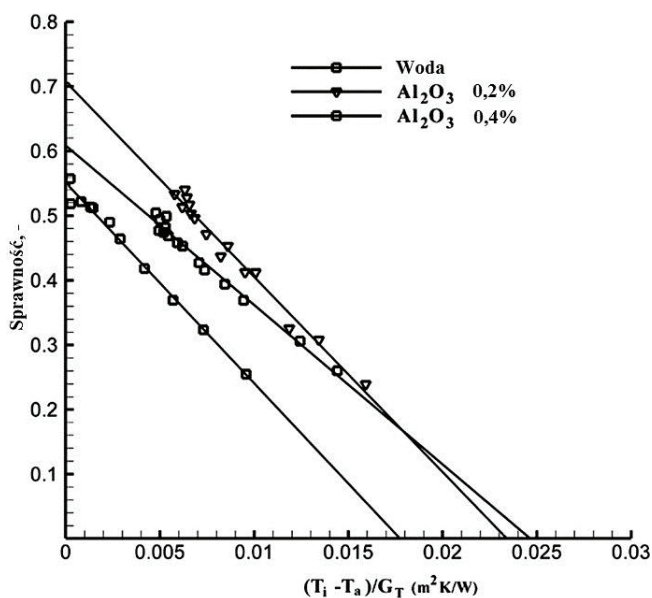
Badania teoretyczne nanopłyynów w parabolicznym kolektorze skupiającym w porównaniu do wyników otrzymanych podczas badań eksperymentalnych konwencjonalnego kolektora parabolicznego pracującego w zbliżonych warunkach, zostały opisane przez Khullara i in. [5]. Jako nanocząstki wykorzystali aluminium w ilości 0,05% udziału objętościowego mieszaniny. Metalowe cząstki umieszczono w oleju termicznym Therminol VP-1. Efektywność cieplna kolektora skupiającego wykorzystującego nanopłyyn, w porównaniu do klasycznego kolektora parabolicznego, jest o 5–10% wyższa dla tych samych warunków pogodowych.

Yousefi i in. [14] przedstawili analizę wpływu nanopłyyny na bazie cząstek tlenku glinu zanurzonych w wodzie  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$  na sprawność płaskiego kolektora. Podczas badań użyli dwóch różnych stężeń wagowych nanopłyyny: 0,2% i 0,4%, gdzie średnica nanocząstki wynosiła 15 nm. Naukowcy odnotowali, że sprawność kolektora z 0,2% stężeniem wagowym nanopłyyny jest wyższa od sprawności kolektora wypełnionego wodą o 28,3%. W szerokim zakresie zredukowanej różnicy temperatur kolektor z 0,2% stężeniem wagowym nanopłyyny charakteryzuje się wyższą sprawnością niż ten z 0,4% stężeniem wagowym nanopłyyny. Wyniki badań zostały przedstawione na rys. 3.

Khlebtsov i in. [4] pokazali wpływ rozmiaru, kształtu struktury nanocząstek złota i srebra na własności optyczne nanopłyynów i dostrzegli, że kształt i rozmiar nanocząstek mają zasadniczy wpływ na własności optyczne nanopłyyny.

De Risi i in. [2] skonstruowali innowacyjny kolektor paraboliczny TPTC (Transparent Parabolic Through Collector), którego medium roboczym jest gaz z dodatkiem nanocząstek. Naukowcy zwrócili uwagę na odbiorniki promieniowania słonecznego

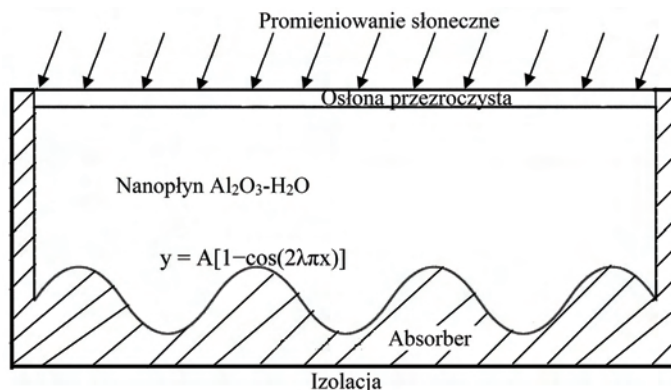
wykonane z materiału transparentnego. Zastosowanie w nich nanopłynów bazujących na czynnikach gazowych pozwala na absorbowanie energii promieniowania słonecznego na powierzchni wielu nanocząstek pochodzenia metalicznego. Takie rozwiązanie pozwala znacznie zwiększyć powierzchnię pochłaniającą promieniowanie słoneczne oraz zwiększyć współczynnik przekazywania ciepła, który zasadniczo jest niski dla standardowych gazów używanych w systemach wymiany ciepła. Naukowcy zaprojektowali nowy typ nanopłynów składającego się z cząstek tlenku miedzi i niklu, który pozwala zwiększyć absorbowany strumień ciepła. Ponadto stworzyli model cieplno-przepływowego kolektora TPTC i na jego podstawie przeprowadzili procedury optymalizacyjne. Zauważono korelację pomiędzy udziałem objętościowym nanocząstek w płynie, a sprawnością cieplną kolektora. Przy udziale objętościowym nanocząstek do 0,3%, korzystny efekt cieplny zastosowania cząstek metalicznych przysłania wady wynikające ze zwiększonego spadku ciśnienia. Symulacje pokazały, że maksymalna sprawność kolektora TPTC wyniosła 62,5% przy temperaturze wylotowej czynnika roboczego sięgającej 650 °C oraz koncentracji objętościowej nanocząstek na poziomie 0,3%.



Rys. 3. Charakterystyka sprawności kolektora słonecznego w zależności o zredukowanej różnicy temperatur oraz rodzaju medium roboczego, oprac. własne na podstawie [14]

Nasrin i in. [7] przeprowadzili badania dotyczące konwekcji naturalnej wewnątrz płaskiego kolektora słonecznego oraz kolektora o profilowanej płycie absorbera w kształcie fali sinusoidalnej (rys. 4). W przypadku obu wspomnianych kolektorów

czynnikiem roboczym był nanopłyn składający się z wody i nanocząstek aluminium. Badania numeryczne jednoznacznie wskazują, iż zwiększenie ilości fal oraz ich amplitudy wpływających na profil absorbera powodują wzrost przekazywanego strumienia ciepła.



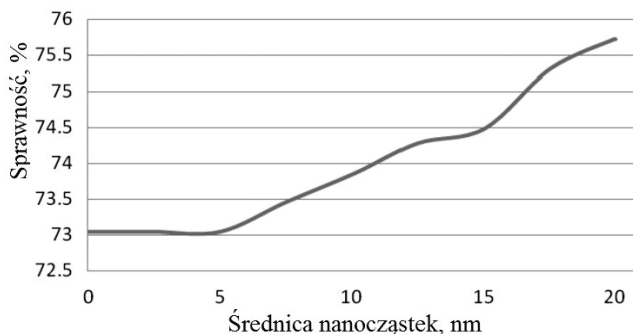
Rys. 4. Schemat kolektora słonecznego z profilowaną płytą absorbera, oprac. własne na podstawie [7]

Colangelo i in. [1] skupili swoją uwagę na procesie osadzania się nanocząstek w kanałach przepływowych kolektorów słonecznych. Badania poświęcone sedymentacji nanocząstek przeprowadzono zarówno w standardowym płaskim kolektorze słonecznym, jak i w kolektorze z rurkami transparentnymi. Wyniki badań są następujące: głównym czynnikiem powodującym aglomerowanie się cząstek jest prędkość przepływu płynu. W celu uniknięcia sedymentacji autorzy zaproponowali nowe rozwiązanie geometrii kolektora, chronione patentem, które praktycznie eliminuje możliwość osadzania się nanocząstek. Ponadto podczas badań wytypowano nanopłyn  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  jako czynnik przekazujący ciepło przy koncentracji objętościowej nanocząstek 3%. Ostatecznie oszacowano, że strumień przewodzonego ciepła wzrósł o 6,7%, w przypadku strumienia ciepła przekazywanego na drodze konwekcji wzrost ten wyniósł 25%.

Nasrin i Alim [8] przeprowadzili badania dotyczące charakterystyki cieplnej płaskiego kolektora słonecznego oraz kolektora z profilowanym absorberem. W badaniu posłużono się dwoma rodzajami nanocząstek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i Cu. Badano wpływ obu rodzajów nanocząstek na sprawność kolektora. Ponadto wzięto pod uwagę rozkłady temperatur i prędkości, średnią temperaturę oraz strumienie ciepła przekazywane na drodze konwekcji i promieniowania. Naukowcy doszli do wniosku, że średnia temperatura nanopłynu rośnie wraz koncentracją Cu bardziej niż w przypadku  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Zastosowanie wysokiego stężenia nanocząstek miedzi pozwala efektywnie zwiększyć strumień przekazywanego ciepła, natomiast użycie nanocząstek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nie przynosi tak istotnych zmian.

Saidur i in. [11] dokonali analizy zastosowania nanopłynu jako czynnika roboczego w kolektorze DSC (Direct Solar Collector). Jako nanocząstki wykorzystano

aluminium, ze względu na jego powszechność, stosunkowo niewysoką cenę, a także korzystne właściwości cieplne (np. współczynnik przewodzenia ciepła). Naukowcy przeprowadzili eksperyment ukazujący wpływ wielkości oraz udziału objętościowego nanocząstek na poprawę własności cieplnych kolektora słonecznego (rys. 5).



Rys. 5. Charakterystyka sprawności kolektora słonecznego w zależności od wielkości nanocząstek, przy udziale objętościowym wynoszącym 0,8%, oprac. własne na podstawie [11]

Wyniki badań pokazują, że czysta woda jest praktycznie transparentna dla światła widzialnego, natomiast dla długości fali 2,6  $\mu\text{m}$  charakteryzuje się dobrą absorpcyjnością. Wielkość cząstek aluminium zastosowanych w nanopłynie ma znikomy wpływ na właściwości optyczne medium. W podsumowaniu badacze stwierdzają, że dodatek nanocząstek aluminium, do udziału objętościowego wynoszącego 1% mieszaniny, wpływa znacznie na zdolności absorpcyjne płynu, który niemalże jest nieprzezroczysty dla światła. Zastosowanie nanopłynu zawierającego nanocząstki aluminium wydaje się być satysfakcjonującym rozwiązaniem w kolektorach DSC w porównaniu do innych dostępnych czynników roboczych.

### 3. WYZWANIA

Używanie nanopłynów w systemach słonecznych z naturalną cyrkulacją, gdzie nie ma pompy cyrkulacyjnej nie jest rozsądne, ze względu na skłonność nanocząstek aglomerowania w kanałach przepływowych.

Obecność nanocząstek w nanopłynach może prowadzić do korozji i erozji powierzchni metalicznych urządzeń cieplnych. Zastosowanie nanocząstek charakteryzujących się większą wytrzymałością mechaniczną na ścieranie niż materiały, z których wykonane są kanały przepływowe, prowadzi do silnej erozji, np. nanopłyn  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$  przepływający w rurze aluminiowej.

Używanie nanopłynów o wysokiej lepkości – wynikającej z dużej koncentracji nanocząstek w płynie bazowym – w porównaniu do cieczy podstawowej prowadzi do

wzrostu strat ciśnienia, co w konsekwencji powoduje wzrost wymaganej mocy pompowania. Zastosowanie nanopłyynów powoduje znaczny spadek ciśnienia przy przepływie turbulentnym wraz ze wzrostem objętościowego udziału nanocząstek stałych w wodzie. Zazwyczaj stosuje się dodatek cząstek metalicznych w ilości nie przekraczającej 0,2% udziału objętościowego mieszaniny.

Z powodu trudności powstających podczas produkcji, nanopłyyny charakteryzują się obecnie wysokimi kosztami. Proces powstawania nanopłyynów oparty jest na podstawie jednej z dwóch metod, do których przeprowadzenia wymagane jest zaawansowane i niezwykle kosztowne przyrządowanie [10].

#### 4. PODSUMOWANIE

Nanopłyyny są zaawansowanymi płynami, zawierającymi niezwykle małe, wielkości nano, cząstki pochodzenia metalicznego. Nanopłyyny są używane do zwiększenia wydajności urządzeń w wielu systemach inżynierii cieplnej. Eksperymentalne i numeryczne badania kolektorów słonecznych pokazują, że w pewnych przypadkach sprawność może znacznie wzrosnąć podczas użycia nanopłyynów, oczywiście zauważono także, że używanie nanopłyynów z większym udziałem objętościowym nanocząstek w mieszaninie nie zawsze jest najlepszym rozwiązaniem.

Przegląd ten pokazuje, że aplikacje nanopłyynów w energetyce słonecznej dopiero się rozwijają. Najważniejsze wyzwania przy korzystaniu z nanopłyynów w technikach solarnych uwzględniające wysoki koszt produkcji, aglomerowanie, wzrost mocy pompowania, erozja zostały przedstawione. Pomimo wymienionych trudności, już teraz wiadomo, że postęp technologiczny nanopłyynów wpłynie korzystnie na propagowanie alternatywnych źródeł energii.

#### LITERATURA

- [1] COLANGELO G., de RISI E.F.A., LAFORGIA D., *A new solution for reduced sedimentation flat panel solar thermal collector using nanofluids*, Applied Energy, 111, 2013, 80–93.
- [2] de RISI A., MILANESE M., LAFORGIA D., *Modelling and optimization of transparent parabolic trough collector based on gas-phase nanofluids*, Renewable Energy, 58, 2013, 134–139.
- [3] HE Y., WANG S., MA J., TIAN F., REN Y., *Experimental study on the light-heat conversion characteristics of nanofluids*, Nanoscience, Nanotechnology Letters, 3, 2011, 494–496.
- [4] KHLEBTSOV N., TRACHUK L., MELNIKOV A., *The effect of the size, shape, and structure of metal nanoparticles on the dependence of their optical properties on the refractive index of a disperse medium*, Optics Spectroscopy, 98, 2005, 77–83.
- [5] KHULLAR V., TYAGI H., PHELAN P.E., OTANICAR T.P., SINGH H., TAYLOR R.A., *Solar energy harvesting using nanofluids-based concentrating solar collector*, Proceedings of MNHMT 2012 3rd Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer, International Conference on March 3–6, Atlanta, Georgia, USA, 2012.



- [6] LI Y., XIE H., YU W., LI J., *Investigation on heat transfer performances of nanofluids in solar collector*, Material Science Forum, 694, 2011, 33–36.
- [7] NASRIN R., ALIM M.A., CHAMKHA A.J., *Effects of Physical Parameters on Natural Convection in Solar Collector Filled with Nanofluid*, Heat Transfer – Asian Research, 42, 2013, 73.
- [8] NASRIN R., ALIM M.A., *Heat Transfer by Nanofluid with Different Nanoparticles in a Solar Collector*, Heat Transfer – Asian Research, Wiley Periodicals, 2013.
- [9] OTANICAR T.P., PHELAN P.E., PRASHER R.S., ROSENGARTEN G., TAYLOR R.A., *Nanofluidbased direct absorption solar collector*, Journal Renewable Sustainable Energy, 2, 2010.
- [10] SAIDUR R., LEONG K.Y., MOHAMMAD H.A., *A review on applications and challenges of nanofluids*, Renewable Sustainable Energy Reviews, 15, 2011, 1646–1668.
- [11] SAIDUR R., MENG T.C., SAID Z., HASANUZZAMAN M., KAMYAR A., *Evaluation of the effect of nanofluid-based absorbers on direct solar collector*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55, 2012, 5899–5907.
- [12] TAYLOR R.A., PHELAN P.E., OTANICAR T.P., WALKER C.A., NGUYEN M., TRIMBLE S., PRASHER R., *Applicability of nanofluids in high flux solar collectors*, Journal Renewable Sustainable Energy, 3, 2011.
- [13] TYAGI H., PHELAN P., PRASHER R., *Predicted efficiency of a low-temperature nanofluid – based direct absorption solar collector*, Journal Solar Energy Engineering, 131, 2009.
- [14] YOUSEFI T., VEYSI F., SHOJAEIZADEH E., ZINADINI S., *An experimental investigation on the effect of  $Al_2O_3$ – $H_2O$  nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors*, Renewable Energy, 39, 2012, 293–298.

#### NANOFLUIDS – BREAKTHROUGH IN SOLAR ENERGY

According to previous studies, it has been found that the improved thermal conductivities of nanofluids are the one of the driving factors for improved performance in different applications. It has been observed that nanofluids can be considered as a potential candidate for many applications. Some of the articles just reported the improved thermal, rheological, and heat transfer performances without correlating these performances with the specific applications. As heat transfer can be enhanced by nanofluids, heat exchanging devices can be made energy efficient and compact. Reduced or compact shape may result in reduced drag for instance in automobile and similar applications. The exact mechanism of enhanced heat transfer for nanofluids is still unclear, reported by researchers. However, it should be noted that many issues need to be identified and resolved for different applications. Nanofluids stability and its production cost are major factors that hinder the commercialization of nanofluids. By solving these challenges, it is expected that nanofluids can make substantial impact as a coolant in heat exchanging devices.

## ROZDZIAŁ XXXVII

# RUROWE ODBIORNIKI PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Paweł PACYGA\*

Rurowe odbiorniki promieniowania słonecznego stanowią najczęściej stosowane rozwiązanie w technikach solarnych w celu wytwarzania wysokotemperaturowej energii cieplnej. Standardowe rurowe odbiorniki promieniowania słonecznego zbudowane są z absorbera w kształcie rury, przez który przepływa medium robocze, pokrytego warstwą selektywną, umieszczonego wewnątrz rury zewnętrznej – szklanej. Pomiędzy rurami panuje wysokie podciśnienie, które niemalże całkowicie eliminuje straty konwekcyjne ciepła od absorbera do osłony przezroczystej. Promieniowanie słoneczne kierowane jest na odbiornik za pomocą parabolicznego koncentratora rynnowego. Niniejsza praca prezentuje najnowocześniejsze wyniki badań prowadzonych nad rurowymi odbiornikami promieniowania słonecznego oraz unikalne rozwiązanie będące propozycją autora – kolektor słoneczny dwustronnego działania.

Słowa kluczowe: *kolektor słoneczny dwustronnego działania, odbiorniki promieniowania słonecznego*

### 1. WPROWADZENIE

Aby zapewnić wysoką temperaturę oraz dobrą sprawność procesu konwersji promieniowania słonecznego do ciepła użytecznego wymagany jest kolektor słoneczny cechujący się znakomitymi parametrami eksploatacyjnymi. Obecnie najbardziej uznanym systemem technik solarnych, charakteryzującym się relatywnie niedużą masą konstrukcji, minimalną powierzchnią zabudowy oraz niskim kosztem, jest układ solarny zbudowany w oparciu o paraboliczne rynnowe kolektory słoneczne z odbiornikami rurowymi PTC (*Parabolic Trough Collector*). Instalacje tego typu z powodzeniem produkują ciepło na poziomie temperatury sięgającej 400 °C. Nazwa tego typu kolektorów wzięła się od kształtu powierzchni refleksyjnej skupiającej promieniowanie na absorberze. Reflektory zwykle są wykonane przez nakładanie (napyłanie, zginanie etc.) materiału o wysokiej refleksyjności na konstrukcję profilowaną w kształcie paraboli. Odbiorniki

---

\* Zakład Chłodnictwa i Pomp Ciepła, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

promieniowania słonecznego wykonane są w postaci rur stalowych pokrytych warstwą selektywną, zaizolowanych próżniowo i umieszczonych w rurze szklanej w celu znacznej redukcji strat ciepła do otoczenia i tym samym istotnego wzrostu sprawności urządzenia. Należy jednak zwrócić uwagę, że kolektory typu PTC są głównie stosowane jako urządzenia zapewniające wysoką temperaturę medium roboczego w dużych instalacjach solarnych, zlokalizowanych na terenach o bardzo dobrych warunkach klimatycznych. Na rysunku 1 przedstawiono widok przykładowego kolektora parabolicznego.



Rys. 1. Paraboliczny, rynnowy kolektor słoneczny w Plataforma Solar de Almeria, Hiszpania, fot. J. Kasperski



Rys. 2. Zdjęcie kolektorów ETC zainstalowanych na dachu Centrum Odnawialnych Źródeł Energii w Bielawie, fot. P. Pacyga

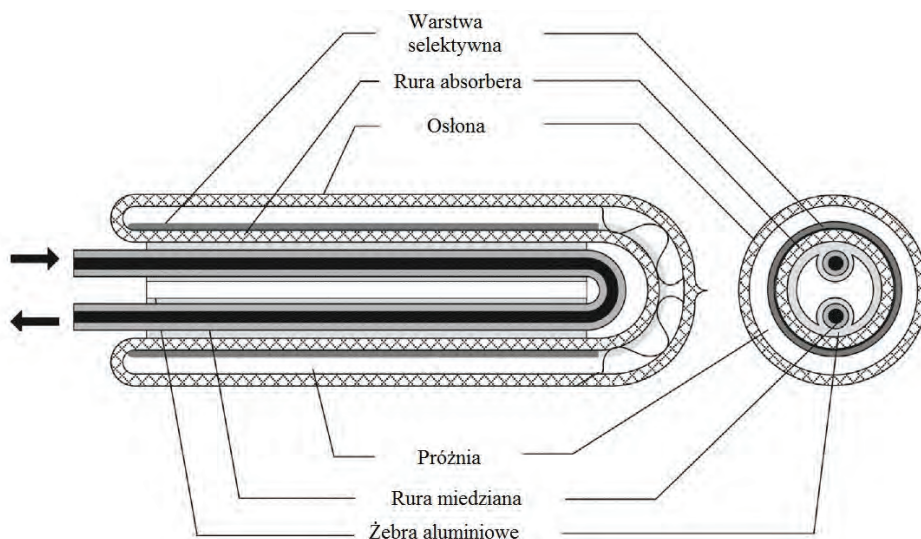
Dla krajów położonych na wyższych szerokościach geograficznych, gdzie udział składowej dyfuzyjnej promieniowania słonecznego jest znaczny w całkowitym stru-

mieniu energii słonecznej docierającej do powierzchni ziemi, powszechne stały się kolektory słoneczne ETC (*Evacuated Tube Collector*), widoczne na rys. 2. Kolektory ETC często budowane są w postaci rury ciepła umieszczonej wewnątrz osłony szklanej. Zastosowanie pokryć selektywnych absorbera oraz izolacji próżniowej umożliwia osiągnięcie wysokich temperatur czynnika oraz zadowalających sprawności procesu przetwarzania energii słonecznej.

W dalszej części pracy zaprezentowane zostały najnowocześniejsze wyniki badań prowadzonych na świecie nad rurowymi odbiornikami promieniowania słonecznego oraz unikalne, autorskie rozwiązanie – kolektor słoneczny dwustronnego działania.

## 2. OBECNE KIERUNKI ROZWOJU

Według Lianga i in. [4] sprawność systemu parowego opartego na parabolicznych kolektorach rynnowych PTC zależy znacznie od strat ciepłych z odbiornika promieniowania słonecznego. Autorzy w swojej pracy przedstawili badania eksperymentalne dotyczące rurowego odbiornika typu U posiadającego podwójną osłonę przezroczystą włączonego w układ kolektorów PTC i produkującego średnotemperaturową (120–200 °C) parę wodną. Celem badań było ustalenie całkowitych strat ciepła z odbiornika promieniowania. Sprawność cieplna urządzenia w bezwietrzny dzień wynosiła 0,791, natomiast w przypadku pojawienia się wiatru 0,472. Autorzy podkreślają w pracy, że dla tego typu kolektora zarówno starty konwekcyjne (183 W/m i 255 W/m), jak i straty radiacyjne (92 W/m i 96 W/m) nie mogą zostać pominięte.



Rys. 3. Rurowy odbiornik promieniowania typu U, oprac. własne na podstawie [3]

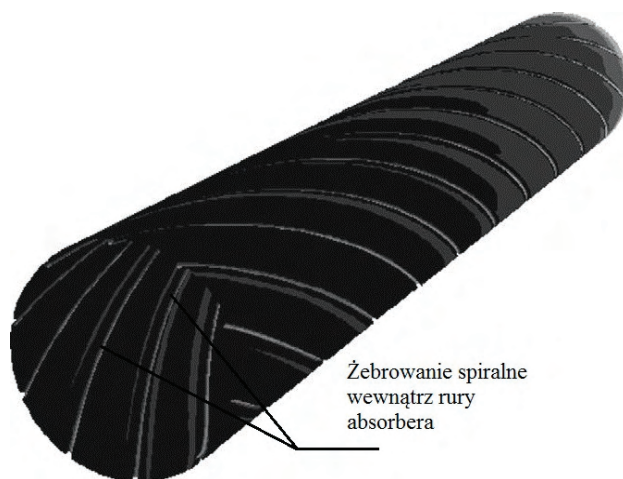
Li i in. [3] zaproponowali w swojej pracy połączenie złożonych koncentratorów parabolicznych z rurowymi odbiornikami promieniowania słonecznego typu U. Autorzy przeprowadzili analizę porównawczą dwóch systemów różniących się stopniem koncentracji geometrycznej wiązki światła oraz akceptowalnym kątem padania promieniowania: pierwszy (3×) – stopień koncentracji 3,06 oraz kąt 10°, drugi (6×) – koncentracja geometryczna na poziomie 6,03 oraz dopuszczalny kąt padania 3°. Stworzono model numeryczny na podstawie, którego przeprowadzono symulacje odwzorowujące optyczne i cieplne zmiany w układzie. Według eksperymentu badane kolektory charakteryzowały się dużą niezawodnością i sprawnością procesu przetwarzania energii słonecznej. Osiągnięte sprawności wynoszą odpowiednio 54% dla CPC 6× oraz 51% dla CPC 3× przy temperaturze wlotowej czynnika 150 °C. Uzyskane dane mogą posłużyć za cenne źródło informacji przy projektowaniu średniotemperaturowych instalacji solarnych. Na rys. 3 przedstawiono, w sposób uproszczony, budowę rurowego odbiornika promieniowania słonecznego typu *U* wykorzystanego podczas wspomnianych badań.

Yen Chean Soo Too wraz z Regano Benito [11] przedstawili badania dotyczące przenoszenia ciepła i spadku ciśnienia w powietrznych odbiornikach promieniowania słonecznego. W trakcie swoich badań uwzględnili kilka metod zwiększenia strumienia przekazywanego ciepła jak np. wprowadzenie do kanału powierza spirali, zastosowanie skręconych taśm metalowych, zmiana kształtu kanału przepływowego poprzez wykonanie wgłębień w materiale absorbera lub zastosowanie materiału porowatego. Co więcej, przeprowadzono analizy uwzględniające inne gazowe czynniki robocze – dwutlenek węgla oraz hel. Według autorów, zastosowanie CO<sub>2</sub> lub He może zredukować spadek ciśnienia w rurowym odbiorniku promieniowania. Zastosowanie materiału porowatego wpływa istotnie na zwiększenie strumienia przekazywanego ciepła i zmniejszenie średniej temperatury zewnętrznej powierzchni absorbera w stosunku do układów z innymi modyfikacjami, wadą tego rozwiązania jest wzrost strat ciśnienia wzdłuż kanału przepływowego.

Padilla i in. [7] przeprowadzili badania numeryczne mające na celu stworzenie nowego, precyzyjnego modelu opisującego procesy ciepło – przepływowe zachodzące w odbiorniku promieniowania pracującego w systemie PTC. Zarówno absorber, jak i osłona przezroczysta zostały podzielone na segmenty, dla których indywidualnie rozwiązywano równania zachowania energii i masy. Uzyskane wyniki badań pozostają w dużej zgodności z danymi otrzymanymi podczas badań doświadczalnych. Stworzony model teoretyczny wyróżnia się pod względem dokładności wśród modeli dotąd stosowanych, zwłaszcza pod względem szacowania strat ciepła.

Munoz i Abanades [5] zauważyli, że promieniowanie docierające do powierzchni absorbera, kolektora PTC, ma charakter heterogeniczny. Prowadzi to do dużych różnic temperatury pomiędzy kolejnymi sekcjami systemu. Zastosowanie spiralnego żebrwania wewnątrz rury absorbera, co zostało zilustrowane na rys. 4, pozwala zmniejszyć ten efekt, ujednolicając profil temperatury i zmniejszając naprężenia termiczne, jednakże powodując wzrost strat ciśnienia. Korzystną cechą takiego rozwiązania jest

zmniejszenie temperatury zewnętrznej powierzchni rury absorbera i zmniejszenie wielkości strat, przede wszystkim przez promieniowanie, do otoczenia, zauważalnie poprawiając sprawność termiczną kolektora. Zastosowanie spiralnego żebrowania zostało przeanalizowane numerycznie. Wyniki badań jednoznacznie wskazują poprawę sprawności cieplnej układu PTC ze zmodyfikowanym absorberem w stosunku do rozwiązań klasycznych. Implementacja pomysłu w dużych instalacjach solarnych może objawić się wzrostem sprawności elektrowni o 2%, ponadto przewiduje się niższe koszty eksploatacyjne ze względu na rzadsze wymiany rur absorbera – rury będą poddawane mniejszym naprężeniom termicznym.



Rys. 4. Model CFD żebrowanej spiralnie rury absorbera, oprac. własne na podstawie [5]

Joly i in. [1] zwracają uwagę na nową metodę zol-żel tworzenia powłok selektywnych absorberów rurowych. Po czynnościach optymalizujących własności optyczne warstwy, osiągnięto współczynnik absorpcyjności powyżej 0,95 oraz współczynnik emisyjności zbliżony do 0,12. Powłoka charakteryzuje się dużą odpornością na korozję oraz wysokie temperatury.

Roldan i in. [8] zaprezentowali w swojej pracy model CFD służący do wyznaczenia profilu temperatury w ścianie rury absorbera, przez który przepływa medium robocze w postaci pary. Zagadnienie jest o tyle istotne, iż systemy DSG (Direct Steam Generation) w przeciągu ostatnich lat rozwijają się bardzo intensywnie i znajdują zastosowanie w dużych instalacjach solarnych produkujących energię elektryczną. Wyniki symulacji komputerowych wykazują dużą zgodność z danymi otrzymanymi z doświadczeń. Stworzony model CFD umożliwia zmianę geometrii, własności materiałowych absorbera oraz jego warunków pracy co przyczyni się do rozwoju nowych innowacyjnych rozwiązań w zakresie rurowych odbiorników ciepła stosowanych w systemach DSG.

Kalogirou [2] w swoim artykule prezentuje model procesów cieplnych i przepływowych parabolicznego kolektora słonecznego, który został napisany w EES (Engineering Equation Solver). Model został poddany walidacji na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych na drodze badań doświadczalnych istniejącego kolektora, a następnie wykorzystany do przeprowadzenia symulacji numerycznych dotyczących planowanej instalacji kolektorów słonecznych w Archimedes Solar Energy Laboratory na Cyprze. Zaproponowany model ujmuje procesy wymiany ciepła takie jak: konwekcję w płynie przekazującym ciepło, przewodzenie przez ściankę rury absorbera, radiację oraz konwekcję w przestrzeni między powierzchnią pochłaniającą promieniowanie a osłoną szklaną, przewodzenie przez szkło oraz promieniowanie i konwekcję do otoczenia.

Roesle i in. [9] przedstawili model przekazywania ciepła parabolicznego, rynnowego odbiornika. Autorzy posłużyli się metodą Monte Carlo w celu oszacowania strumienia przewodzonego ciepła przez gaz znajdujący się pomiędzy rurą absorbera a osłoną przezroczystą. Rozważono trzy konfiguracje: straty ciepła z kolektora w przypadku braku nasłonecznienia, z nasłonecznieniem oraz przy przepływie osiowym gazu. W przypadku ciśnień poniżej 5 Pa zauważono, że metoda DSMC (Direct Simulation Monte Carlo) wskazuje na wyższe przewodzenie ciepła niż w przypadku zastosowania alternatywnego modelu wykorzystanego przy badaniach. Największa różnica między wyznaczonymi strumieniami ciepła wynosiła 6 W/m przy ciśnieniu 1 Pa. Autorzy zwracają uwagę, że straty ciepła wynikające z przewodzenia przez gaz znajdujący się w przestrzeni między absorberem a szkłem kolektora słonecznego są pomijalnie małe w porównaniu do strat ciepła na drodze radiacji.

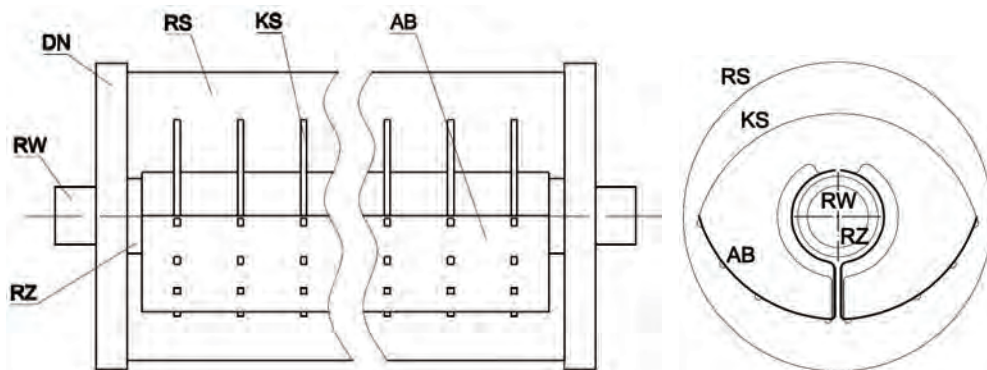
Yan i in. [10] zaproponowali nowy rodzaj kolektora słonecznego wykonanego w technologii kolektora rynnowego. Nowoczesne rozwiązanie urządzenia jest odpowiedzią na problemy pojawiające się przy produkcji wspomnianego typu kolektorów. W porównaniu do standardowych odbiorników zasugerowano kilka istotnych zmian m.in. zastosowanie wtórnego reflektora promieniowania słonecznego podnoszącego sprawność optyczną do 10%, wykonanie absorbera w sposób umożliwiający znaczne zredukowanie strat ciepła. Naukowcy przeprowadzili serię badań symulacyjnych prototypowego kolektora słonecznego. Wyniki badań pokazują, że wprowadzenie wspomnianych zmian konstrukcyjnych skutkuje wzrostem sprawności urządzenia do 8% w porównaniu do standardowego kolektora rynnowego.

You i in. [12] stworzyli model cieplno-przepływowy medium roboczego pracującego w rynnowym kolektorze słonecznym działającym w systemie bezpośredniego wytwarzania pary. Zbudowano zaizolowany próżniowo odbiornik rurowy w celu weryfikacji otrzymanych danych modelowych. Porównanie danych eksperymentalnych z danymi otrzymanymi na drodze symulacji wskazuje na dużą zgodność. Podczas badań zaobserwowano, że chwilowe zmiany natężenia promieniowania słonecznego w sposób znaczący wpływały na temperaturę wyjściową medium i tym samym narażały całą instalację na uszkodzenia. Autorzy zgodnie sugerują zastoso-

wanie w takim przypadku kontrolera PI lub PID w celu stabilizacji temperatury wyjściowej systemu DSG.

### 3. KOLEKTOR SŁONECZNY DWUSTRONNEGO DZIAŁANIA

Budowa płaskich kolektorów pozwala na absorbowanie trzech składowych gęstości promieniowania: bezpośredniej, dyfuzyjnej oraz refleksyjnej. Łączenie płaskich kolektorów słonecznych w układach: szeregowych, równoległych czy szeregowo-równoległych, umożliwia uzyskiwanie odpowiednio wysokich wydajności cieplnych. Niestety otrzymane w ten sposób ciepło znajduje się zwykle na poziomie 100 °C powyżej temperatury otoczenia, co dyskwalifikuje te urządzenia, jako źródła ciepła w systemach, gdzie wymagane są zwłaszcza wysokie temperatury napędowe procesów. Rozwiązaniem tego problemu stały się skupiające kolektory słoneczne, które zasadniczo można podzielić na dwie grupy: skupiające liniowo oraz skupiające punktowo. Kolektory skupiające wykorzystują do swojego działania jedynie składową bezpośrednią promieniowania, która padając prostopadle na powierzchnię refleksyjną kolektora ulega odbiciu, a następnie skupieniu w ogniskowej zwierciadła, gdzie umieszczony jest odbiornik ciepła.



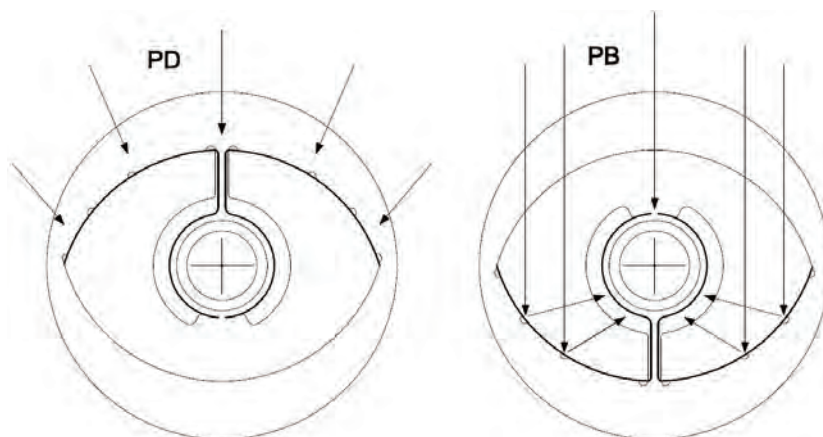
Rys. 5. Schemat ideowy konstrukcji kolektora słonecznego dwustronnego działania;  
 AB – absorber, RW – rura wewnętrzna, RZ – rura zewnętrzna, RS – rura szklana, DN – dennica,  
 KS – kształtownik, oprac. własne na podstawie [6]

Przedmiotem wynalazku autora jest nowy typ kolektora słonecznego [6], który łączyłby zalety kolektorów skupiających (wysoka gęstość energii, obniżone straty ciepła do otoczenia oraz wysoka sprawność fototermicznej konwersji promieniowania słonecznego) z zaletą kolektorów płaskich (zdolność do efektywnego wykorzystania trzech składowych promieniowania słonecznego: bezpośredniej, dyfuzyjnej oraz refleksyjnej). Kolektor słoneczny dwustronnego działania mógłby znaleźć zastosowanie



w systemach ogrzewania, klimatyzacji, czy instalacjach przygotowania ciepłej wody użytkowej. Budowa urządzenia przedstawiona została na rys. 5.

Kolektor posiada możliwość działania w dwóch trybach pracy. W przypadku przewagi natężenia promieniowania bezpośredniego, kolektor ustawia się powierzchnią zwierciadlaną reflektora w kierunku padania promieni słonecznych, uzyskując wyższą sprawność termiczną poprzez koncentrację promieniowania. Natomiast, gdy dochodzi do silnego zachmurzenia i całkowite promieniowanie docierające do powierzchni ziemi ma charakter głównie dyfuzyjny, kolektor obraca się częścią wypukłą reflektora pokrytą warstwą absorbującą, co pozwala znacznie sprawniej wykorzystać taki rodzaj promieniowania. Oba omówione tryby pracy, słonecznego kolektora dwustronnego działania, zaprezentowane są na rys. 6.



Rys. 6. Schemat ideowy pracy kolektora słonecznego dwustronnego działania:

PD – kierunek promieniowania słonecznego dyfuzyjnego,

PB – kierunek promieniowania słonecznego bezpośredniego, oprac. własne na podstawie [6]

#### 4. PODSUMOWANIE

Rurowe odbiorniki promieniowania słonecznego znajdują bardzo szerokie zastosowanie w systemach solarnych: od dużych instalacji przemysłowych produkujących energię elektryczną do wszelkiego rodzaju aplikacji zarówno niskotemperaturowych, jak i wysokotemperaturowych.

Absorber odbiornika wykonany jest w postaci rury stalowej, wewnątrz której przepływa medium robocze, przekazujące ciepło. Zewnętrzna powierzchnia absorbera pokryta jest jedną lub wieloma warstwami selektywnymi, pochłaniającymi promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni zwierciadlanej. Osłony przezroczyste, wykonane w postaci rur szklanych, ograniczają straty ciepłne do otoczenia.

Obecnie na świecie rurowe odbiorniki promieniowania słonecznego stanowią jedno z najważniejszych zagadnień technicznych wśród technik solarnych. Zespoły badawcze poszukują nowych, efektywniejszych rozwiązań. Rozwijane są nowoczesne metody modelowania, pozwalające symulować pracę istniejących, jak i prototypowych instalacji.

Kolektor słoneczny dwustronnego działania jest innowacyjnym urządzeniem łączącym zalety kolektorów skupiających (wysoka sprawność konwersji) oraz kolektorów płaskich (możliwość pracy podczas zachmurzenia). Specjalna konstrukcja kolektora może poprawić sprawność fototermicznej konwersji energii w rocznym cyklu pracy, co wprost może przełożyć się na zwiększenie uzysku cieplnego osiąganego podczas rocznej pracy urządzenia. Stosunkowo nieskomplikowana konstrukcja kolektora oraz zastosowanie ogólnodostępnych materiałów do jego budowy, pozwoliłoby zakwalifikować to rozwiązanie jako ekonomicznie uzasadnione, a nawet atrakcyjne finansowo (przy produkcji wielkoseryjnej) w stosunku do powszechnie stosowanych kolektorów słonecznych w Polsce, jak i na świecie.

#### LITERATURA

- [1] JOLY M., ANTONETTI Y., PYTHON M., GONZALEZ M., GASCOU T., SCARTEZZINI J.-L., SCHULER A., *Novel black selective coating for tubular solar absorbers based on a sol-gel method*, Solar Energy, 94, 2013, 233–239.
- [2] KALOGIROU S.A., *A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver*, Energy, 48, 2012, 298–306.
- [3] LI X., DAI Y.J., LI Y., WANG R.Z., *Comparative study on two novel intermediate temperature CPC solar collectors with the U-shape evacuated tubular absorber*, Solar Energy, 93, 2013, 220–234.
- [4] LIANG Z., ZITAO Y., LIWU F., WUJUN W., HUAN C., YACAI H., JIANREN F., MINGJIANG N., KEFA C., *An experimental investigation of the heat losses of a U-type solar heat pipe receiver of a parabolic trough collector-based natural circulation steam generation system*, Renewable Energy, 57, 2013, 262–268.
- [5] MUNOZ J., ABANADES A., *A technical note on application of internally finned tubes in solar parabolic trough absorber pipes*, Solar Energy, 85, 2011, 609–612.
- [6] PACYGA P., *Kolektor słoneczny*, Zgłoszenie patentowe nr P 403257 z dnia 21.03.2013, Politechnika Wroclawska.
- [7] PADILLA R.V., DEMIRKAYA G., GOSWAMI Y., STEFANAKOS E., RAHMAN M.M., *Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver*, Applied Energy, 88, 2011, 5097–5110.
- [8] ROLDÁN M.I., VALENZUELA L., ZARZA E., *Thermal analysis of solar receiver pipes with superheated steam*, Applied Energy, 103, 2013, 73–84.
- [9] ROESLE A.M., GOOD A.P., COSKUN A.V., STEINFELD A., *Analysis of Conduction Heat Loss From a Parabolic Trough Solar Receiver with Active Vacuum by Direct Simulation Monte Carlo*, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology, 62, 5, 432–444.
- [10] YAN Y.J., LIU Q.B., XU D., JIN H.G., *Research on heat collecting method and performance of a new kind of parabolic trough collector tube*, Journal of Engineering Thermophysics, 34, 2013, 195–200.

- [11] YEN CHEAN S.T., REGANO B., *Enhancing heat transfer in air tubular absorbers for concentrated solar thermal applications*, Applied Thermal Engineering, 50, 2013, 1076–1083.
- [12] YOU A.C., ZHANG A.W., YIN Z., *Modeling of fluid flow and heat transfer in a trough solar collector*, Applied Thermal Engineering, 54, 2013, 247–254.

### TUBULAR SOLAR RECEIVERS

PTCs focus direct solar radiation onto a focal line on the collector axis. A receiver tube, with a fluid flowing inside that absorbs concentrated solar energy from the tube walls and raises its enthalpy, is installed in this focal line. The collector is provided with one-axis solar tracking to ensure that the solar beam falls parallel to its axis. PTCs can only use direct solar radiation, called beam radiation. PTC applications can be divided into two main groups. The first and most important is Concentrated Solar Power (CSP) plants. The other group of applications requires lower temperatures. These applications are mainly industrial process heat (IPH), low-temperature heat demand with high consumption rates (domestic hot water, DHW, space heating and swimming pool heating) and heat-driven refrigeration and cooling. The evacuated tube solar collectors (ETC) provide combined effects of a highly selective surface coating and vacuum insulation of the absorber element so that they can have high heat extraction efficiency compared with flat plate collectors. The evacuated solar collectors are widely used to supply the domestic hot water or heating, including heat pipe evacuated solar collectors and *U*-tube glass evacuated tube solar collectors. ETCs use liquid–vapor phase change materials to transfer heat at high efficiency. These collectors have a heat pipe placed inside a vacuum-sealed tube. The main part of this paper has been devoted to unique solution bifacial solar collector proposed by the author.

## ROZDZIAŁ XXXVIII

# ZAGADNIENIA TRANSPORTU I SKŁADOWANIA BIOMASY W ENERGETYCE ODNAWIALNEJ

Jan RZĄDKOWSKI\*, Lubov KIRYANOVA\*

Zadanie ograniczenia emisji dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych najłatwiej można spełnić tylko przez budowę instalacji spalających biomasę głównie w postaci peletów lub zrębków. Dostarczana do elektrociepłowni biomasa przechowywana jest w silosach magazynowych. W elektrowniach do transportu biomasy z silosów magazynowych do silosów podających pelety do młynów przy kotłach, używa się przenośników rurowych, tzw. tubulatorów, będących nowym rodzajem stalowych, budowlanych konstrukcji powłokowych. W trakcie magazynowania i transportu biomasy zmienia ona swoje własności fizyczne. Zarówno zasady projektowania przenośniki tubulatorowych, jak i zmiana własności przesyłanej nimi biomasy, są tematami nieznanymi w polskiej literaturze technicznej, co skutkuje częstymi awariami instalacji spalających biomasę. Niniejsza praca ma celu przedstawienie problemów technicznych i wyników badań ogółowi inżynierów zainteresowanych energetyką odnawialną.

Słowa kluczowe: *biomasa, przenośniki tubulatorowe, silosy stalowe*

## 1. BIOMASA

### 1.1. WPROWADZENIE

Zagrożenia, wynikające z obserwowanych obecnie zmian klimatycznych, skłoniły społeczność międzynarodową do przyjęcia „Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych dotyczącej Zmian Klimatycznych” w Rio de Janeiro w 1992 roku. Dokumentem uzupełniającym tego porozumienia był „Protokół z Kioto” podpisany w 1997 roku. Na mocy tego protokołu ratyfikujące go kraje zobowiązały się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (głównie CO<sub>2</sub>) średnio o 5,2% do 2012 roku, w stosunku do poziomu z 1999 roku, oraz do dalszej, stałej redukcji ich poziomu. Poziom redukcji emisji CO<sub>2</sub> dla krajów Unii Europejskiej ustalono na 8%. Na obecnym etapie rozwoju technologicznego techniki wytwarzania energii elektrycznej

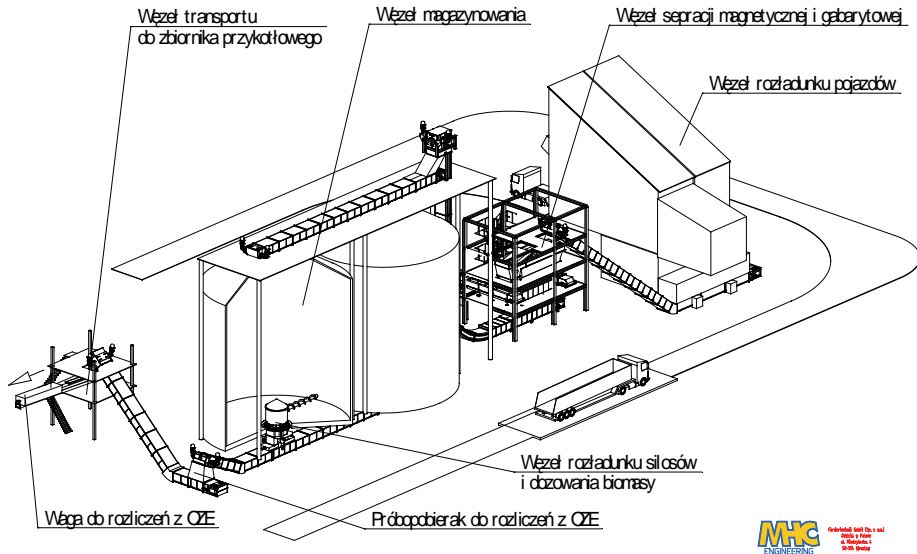
---

\* Instytut Budownictwa, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

zredukowanie emisji CO<sub>2</sub> zaplanowano przez budowę nowych elektrowni wodnych i wiatrowych, szersze wykorzystanie energii słonecznej, wód geotermalnych, oraz przez zaadoptowanie istniejących elektrociepłowni (EC) do spalania biomasy i bio-odpadów.

## 1.2. BIOMASA DO CELÓW ENERGETYCZNYCH

W energetyce przez biomasę rozumie się przetworzone odpady organiczne lub rośliny nadające się do spalania w celach produkcji energii. Odpady mogą być pochodzenia zwierzęcego lub roślinnego np.: odpady rzeźne przetworzone do postaci granulatu lub mączki mięsno-kostnej, odpady przemysłu drzewiarskiego, papierniczego, spożywczego etc., w postaci ścinków tartacznych, trocin, rozdrobnionej kory drzew, gałęzi, słomy, siana, makulatury, tkanin z włókien naturalnych, bądź też łupin, pestek, wytłoczek etc. Ostatnio coraz częściej uprawia się wyselekcjonowane rośliny z przeznaczeniem na biomasę, takie jak: jatrofa, rzepak, kukurydza, sorgo, słonecznik bulwiasty (topinambur), trawa pampasowa, wierzba energetyczna czy róża bezkolcowa. Z rozdrobnionej biomasy drzewnej dla celów energetycznych produkuje się tzw. zrębki, tj. ścinki drewna o wymiarze liniowym wzdłuż włókien 0,5–5,5 cm, oraz brykiety i pelety. Pelety uzyskuje się ze sprasowania pyłu drzewnego bądź roślinnego, zaś brykiety uzyskuje się ze sprasowania siczki roślinnej. Do produkcji brykietów używa się przede wszystkim biomasy leśnej i rolnej tj. słomy, siana itp., zaś do produkcji peletów używa się odpadów drewna liściastego i iglastego z dodatkiem klejów z mąki ziemniaczanej lub kukurydzianej, opadów ziarna kakaowego, czy fuzli z alkoholu. Geometrię brykietów i peletów określają przedmiotowe normy. Najczęściej używane przez duże elektrociepłownie pelety mają formę walców o średnicy 6–8 mm i długości 20–30 mm. Zalecana wilgotność peletów nie powinna przekraczać 8%. Sucha biomasa używana w energetyce nie może być przechowywana na składowiskach otwartych, gdyż bardzo chłonie wilgoć tracąc przy tym wartość opałową, zaś zawilgocona szybko ulega biodegradacji. Stosowane w elektrociepłowniach pelety lub brykiety są wytwarzane w niewielkich zakładach i są dowożone do EC najczęściej transportem samochodowym, rzadziej kolejną. Po zbadaniu wybranych własności dowiezionej biomasy następuje jej rozładunek, separacja gabarytowa (przesiewanie), separacja magnetyczna oraz przesłanie do silosów magazynowych (rys. 1). Z silosów magazynowych biomasa transportowana jest najczęściej przenośnikami tubulatorowymi do zbiorników przy młynach (tzw. przykotłowych), skąd podawana jest do kotłów. W przypadku spalania biomasy drzewnej jest dostarczana ona w postaci ścinków tartacznych, odpadów przemysłu meblarskiego etc. na plac rozładowczy. Następnie jest ona rozdrabniana do postaci zrębków (rys. 2) i poddawana separacji magnetycznej i gabarytowej. Często także poddawana jest suszeniu przegrzaną parą.



Rys. 1. Schemat typowego punktu początkowego linii spalania biomasy w postaci peletów, oprac. własne [1]



Rys. 2. Widok na halde biomasy drzewnej, rębak i halde zrębków na placu składowym, fot. J. Rządkowski

## 1.3. WŁASNOŚCI BIOMASY

Biomasa dostarczana do elektrociepłowni, lub w niej przetwarzana, ma specyfikowane poniżej w tabeli 1 charakterystyki termofizyczne [4]. Punkty rozładowcze i silosy magazynowe są usytuowane w istniejących elektrociepłowniach zazwyczaj na obrzeżach placów składowych węgla. Do odległych zwykle nawet o ok. 1000 m silosów przykotłowych biomasa podawana jest przenośnikami taśmowymi. Wskutek procesów przesypania, magazynowania i transportu przenośnikami biomasa kruszy się, zmienia swoją gęstość usypową oraz kąt tarcia wewnętrznego. Zmiany te powodują, że silosy oraz zbiorniki przykotłowe należy wymiarować według innych parametrów obliczeniowych niż specyfikowane przez producentów, bądź otrzymane z laboratorium określającego jej cechy na próbkach pobieranych w punkcie rozładowczym EC. Błędy w oszacowaniu obciążeń biomasą ścian silosów i zbiorników przykotłowych, na podstawie niewłaściwych jej parametrów, skutkują awariami (rys. 3) [5, 6].



Rys. 3. Awaria zbiornika przykotłowego wskutek niewłaściwego oszacowania obciążenia biomasą, fot. J. Rządowski

Wyniki badań własnych oraz koncernu EDF nad parametrami fizycznymi dla rozkruszonej oraz długo składowanych różnych gatunków biomasy używanej w dużych elektrociepłowniach zestawiono w tabeli 2 [6].

Tabela 1. Charakterystyki termofizyczne różnych gatunków biomasy, oprac. własne [4]

Parametry	Jednostka	Zrębki	Drewno w kawałkach	Pelety	Słoma
długość	[mm]	5–50	150–350	5–50	–
szerokość	[mm]	5–50	60–80	5–50	–
średnia wilgotność	[%]	20–60	20–30	7–12	10–17
wartość opałowa	[MJ/kg]	6–16	11–22	16,5–17,5	14,4–15,8
zawartość popiołów	[%] suchej masy	0,6–1,5	0,6–1,5	0,4–1,0	4
ciężar objętościowy	[kN/m <sup>3</sup> ]	0,15–0,4	380–640	650–700	90–165

Tabela 2. Zestawienie porównawcze parametrów fizycznych biomasy, oprac. własne [6]

Rodzaj biomasy	Ciężar objętościowy biomasy $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Iloraz naporu poziomego i pionowego $\lambda$	Współczynniki		Kąt stoku naturalnego biomasy $\varphi$ [°]
			tarcia o gładką ścianę silosu $\mu_3$	wzrostu naporu przy opróżnianiu $e_{h0}$	
Pelety drzewne	0,50–0,90	0,50–0,60	0,30	1,65	33,5–34,5
Pelety ze słomy	0,45–0,90	0,50–0,60	0,30	1,65	37,0–38,0
Pelety ze słonecznika	0,55–0,90	0,50–0,60	0,30	1,65	32,5–33,5
Pelety z otrąb zbożowych mix	0,50–0,60	0,50–0,60	0,30	1,60	39,5–40,5
Pelety z otrąb pszennych	0,35–0,50	0,45–0,55	0,30	1,60	38,5–39,5
Śruta rzepakowa	0,45–0,70	0,45–0,55	0,25	1,40	28,5
Śruta z oliwek	0,67–0,80	0,45–0,55	0,25	1,40	32,0
Zrębki leśne	0,30–0,50	0,50–0,55	0,30	1,40	0,40
Zrębki z wierzby energetycznej	0,30–0,45	0,50–0,55	0,30	1,40	0,40
Brykiet ze słomy	0,37–0,60	0,50–0,60	0,30	1,60	0,35
Brykiet drzewny	0,50–0,70	0,50–0,60	0,30	1,60	0,35

Wybuchowość jest jeszcze jedną ważną własnością biomasy mającą istotny wpływ na rozwiązania konstrukcyjne obiektów budowlanych w elektrociepłowniach. Pyły biomasy drzewnej są materiałem bardziej wybuchowym, niż pyły z węgla brunatnego i kamiennego (tabela 3).



Tabela 3. Zestawienie porównawcze parametrów wybuchowości paliw stałych, oprac. własne [2]

Składowane w zamkniętej przestrzeni paliwo stałe	Maksymalny przyrost ciśnienia $K_{ST}$ [bar m/s]	Maksymalne nadciśnienie wybuchu $p_{max}$ [bar]
Węgiel kamienny	130	9
Węgiel brunatny	180	10
Biomasa drzewna	220	10

Parametry pyłów z biomasy nieleśnej w bardzo dużej mierze zależą od proporcji składników wyjściowych użytych przez producenta. Dlatego też, gdy projektant nie dysponuje dokładnymi, ustalonymi doświadczalnie parametrami, należy przyjmować, że minimalne stężenie wybuchowe wynosi 20 g jej pyłu znajdującego się w 1 m<sup>3</sup> powietrza. Natomiast w przypadku pyłów z biomasy drzewnej wynosi 35 g/m<sup>3</sup>. Temperatura samozapłonu biomasy drzewnej w warstwie wynosi 260 °C, zaś w obłoku pyłowym 470 °C. Biomasa nieleśna w warstwie może ulec samozapłonowi w temperaturze 220 °C, a w obłoku pyłowym w temperaturze 400 °C [2].

## 2. WPLYW WŁASNOŚCI BIOMASY NA KSZTAŁTOWANIE KONSTRUKCJI

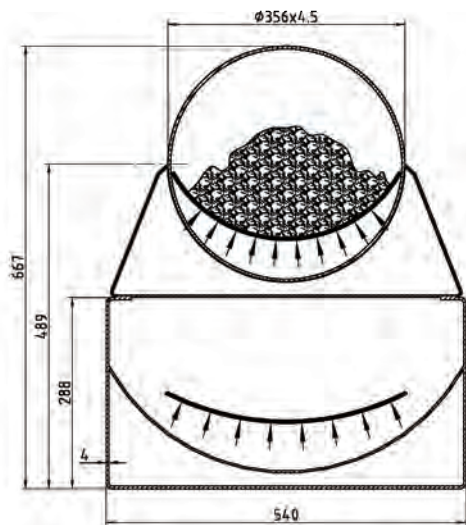
### 2.1. WPLYW WŁASNOŚCI BIOMASY NA KSZTAŁTOWANIE KONSTRUKCJI DO JEJ TRANSPORTU WEWNĄTRZ ELEKTROCIĘPŁOWNI

Biomasę zatem należy chronić przed warunkami atmosferycznymi, gdyż wskutek wilgoci ulega szybko biodegradacji. Stalowe konstrukcje tradycyjnych przenośników taśmowych, w których taśma zbrojona drutami stalowymi gumowa taśma porusza się na stalowych rolkach, zwykle nie zapewniają biomase niezbędnej ochrony przed wilgocią, a są zbyt ciężkie oraz zbyt energochłonne, a więc nieopłacalne w zastosowaniu. Ponadto pyły biomasy są silnie wybuchowe i mogłyby ulec zapłonowi np. przy zatarciu się rolki tradycyjnego przenośnika taśmowego. Tradycyjne przenośniki taśmowe wykorzystywane są zatem tylko w elektrociepłowniach spalających wilgotną biomasę (rys. 4).

Przenośniki tubulatorowe są nowymi konstrukcjami budowlanymi powstałymi specjalnie dla transport suchej i lekkiej biomasy, w których parciana taśma, transportująca pelety lub zrębki, przesuwana jest na poduszce sprężonego powietrza wewnątrz cienkościennej powłoki stalowej. W przypadku wystąpienia tarcia takiej taśmy o powłokę stalową nie rozgrzewa się ona oraz nie iskrzy, co eliminuje niebezpieczeństwo wybuchu. Sprężone powietrze do wnętrza tubulatora tłoczony jest niewielkimi wentylatorami mocowanymi do powłoki. W górnej komorze tubulatora jest transportowana na taśmie biomasa, zaś w dolnej komorze następuje powrót pustej taśmy (rys. 5) [4].



Rys. 4. Przestrzenna kratowa konstrukcja estakady z tradycyjnym przenośnikiem taśmowym biomasy, fot. J. Rządkowski



Rys. 5. Przekrój poprzeczny typowego przenośnika tubulatorowego biomasy, oprac. własne [4]

Obudowa komór tubulatora ma stosunkowo dużą sztywność i może przenosić obciążenia od ciężaru własnego, transportowanego materiału, oraz od obciążeń środowiskowych takich jak wiatr i oblodzenie. Pod względem statycznym przenośnik tubulatorowy jest cienkościenną ciągłą belką stalową, o nieprzesuwnych skrajnych

podporach i przegubowych podporach pośrednich tworzących wielocięgnowy ustrój wieszarowy. Ze względów montażowych belka składa się z segmentów scalanych za pośrednictwem połączeń kołnierzowych. Kąt nachylenia belki tubulatora względem poziomu dobiera się tak, aby był on mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego biomasy. Ze względu na pochylenie belki jest ona również ściskana oprócz dwukierunkowego zginania w osiach głównych przekroju. Przy projektowaniu belki tubulatora ilość oraz rozmieszczenie cięgien wieszaków, jak również kształt podpór, dobiera się tak, aby ograniczyć ugięcia pionowe i poziome belki do wartości dopuszczalnej podanej przez producenta. Ma to na celu zapobieżenie zużyciu się taśmy wskutek tarcia jej krawędzi o powierzchnię wewnętrzną ścianek komór. Również dobór odpowiedniej rozpiętości przęseł belki tubulatora oraz ilości i rozmieszczenie cięgien dla ustalonego z warunków technologicznych przekroju belki, ma na celu zapobieżeniu nadmiernym ugięciom oraz niepożądanym zjawiskom takim jak utrata stateczności ogólnej belki oraz lokalnej utracie stateczności powłoki belki (rys. 5) [4].

## 2.2. WPLYW WŁASNOŚCI BIOMASY NA KSZTAŁTOWANIE SILOSÓW

Zmienne własności biomasy energetycznej spowodowały również na istotne zmiany w kształcie silosów oraz w technologii jej magazynowania. Ze względu na rozkruszanie się peletów, skutkujące zwiększeniem wartości kąta tarcia wewnętrznego, biomasa ma tendencje do formowania tzw. przesklepień na styku płaszcza i leja silosu. Załamywanie się przesklepień powoduje znaczne obciążenie dynamiczne leja i płaszcza, często prowadzące do awarii. Skutkiem tego zjawiska jest powszechne stosowanie do przechowywania biomasy energetycznej silosów z płaskim dnem oraz ze wspomaganiami wypływu materiału energetycznego przez specjalne wygarniaki. Stosowanie maszyn wspomagających wypływ biomasy wymaga z kolei zaprojektowania specjalnych otworów w płaszczu przy dnie silosu, umożliwiających remonty oraz wymianę wygarniaków (rys. 6).

Na silosie obecnie umieszcza się urządzenia do suszenia biomasy przegrzaną parą lub gorącymi spalinami, co zapobiega zawilgotnieniu i powstrzymuje proces zbrylania się biomasy. W związku z tym powierzchnię powłok silosu izoluje się wełną mineralną oraz na niej wykonuje się okładzinę z cienkich blach.

Trzecim czynnikiem mającym wpływ na kształtowanie silosów na biomasę jest jej wybuchowość [2]. Pojawiające się w chwili wybuchu pyłu biomasy nadciśnienie rzędu 150–200 kPa musi zostać przejęte przez klapy bezpieczeństwa o odpowiednio dobranej powierzchni w zależności od powierzchni przekroju poprzecznego komory. Ponieważ siła i gwałtowność wybuchu pyłów zależy m. in. od objętości mieszanki powietrzno-pyłowej, zmniejsza się kształt górnej części silosu nadając mu formę ściętego stożka, na którego poboczniczy umieszcza się klapy bezpieczeństwa. Takie rozwiązanie konstrukcyjne zmniejsza również skutki ewentualnych zniszczeń od obciążeń spowodowanych wybuchem w porównaniu do silosu z dachem płaskim. Przy

projektowaniu konstrukcję powłok silosu należy zwymiarować zarówno na nadciśnienie spowodowane wybuchem, jak i na występujące po nim podciśnienie w komorze silosu wynoszące do 60–70% ciśnienia atmosferycznego [2].



Rys. 5. Wielocięgnowa konstrukcja wieszarowa typowego przenośnika tubulatorowego biomasy, fot. J. Rządkowski



Rys. 6. Przykład współczesnego rozwiązania konstrukcyjnego stalowego silosu na biomase, fot. J. Rządkowski

### 3. UWAGI KOŃCOWE

Przenośniki tubulatorowe i silosy mają cechy zarówno urządzeń mechanicznych jak i inżynierskich konstrukcji budowlanych. Sprawiają one wiele kłopotów projektantom ze względu na interdyscyplinarność zagadnień technicznych oraz niezrozumiałość aktualnych regulacji prawnych. Zagadnienia z wybuchowością w silosach dotychczas stanowiły domenę mechaników. Obecnie, zgodnie z aktualnym prawem budowlanym, obciążenia przy wybuchu pyłów biomasy muszą być również uwzględniane przez konstruktorów budowlanych. Stwarza to sytuację, że dane niezbędne do analiz statyczno-wytrzymałościowych silosów są rozproszone. Częstokroć dane odnośnie podstawowych obciążeń od biomasy, zawarte w przedmiotowych normach projektowych, różnią się od parametrów podanych w tabeli 2 niniejszej publikacji, a ustalonych na drodze badań próbek biomasy z silosów trzykotłowych przez koncern EDF.

Również wiele sporów prawnych powoduje zakwalifikowanie silosów i przenośników tubulatorowych na etapie projektu budowlanego, jako elementów wyposażenia technologicznego elektrociepłowni. Zgodnie z aktualną interpretacją prawa budowlanego obiekty te są budowlanymi konstrukcjami inżynierskimi wymagającymi pozwolenia na budowę, co nie jest obowiązkowe dla wyposażenia technologicznego. Wielokrotnie spory prawne pojawiają się już na etapie rozruchu próbnego instalacji spalania biomasy, gdy nie jest dotrzymany termin lub gdy zaistnieje awaria takiego obiektu. Instytucje ubezpieczające inwestycję, wykorzystując nieprecyzyjne zapisy w umowie, odmawiają wypłacenia odszkodowań. Również inwestor nie można uzyskać odszkodowania z Izby Inżynierów Budownictwa w przypadku, gdy straty są spowodowane przez „wyposażenie technologiczne”.

#### LITERATURA

- [1] MHC Engineering, *Dokumentacja projektowa dla linii biomasy EC Wrocław*, archiwum biura, 2009.
- [2] PRUSIEL A.J., ŁAPKO A., *Przeciwdziałanie wybuchom pyłów materiałów sypkich składowanych w silosach*, Inżynier Budownictwa, nr 2 (92), 2012, 68–71.
- [3] RZĄDKOWSKA A., RZĄDKOWSKI J., *Niektóre aspekty polskiej polityki w zakresie energetyki odnawialnej*, II Międzynarodowa Konferencja SOLINA 2008 „Energia odnawialna. Innowacyjne Rozwiązania. Materiały i Technologie dla Budownictwa”, Rzeszów, Solina, 28–31 maja 2008, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, z. 47 (5/2008).
- [4] RZĄDKOWSKI J., JAROSZ P., *Wybrane problemy projektowe przenośników biomasy dla energetyki odnawialnej*, II Międzynarodowa Konferencja SOLINA 2008 „Energia odnawialna. Innowacyjne Rozwiązania. Materiały i Technologie dla Budownictwa”, Rzeszów, Solina, maj 2008, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, z. 47 (5/2008).
- [5] RZĄDKOWSKI J., *Ekspertyza stanu zbiornika peletu Z1w EC3 Łódź i określenie przyczyn awarii*, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport U10/2012, Wrocław, luty–marzec 2012.
- [6] RZĄDKOWSKI J., *Ekspertyza stanu zbiornika  $V = 300 \text{ m}^3$  w Kogeneracji Wrocław i określenie przyczyn awarii*, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej Raport U53/2012, Wrocław, październik 2011.

#### BIOMAS TRANSPORT AND BULK STORAGE PROBLEMS IN GREEN POWER ENGINEERING

The green energy production process results in many new problems in applying a biomass. The biomass properties such as explosiveness and changeability of physical features during the transport and storage processes cause significant changes in technical solutions of the conveyors and silo structures. In the paper are given results of the crumbled biomass physical parameters investigations. The new kind of the tubular pneumatic band conveyor, so called tubulator, and the new solution of a steel silo, designed especially for biomass are presented.

## ROZDZIAŁ XXXIX

# AKTUALNE KIERUNKI WSPARCIA FINANSOWANIA INWESTYCJI W ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII PRZEZ WSPÓŁCZESNE BANKI

Justyna ZABAWA\*

Jednym z ważniejszych tematów poruszanych we współczesnych środkach masowego przekazu, debatach różnych środowisk, zarówno w krajach Unii Europejskiej, jak i tych, które nie zostały włączone w jej struktury, stanowią bez wątpienia odnawialne źródła energii (OZE). Ogłoszona w 2010 roku przez Komisję Europejską strategia „Europa 2020”. Strategia na rzecz inteligentnego, zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu” w istotny sposób warunkuje przyszłość inwestycji w odnawialne źródła energii. Już sama nazwa dokumentu wskazuje, iż regulacje właśnie w obszarze ochrony środowiska, w tym również w zakresie odnawialnych źródeł energii, traktowane będą w sposób priorytetowy. Rozwój OZE uwarunkowany jest bez wątpienia istnieniem programów wsparcia finansowania tego typu, często bardzo kosztownych, inwestycji. Stąd też celem niniejszego artykułu jest przedstawienie obecnych tendencji w zakresie wsparcia finansowania inwestycji w OZE. Zaprezentowano w nim uwarunkowania rozwoju OZE we współczesnych gospodarkach, zasadność wsparcia finansowania tego rodzaju projektów, jak również formy wsparcia finansowania inwestycji w OZE przez współczesne instytucje bankowe. Ponadto przedstawiono jeden z przykładowych programów wsparcia, jakim jest program dopłat Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na częściowe spłaty kapitału kredytów bankowych na zakup i montaż kolektorów słonecznych. Wskazano również na czynniki warunkujące przyszłość tego typu inwestycji. Niniejszy artykuł powstał na bazie doświadczeń zgromadzonych podczas stażu naukowego „Zielony Transfer”, finansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Słowa kluczowe: *odnawialne źródła energii, bank, finansowanie inwestycji*

### 1. DETERMINANTY ROZWOJU ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Obecnie można zaobserwować, że na skutek niezwykle intensywnego rozwoju społeczno-gospodarczego cywilizacji współczesny człowiek na szeroką skalę wyko-

---

\* Katedra Bankowości, Wydział Zarządzania, Informatyki i Finansów, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław.

rzystuje użyteczne nośniki energii, czyli energię mechaniczną, ciepłą i elektryczną. Przy czym użyteczne formy energii uzyskiwane są na skutek przetwarzania energii pierwotnej w energię wtórną. Zatem źródła energii pierwotnej pozostającej do dyspozycji człowieka można podzielić na [6]:

- źródła nieodnawialne: do tej grupy należą surowce kopalne, a więc węgiel kamienny i brunatny, torf, ropa, naftowa, gaz ziemny, uran,
- źródła odnawialne (alternatywne): energia promieniowania słonecznego, energia spadku wód, energia prądów morskich i pływów, energia wiatru, energia geotermalna, energia z biomasy i biogazu wysypiskowego, jak również biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania albo z rozkładu składowych szczątków roślinnych i zwierzęcych.

Na przestrzeni wieków, w procesie rozwoju cywilizacji, zaznaczały się okresy dominacji określonych źródeł energii. Jednak we współczesnych gospodarkach to właśnie odnawialne źródła energii stanowią niezwykle popularny rodzaj energii pierwotnej. Fakt ten wynika zarówno z czynników o charakterze społecznym, jak i ekonomicznym. Wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych we współczesnej gospodarce wynika także, a niekiedy przede wszystkim, z konieczności podyktowanej permanentnie malejącymi zasobami tradycyjnych, nieodnawialnych źródeł energii. Na skutek zastosowania urządzeń wykorzystujących energię odnawialną można w znacznym stopniu ograniczyć zużycie energii pozyskiwanej z paliw kopalnych [3]. Obecnie alternatywne źródła zaspokajają około 8% światowego zużycia energii. Przy czym najintensywniej wykorzystywanym odnawialnym źródłem energii jest energia grawitacyjna wody. W 2012 roku odpowiadała ona za 75% energii z odnawialnych źródeł. Kolejne źródła to energia wiatru (11%), energia geotermalna (6%), biomasa i biopaliwa (5,5%) oraz energia słoneczna (2%) [10]. W Polsce odnawialne źródła energii zaspokajają około 4% zapotrzebowania na energię. Głównymi źródłami są: biomasa (2%), wiatr (1,1%) oraz hydroenergetyka (0,5%).

Od początku XXI wieku światowe inwestycje w odnawialne źródła energii rosną w bardzo szybkim tempie. Jest to spowodowane z jednej strony spadkiem ich cen, a z drugiej strony dopłatami wprowadzanymi przez wiele państw. Inwestycje te są przedmiotem toczącej się debaty. Zwolennicy odnawialnych źródeł energii wskazują na problemy związane ze spalaniem paliw kopalnych, które stanowią źródło ponad 85% energii dla ludzkości: zanieczyszczenie środowiska, globalne ocieplenie i wyczerpywanie się zasobów. Zatem wykorzystanie OZE we współczesnych gospodarkach posiada szereg zalet, wśród których można wymienić m.in. [2]:

- impuls do rozwoju lokalnego,
- zmiana przepływów strumieni płatności za energię,
- niższe koszty eksploatacji,
- możliwość pozyskania funduszy zewnętrznych,
- zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery,
- promocja regionu w kraju i zagranicą.

Należy również wskazać, iż odnawialne źródła energii mogą być obciążone wadami. Przeciwnicy wskazują m.in. na wysokie koszty inwestycji w OZE, konieczność wspierania elektrowni wiatrowych i słonecznych przez tradycyjne elektrownie oraz wątpliwy wpływ na zużycie paliw kopalnych. Dodatkowo wytwarzanie energii elektrycznej z OZE jest w dużym stopniu nieprzewidywalne. Można również wskazać na wady np. elektrowni wodnych, a wśród nich: zatopienie pewnej powierzchni terenu, potencjalną konieczność wysiedlenia określonej liczby ludności czy też znaczące zaburzenia drogi wodnej. Rozwój energetyki odnawialnej wzbudza szereg kontrowersji. Jednak wady te mają znikomą wagę w porównaniu do korzyści, jakie niesie za sobą efektywne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii we współczesnych gospodarkach.

## 2. ZASADNOŚĆ WSPARCIA FINANSOWANIE INWESTYCJI W OZE

Obecnie można zaobserwować zainteresowanie zarówno ze strony osób fizycznych, jak i prawnych różnymi formami wsparcia finansowania inwestycji w zakresie odnawialnych źródeł energii, w tym również projektami wykorzystującymi środki unijne. Ponadto w przypadku odnawialnych źródeł energii istnieje obecnie potrzeba nieustannego społecznego poparcia, która znajduje odzwierciedlenie w wytycznych Unii Europejskiej dotyczących zakresu pomocy państwa w dziedzinie ochrony środowiska [2].

Polska jest jednym z większych beneficjentów unijnych funduszy w ramach prowadzonej przez Unię Europejską polityki spójności od czasu wstąpienia w struktury Unii Europejskiej. Wynika to z faktu, że zgodnie z unijnym pakietem klimatyczno-energetycznym kraje członkowskie do 2020 roku muszą zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu do roku 1990. Oczekiwane jest zatem nieustanne wspieranie zarówno osób fizycznych jak i podmiotów gospodarczych w realizacji inwestycji promujących rozwiązania ekologiczne. Najlepszym sposobem na wspieranie tego typu inwestycji są programy wsparcia finansowania inwestycji, które realizowane są przy współudziale współczesnych instytucji bankowych.

Zatem nie można wspomnieć o nie tylko znaczącej, ale i koniecznej roli instytucji kredytowych w procesie finansowania. Ta istotna rola przypisana właśnie bankom wynika z dwóch zasadniczych grup przesłanek ekologicznej orientacji instytucji kredytowych [1]:

- globalne trendy rozwoju systemu społeczno-gospodarczo-środowiskowego, które w sposób obiektywny i naturalny wymuszają ekologizację współczesnych banków,
- korzyści, które są następstwem postulowanej i/lub rzeczywistej ekologizacji banków.

Należy również podkreślić, że zastosowanie nowych, energooszczędnych technologii na skutek skorzystania z programów wsparcia finansowania inwestycji w OZE,



może zmniejszyć koszty energii nawet o 30%. Oszczędności te przyczyniają się do wzrostu zysków odnotowywanych przez podmioty gospodarcze, podnoszą ich konkurencyjność, jak również przyczyniają się do wzrostu jakości produkcji oraz mocy produkcyjnych.

Szereg krajów Unii Europejskiej od wielu lat implementuje zarówno odpowiednie instrumenty o charakterze prawno-administracyjnym, jak również rozwiązania systemowe, które stanowią mechanizmy wsparcia rozwoju odnawialnych źródeł energii. Owe rozwiązania można przyporządkować do trzech następujących grup: finansowe, administracyjne oraz sieciowe [8].

1) Instrumenty finansowe:

- a) dotacje oraz subwencje do inwestycji,
- b) preferencyjne oraz niskooprocentowane kredyty bankowe,
- c) systemy wsparcia zakupu energii ze źródeł odnawialnych, w tym: stała cena zakupu (cena gwarantowana), zielone certyfikaty,
- d) wsparcie fiskalne: ulgi podatkowe, zwolnienia z podatku ekologicznego, niższe stawki podatku VAT, zwolnienia z podatku akcyzowego.

2) Instrumenty administracyjne:

- a) ilościowy obowiązek zakupu energii ze źródeł odnawialnych,
- b) obowiązek zapewnienia pierwszeństwa w świadczeniu usług przesyłowych energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w krajowym systemie elektroenergetycznym,
- c) wydawanie świadectw pochodzenia energii odnawialnej wraz z przysługującymi im prawami majątkowymi.

3) Instrumenty sieciowe:

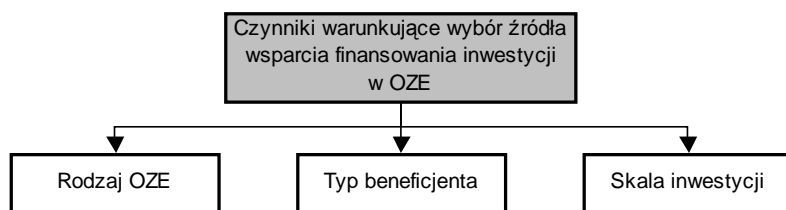
- a) określanie uzasadnionych kosztów korzystania z sieci przesyłowych,
- b) przejrzystość cen dostępu do sieci,
- c) dopłaty do koniecznych modernizacji już istniejących sieci,
- d) współfinansowanie wykonanie przyłącza do sieci.

Wydaje się jednak, że to właśnie mechanizmy finansowe najefektywniej warunkują rozwój inwestycji w odnawialne źródła energii. Jak już uprzednio zaznaczono projekty te wymagają bardzo dużych nakładów finansowych. Zatem koszty projektu związanego z OZE stanowią znaczące obciążenie zarówno dla budżetów domowych, jak i budżetów przedsiębiorstw z sektora MSP oraz dużych korporacji. Stąd też tak duże znaczenie programów dopłat na realizację tego typu inwestycji. Przy czym realizacja owych programów dopłat w znaczącej większości odbywa się przy współudziale banków jako instytucji zaufania publicznego. Celem finansowania przedsięwzięć o charakterze proekologicznym, a więc w tym również w OZE, dana instytucja kredytowa podejmuje w niektórych przypadkach współpracę z zagranicznymi instytucjami finansowymi [9]. O rosnącym znaczeniu inwestycji w OZE dla współczesnych banków świadczy tworzenie produktów dedykowanych tym właśnie przedsięwzięciom. Środki finansowe przewidziane na wsparcie projektów realizowanych z wykorzystaniem

odnawialnych źródeł energii udzielane są najczęściej w formie długoterminowych kredytów inwestycyjnych, z negocjowanym okresem kredytowania, zgodnie z potrzebami inwestora, wynikającymi m.in. z założeń biznes planu przedsięwzięcia.

### 3. FORMY WSPARCIA FINANSOWANIA INWESTYCJI W OZE

Niewątpliwie wybór źródła wsparcia finansowania inwestycji w zakresie odnawialnych źródeł energii uzależniony jest od szeregu czynników (rys. 1). Wśród tych determinantów można wskazać na trzy główne grupy: rodzaj odnawialnego źródła energii, typ beneficjenta, jak również skalę inwestycji. Zatem możliwość skorzystania z obecnie obowiązujących programów wsparcia finansowania inwestycji w OZE uzależniona jest od rodzaju adresata programu, wielkości planowanej inwestycji (tj. wysokości planowanych kosztów związanych z realizacją danej inwestycji) oraz rodzaju odnawialnego źródła energii związanego z daną inwestycją.



Rys. 1. Czynniki warunkujące wybór źródła wsparcia finansowania inwestycji w zakresie OZE, oprac. własne

W przypadku rodzaju OZE można wskazać na urządzenia wykorzystujące dostępne rodzaje odnawialnych źródeł energii, w tym m.in.: wiatr, woda, energia słońca, energia geotermalna, biomasa czy też biogaz. Typ beneficjenta, czyli przynależność do jednej z trzech grup: osoby fizyczne, osoby prawne oraz jednostki samorządu terytorialnego. Natomiast skala inwestycji wynika z rzędu wielkości planowanych nakładów finansowych: kilka tysięcy PLN, kilkadziesiąt tysięcy PLN, czy też kilka do kilkadziesiąt milionów PLN.

Środki finansowe, które są przeznaczone na finansowe wsparcie inwestycji w OZE, mogą zostać przyznawane w różnych formach, jak np. dotacja, kredyty bankowe, dopłata do oprocentowania lub raty kapitału kredytu bankowego. Ponadto mogą one być przyznawane zarówno na szczeblu centralnym jak i regionalnym. Na szczeblu centralnym są to środki finansowe pochodzące z Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa czy też Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Natomiast na szczeblu regionalnym środki te mogą pochodzić z Regionalnych Programów Operacyjnych, Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich czy też Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Kolejny podział

przyznanych środków finansowych odnosi się do źródeł krajowych i zagranicznych. Jako krajowe środki finansowe można w tym miejscu wymienić m.in. Agencje Rozwoju Regionalnego, Bank Ochrony Środowiska S.A., Bank Gospodarstwa Krajowego oraz NFOŚiGW. Natomiast wśród źródeł zagranicznych można wymieć m.in.: PolSEFF – Programem Finansowania Rozwoju Energii Zrównoważonej w Polsce, Mechanizm Finansowy EOG oraz Norweski Mechanizm Finansowy, jak również Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko. Jako przykład programu, gdzie środki pochodzą ze źródeł krajowych, można wskazać na Program Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki dla przedsięwzięć z zakresu odnawialnych źródeł energii i obiektów wysokosprawnej kogeneracji, który szerzej zostanie przedstawiony w kolejnej części artykułu.

#### 4. PROGRAM DOPLAT NFOŚiGW NA ZAKUP I MONTAŻ KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Jako przykład środków pochodzących z funduszy ekologicznych można wymienić wspomniany Program Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki dla przedsięwzięć z zakresu odnawialnych źródeł energii i obiektów wysokosprawnej kogeneracji [11]. Część trzecia programu odnosi się do dopłat na częściowe spłaty kapitału kredytów bankowych przeznaczonych na zakup i montaż kolektorów słonecznych dla wspólnot mieszkaniowych i osób fizycznych. Celem programu jest ograniczenie lub uniknięcie emisji CO<sub>2</sub> poprzez zwiększenie produkcji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych. Początkowo budżet programu na lata 2010–2014 wynosił 300 mln zł, odpowiednio na lata: 2010–2012 – 200 mln zł oraz 2013–2014 – 100 mln zł.

Należy zaznaczyć, że program cieszył się tak dużą popularnością, iż w roku 2012 fundusz podjął decyzję o zwiększeniu całkowitego budżetu programu do kwoty 450 mln zł. Przedmiot kredytowania stanowi zakup i montaż kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użytkowej albo do ogrzewania wody użytkowej i wspomagania zasilania w energię innych odbiorników ciepła w budynkach, przeznaczonych lub wykorzystywanych na cele mieszkaniowe. Zgodnie z założeniami programu wydatkowanie środków nastąpi do końca 2015 roku. Nabór wniosków o dotację NFOŚiGW wraz z wnioskami o kredyt prowadzony jest w trybie ciągłym. Składanie wniosków odbywa się w tych instytucjach bankowych, które zawarły umowę o współpracy z NFOŚiGW, a ich wykaz publikowany jest na stronie internetowej funduszu. Podstawą prawną udzielonego dofinansowania stanowi ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska.

W ramach programu możliwym jest sfinansowanie kosztów niezbędnych do realizacji danego przedsięwzięcia, w tym m.in.:

1. Koszt projektu budowlano-wykonawczego rozwiązania technologicznego, który dotyczy montażu instalacji kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użyt-

- kowej lub też do ogrzewania wody użytkowej i wspomaganie zasilania w energię innych odbiorników ciepła.
2. Kosztu projektu instalacji kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użytkowej albo do ogrzewania wody użytkowej i wspomaganie zasilania w energię innych odbiorników ciepła.
  3. Koszt nabycia nowych instalacji kolektorów słonecznych, w tym: kolektora słonecznego, zasobnika, przewodów instalacyjnych, aparatury kontrolno-pomiarowej i automatyki.
  4. Koszt zakupu ciepłomierza spełniającego normy PN EN 1434, który wymagany dla wspólnot mieszkaniowych.
  5. Koszt montażu instalacji kolektorów słonecznych,
  6. Pozostałych materiałów i urządzeń, jeśli projektant sporządzający projekt instalacji kolektorów słonecznych uzna je za wskazane do prawidłowej pracy całej inwestycji.

Obecnie w zakresie dotacji na częściowe spłaty kapitałów kredytów bankowych, z Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej współpracują następujące banki:

- Bank Ochrony Środowiska S.A.,
- Bank Polskiej Spółdzielczości S.A. oraz zrzeszone banki spółdzielcze,
- Gospodarczy Bank Wielkopolski S.A. oraz zrzeszone banki spółdzielcze,
- Krakowski Bank Spółdzielczy,
- Warszawski Bank Spółdzielczy.

Credit Agricole Bank Polska S.A. pomimo podpisania umowy z NFOŚiGW obecnie nie uczestniczy z realizacją programu.

Tabela 1. Statystyka z wniosków o dotację złożonych w NFOŚiGW, stan na czerwiec 2013 r., oprac. własne na podstawie [11]

Cecha	Średnio	Razem
Powierzchnia zainstalowanych kolektorów ( w m <sup>2</sup> )	6,70	280 711,15
– w tym dla wspólnot mieszkaniowych	48,06	1633,87
Okres kredytowania (miesiące)	35,9	–
Prowizja od udzielenia kredytu (w %)	3,11	–
Oprocentowanie kredytu (w %)	9,69	–
Wysokość kredytu na koszty kwalifikowane (zł)	14 820	621 127 198
– w tym dla wspólnot mieszkaniowych	102 752	3 493 562
Wysokość dopłaty do kredytu (zł)	6669	279 505 785
– w tym dla wspólnot mieszkaniowych	46 238	1572 103
Jednostkowy koszt kwalifikowany (zł/m <sup>2</sup> )	2 256	–

Średnia wysokość dotacji uzyskana na zestaw kolektorowy wynosi ponad 6,7 tys. zł, przy czym dla wspólnot mieszkaniowych: 46,2 tys. zł. Średni koszt zakwalifikowany do dofinansowania to 14,8 tys. zł na zestaw, dla wspólnot mieszkaniowych:

102,8 tys. zł. Do tej pory wypłacono dopłatę 39 577 beneficjentom, w łącznej wysokości 264 497 tys. zł, w tym 34 wspólnotom mieszkaniowym na kwotę dopłaty 1572 tys. zł. Średni jednostkowy koszt dofinansowania dla 1 m<sup>2</sup> kolektorów wyniósł 2,26 tys. zł. Najczęściej beneficjenci instalują po trzy kolektory na budynek, a średnia zamawiana powierzchnia kolektorów: 6,70 m<sup>2</sup>. Do czerwca 2013 roku przekazano przez banki do NFOŚiGW 41 912 wniosków o przekazanie dotacji na łączną kwotę 279 506 tys. zł. Szerszą statystykę z wniosków o dotację złożonych w NFOŚiGW przedstawiono w tab. 1, wg stanu na czerwiec 2013 roku.

## 5. PRZYSZŁOŚĆ INWESTYCJI W OZE

Od początku XXI wieku rynek energetyki odnawialnej zaczął ulegać znacznym zmianom oraz dywersyfikacji. Wówczas zaczęły się pojawiać nowe, przyszłościowe, innowacyjne technologie oraz tzw. niezależni producenci energii, a wśród nich: gospodarstwa domowe oraz firmy spoza tradycyjnej energetyki. W przypadku technologii, które zaczęły się pojawiać można wskazać m.in. na: termiczne kolektory słoneczne, zarówno do podgrzewania wody użytkowej, w tym również obecnie do ogrzewania, lądowe farmy wiatrowe, jak również biogazownie rolnicze. Przyjęta w 2009 roku „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” wskazała na cele, jakim jest 15% udział OZE w 2020 roku. Cel ten jest zbieżny z dyrektywą unijną 2009/28/WE. Polityka energetyczna kraju przewiduje stopniową dywersyfikacją sektora energetyki odnawialnej w latach 2010–2020. Najszybsze roczne tempo wzrostu w tych latach rząd przewiduje w zakresie technologii: biogaz, energetyka wiatrowa, energetyka słoneczna. W latach 2010–2015 znaczące tempo wzrostu zostało przypisane do takich technologii, jak biogaz rolniczy oraz technika wiatrowa. Natomiast w drugiej dekadzie przede wszystkim będzie to energetyka słoneczna oraz biogaz i energetyka wiatrowa. W związku z faktem, iż Unia Europejska podejmuje radykalne czynności w zakresie redukcji gazów cieplarnianych, w szczególności CO<sup>2</sup>, w 2008 roku został podpisany pakiet klimatyczno-energetyczny. Jego założenia, które mają obowiązywać w latach 2013–2020, dotyczą realizacji trzech podstawowych celów [7]:

- Osiągnięcie do 2020 r. przynajmniej 20% udziału odnawialnych źródeł energii w ogólnym zużyciu energii pierwotnej Unii Europejskiej w porównaniu z 6,5% obecnie.
- Obniżenie o 20% emisji gazów cieplarnianych do 2020 roku w porównaniu ze stanem z 1990 roku.
- Wzrost o 20% efektywności wykorzystania energii w porównaniu z prognozami na rok 2020.

Stąd też tak można prognozować, że również w najbliższych latach zapotrzebowanie na programy wsparcia finansowania inwestycji w OZE nie tylko nie ulegnie zmniejszeniu, ale wzrastać będzie jeszcze w szybszym tempie niż do dotychczas. Po-

nadto analizując przyszłość inwestycji w OZE należy zwrócić uwagę na fakt, że jest ona związana z popularyzacją oraz implementacją w kolejnych podmiotach gospodarczych koncepcji CSR, czyli społecznej odpowiedzialności biznesu. Za L. Dziawgo [4] można przyjąć, że jest to taki sposób prowadzenia komercyjnej działalności przez dany podmiot gospodarczy, w której to dobrowolnie uwzględniane są aspekty etyczne, społeczne, jak również ekologiczne w relacjach z interesariuszami organizacji: klientami, pracownikami, a także inwestorami. Zatem należy zauważyć, że w ramach tych działań uwzględnione są również aspekty ekologiczne. To właśnie one na coraz szerszą skalę stanowią przejaw realizacji idei CSR przez przedsiębiorców. Owa odpowiedzialność ekologiczna, nazywana również środowiskową, stanowi szczególnie rodzaj odpowiedzialności etycznej, wzbogacony o następujące aspekty: prawny, ekonomiczny oraz strategiczno-organizacyjny [5]. Wszystkie one są powiązane z wartością poszanowania otoczenia przyrodniczego, w jakim funkcjonuje współczesna jednostka. Zatem jest ona zbieżna z zasadą zrównoważonego rozwoju gospodarczego. Stąd też tak istotny udział koncepcji CSR w kształtowaniu przyszłości inwestycji w odnawialne źródła energii.

## 6. PODSUMOWANIE

Obecnie trudno przecenić rolę i znaczenie odnawialnych źródeł energii we współczesnych gospodarkach. Jednak ze względu na dużą kosztowność inwestycji w OZE istnieje potrzeba implementacji programów wsparcia finansowania tego typu projektów, zarówno dla osób fizycznych, jak i podmiotów gospodarczych. W procesie finansowania inwestycji można zauważyć znaczącą rolę instytucji bankowych. Stąd też w artykule przedstawiono problematykę dotyczącą aktualnych kierunków wsparcia w zakresie finansowania inwestycji w OZE przez współczesne banki. Zaprezentowano w nim uwarunkowania rozwoju OZE, zasadność wsparcia finansowania tego rodzaju projektów, jak również formy wsparcia finansowania inwestycji w OZE przez instytucje kredytowe. Ponadto przedstawiono jeden z przykładowych programów wsparcia, jakim jest program dopłat Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na częściowe spłaty kapitału kredytów bankowych na zakup i montaż kolektorów słonecznych. Wskazano również na determinanty kształtujące przyszłość inwestycji.

## LITERATURA

- [1] BORYS G., *Bankowość ekologiczna – nowe wyzwania dla działalności banków*, [w:] *Usługi i procedury bankowe*, pod. red. Bogacka-Kisiel E., Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2000, 619.
- [2] CICHY P., *Alternatywne źródła energii*, [w:] *Energia w czasach kryzysu*, K. Kuciński (red.), Difin, Warszawa 2006, 149–150, 161–164.

- [3] DĄBROWSKI J., *Analiza wykorzystania kolektorów słonecznych i pomp ciepła w budownictwie tradycyjnym, energooszczędnym i pasywnym*, [w:] *Dolnośląski Dom Energooszczędny*, J. Kasperski (red.), Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011, 72.
- [4] DZIAWGO L., *Zielony rynek finansowy. Ekologiczna ewolucja rynku finansowego*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010, 15.
- [5] KORENIK D., *Odpowiedzialność banku komercyjnego. Próba syntezy*, Difin Sp. z o.o., Warszawa 2009, 121.
- [6] NIEDZIÓŁKA D., *Rynek energii w Polsce*, Difin, Warszawa 2010, 16–17.
- [7] PRANDECKI K., *Kształtowanie polityki ochrony środowiska i polityki energetycznej – refleksje w perspektywie 2020* [w:] *Innowacyjna Polska w Europie 2020. Szanse i zagrożenia trwałego rozwoju*, U. Płowiec (red.), Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010, 420–421.
- [8] SOLIŃSKI I., SOLIŃSKI B., RANOSZ R., *Uwarunkowania rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce na tle Unii Europejskiej*, [w:] *Szanse i zagrożenia rozwoju rynku energetycznego w Europie i w Polsce*, J. Pyka (red.), Wydawnictwo AE w Katowicach, Katowice 2007, 72–76.
- [9] ZABAWA J., *Rola i znaczenie instytucji kredytowych w finansowaniu inwestycji w odnawialne źródła energii*, [w:] *Finanse w niestabilnym otoczeniu – dylematy i wyzwania. Bankowość*, I. Pyka, J. Cichorska (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2012, 438.
- [10] BP Statistical World Energy Review 2013.
- [11] [www.nfosigw.gov.pl](http://www.nfosigw.gov.pl). Dostęp 10.07.2013.

#### PRESENT DIRECTIONS OF BANKING SUPPORT FOR INVESTMENTS IN RENEWABLE ENERGY SOURCES

Renewable energy is one of the most important topics addressed in mass media and public debates at present, both within the European Union, and outside its structures. The future of investment in renewable energy sources is defined in the “Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth” project, adopted by the European Commission in 2010. As the title of the EC strategy suggests, regulations in the area of environment protection, including those that apply to investments in renewable energy, will be prioritized in the near future. Development of renewable energy sources is largely determined by the level and scope of financial support programs, since RES projects typically require large investment. The aim of this paper is to present current trends in financial support for RES investments. Determinants of RES development in contemporary economies are presented, together with arguments for financial support of this type of investment, as well as present forms of financial support for RES investment, as employed in banking industry. A case study is presented, based on the example of a support program of subsidies from the National Fund for Environmental Protection and Water Management, for partial refunds of banking credits granted for purchase and assembly of solar panels.

## ROZDZIAŁ XL

# SYSTEM WSPARCIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W OBOWIĄZUJĄCYCH UREGULOWANIACH PRAWNYCH ORAZ PROJEKCIE USTAWY O OZE

Michał KORNASIEWICZ\*, Adam KOWALSKI\*\*

W treści opracowania autorzy dokonali analizy przepisów prawa regulujących działalność wytwórców energii w odnawialnych źródłach, mając na uwadze przede wszystkim obowiązujący system wsparcia OZE. W pierwszej części referatu zostały zaprezentowane uregulowania ustawy z dnia 10.04.1997 roku – Prawo energetyczne w brzmieniu nadanym jej przepisami tzw. małego trójpaku. W tym zakresie, jako podstawową, autorzy przedstawili kwestię obowiązku zakupu energii wytworzonej w odnawialnym źródle oraz system zielonych certyfikatów. W tej części zostały także omówione zmiany wprowadzone ustawą z dnia 21.06.2013 roku mające na celu ułatwienie przyłączenia do sieci elektroenergetycznej tzw. mikroinstalacji. W drugiej części artykułu przedstawiono podstawowe założenia projektu ustawy o OZE będącego nadal w toku prac legislacyjnych. Uchwalenie małego trójpaku nie oznacza bowiem zawieszenia prac nad tzw. dużym trójpakiem, w tym ustawą o OZE, która w sposób kompleksowy będzie regulować zagadnienia związane z odnawialnymi źródłami energii.

Słowa kluczowe: *odnawialne źródła energii, mikroinstalacje, obowiązek zakupu energii wytworzonej w OZE, sprzedawca z urzędu, świadectwa pochodzenia, Prezes URE*

### 1. UWAGI WSTĘPNE

W świetle postanowień Dyrektywy 2009/28/WE [1] rozwój odnawialnych źródeł energii stanowi istotny element polityki UE zmierzający do redukcji emisji gazów cieplarnianych i spełnienia postanowień Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji ONZ w sprawie zmian klimatu. Zwiększone zastosowanie energii z OZE, w tym ener-

---

\* Adwokat, partner w Kancelarii Adwokatów i Radców Prawnych Dziedzic i Partnerzy.

\*\* Radca prawny, partner w Kancelarii Adwokatów i Radców Prawnych Dziedzic i Partnerzy, doktorant w Instytucie Nauk Prawno-Administracyjnych na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu Warszawskiego.



gii wytworzonej w mikroinstalacjach, poprzez dywersyfikację źródeł i wykorzystanie lokalnie dostępnych surowców prowadzi do zwiększenia bezpieczeństwa dostaw. Rozwój odnawialnych źródeł jest postrzegany przez prawodawcę wspólnotowego także jako szansa dla rozwoju technologicznego i innowacji oraz dla tworzenia nowych miejsc pracy i rozwoju regionalnego. Z tych wszystkich względów już w Komunikacie Komisji Europejskiej z dnia 10.01.2007 roku [3] cel przewidujący w 2020 roku 20% udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii został uznany za optymalny. W tym miejscu należy wskazać, że cel 20% udziału dotyczy całej UE, natomiast cele krajowe zostały wyznaczone w tabeli w załączniku I części A. Dla Polski cel ten wynosi 15%. Osiągnięcie ww. udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii jest możliwe jedynie poprzez zastosowanie określonych zachęt i mechanizmów wsparcia. Sama dyrektywa 2009/28/WE bardzo szeroko definiuje pojęcie systemu wsparcia. Zgodnie bowiem z treścią art. 2 lit. k) dyrektywy, system ten oznacza każdy instrument, system lub mechanizm stosowany przez państwo członkowskie lub grupę państw, który promuje wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych. Środki te mogą dotyczyć obowiązku zakupu energii wytworzonej w OZE, gwarancji ceny, pomocy inwestycyjnej, zwolnienia z podatków lub ulgi podatkowe, a także korzyści wynikających z systemu zielonych certyfikatów. Ważnym z punktu widzenia rozwoju odnawialnych źródeł energii czynnikiem jest zapewnienie priorytetowego i gwarantowanego dostępu do sieci (por. motywy 60–63 dyrektywy).

Postanowienia dyrektywy 2009/28/WE winny zostać implementowane przez państwa członkowskie do krajowych porządków prawnych najpóźniej do dnia 5.12.2010 roku. Po stronie polskiego ustawodawcy wystąpiły w tym zakresie daleko idące opóźnienia, co w konsekwencji spowodowało, że Komisja Europejska w dniu 21.03.2013 roku złożyła do Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej skargę przeciwko Polsce w związku z brakiem transpozycji dyrektywy OZE. Uchwalony w dniu 21.06.2013 roku tzw. mały trójpak [7] w swoich głównych założeniach winien stanowić wypełnienie obowiązku implementacji dyrektywy 2009/28/WE. W opracowaniu został przedstawiony system wsparcia energii ze źródeł odnawialnych wynikający z przepisów prawa energetycznego [11] w brzmieniu nadanym mu przepisami małego trójpaku, pomimo iż w dacie przygotowywania niniejszego tekstu nowelizacja z dnia 21.06.2013 roku nie weszła jeszcze w życie.

## 2. POJĘCIE ODNAWIALNEGO ŹRÓDŁA ENERGII ORAZ MIKROINSTALACJI

Analiza systemu wsparcia energii ze źródeł odnawialnych winna zostać poprzedzona omówieniem samego pojęcia odnawialnego źródła energii, które na gruncie prawa energetycznego ma walor definicji legalnej. Wobec okoliczności, że niektóre

z istotnych zmian wprowadzonych do prawa energetycznego przepisami małego trójpakietu dotyczą mikroinstalacji, także i to pojęcie wymaga zdefiniowania.

## 2.1. ODNAWIALNE ŹRÓDŁO ENERGII

W języku potocznym odnawialne źródło energii często jest określane mianem źródła niekonwencjonalnego, tj. źródła, które nie wykorzystuje w procesie przetwarzania spalania organicznych paliw kopalnych. Tak sformułowany zakres pojęcia odnawialnego źródła energii jest bardzo szeroki i może obejmować bardzo różne źródła, bez ich szczegółowego katalogowania. Na gruncie prawa energetycznego ustawodawca przyjął jednak inny model definicji. W treści art. 3 pkt 20 zostały wskazane poszczególne źródła, które są uznawane za odnawialne. I tak, odnawialnym źródłem energii są źródła wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, aerothermalną, geothermalną, hydrothermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu pochodzącego ze składowisk odpadów, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych lub zwierzęcych. Wskazany katalog odnawialnych źródeł energii ma charakter zamknięty.

## 2.2. MIKROINSTALACJA

W debacie dotyczącej zmian w prawie energetycznym, czy to w zakresie uregulowań małego trójpakietu, czy też odnośnie przepisów małego trójpakietu, wiele uwagi zostało poświęcone tzw. prosumentom. Przez pojęcie prosumenta należy rozumieć końcowego odbiorcę energii (a więc konsumenta), który jednocześnie jest jej producentem. Prosument za pomocą mikroinstalacji przyłączonej do sieci lokalnego operatora systemu dystrybucyjnego wytwarza energię. Jest ona wykorzystywana przede wszystkim na jego własne potrzeby, ale jej nadwyżka może być odsprzedawana i wprowadzana do sieci. W ocenie prawodawcy wspólnotowego rozwój małych, lokalnych OZE ma istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego.

Jak wskazano powyżej, wytwarzanie energii przez prosumenta odbywa się za pomocą mikroinstalacji (w dyrektywie 2009/28WE prawodawca posługuje się określeniem zdecentralizowanych urządzeń do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych). Polski ustawodawca uchwalając mały trójpakiet zdefiniował pojęcie mikroinstalacji w treści art. 3 pkt 20b) prawa energetycznego. Zgodnie z przywołanym przepisem, mikroinstalacja oznacza odnawialne źródło energii, o łącznej mocy zainstalowanej nie większej niż 40 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o łącznej mocy zainstalowanej cieplnej nie większej niż 120 kW.

### 3. OBOWIĄZEK ZAKUPU ENERGII WYTWORZONEJ W OZE

Z punktu widzenia wytwórcy w odnawialnym źródle energii bardzo istotną kwestią są zagadnienia związane z jej sprzedażą. Zapewnienie wytwórcy możliwości zbycia wytworzonej energii po określonej cenie niezależnie od sytuacji na rynku ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia mu stałego źródła przychodów, co może przesądzać o rentowności całej inwestycji. Z tego względu dyrektywa 2009/28/WE do podstawowych środków wsparcia odnawialnych źródeł energii zalicza obowiązek stosowania energii odnawialnej lub jej nabywania oraz systemy bezpośredniego wsparcia cen, w tym ceny gwarantowane (art. 2 pkt k) dyrektywy). Rozwiązania nawiązujące do tych postanowień dyrektywy przyjął także polski ustawodawca.

#### 3.1. ZAKRES OBOWIĄZKU ZAKUPU ENERGII WYTWORZONEJ W OZE

Zgodnie z treścią art. 9a ust. 6 prawa energetycznego sprzedawca z urzędu w zakresie określonym w przepisach rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 18.10.2012 r. [5] jest zobowiązany do zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii przyłączonych do sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej znajdującej się na terenie obejmującym obszar działania tego sprzedawcy, oferowanej przez przedsiębiorstwo energetyczne, które uzyskało koncesję na jej wytwarzanie lub zostało wpisane do rejestru przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego. Sprzedaż ta odbywa się po cenie, o której mowa w treści art. 23 ust. 1 pkt 18 lit. b) prawa energetycznego. Cena ta jest ustalana przez Prezesa URE i jej wysokość odpowiada średniej cenie energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w poprzednim roku kalendarzowym. Wskazany powyżej obowiązek zakupu energii uważa się za spełniony, jeżeli sprzedawca z urzędu zakupił całą oferowaną mu ilość energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach, przyłączonych do sieci przesyłowej lub dystrybucyjnej znajdującej się na obszarze działania tego sprzedawcy (por. § 15 ww. rozporządzenia). O ile sprzedawca ma obowiązek zakupu całej oferowanej mu energii, o tyle wytwórca energii w odnawialnym źródle ma swobodę co do wyboru podmiotu, któremu wytworzoną energię sprzeda. W okresie stałego wzrostu cen energii elektrycznej wytwórcy często poszukiwali na rynku energii podmiotów zainteresowanych jej zakupem i w ten sposób uzyskiwali cenę wyższą niż średnia cena z roku poprzedniego. W okresie spadku cen energii elektrycznej, (jaki możemy wyraźnie zauważyć w br.) wytwórcy energii w odnawialnych źródłach chętnie korzystają z przyznanej im możliwości sprzedaży energii sprzedawcy z urzędu po średniej cenie z roku poprzedniego.

Wykonanie ciążącego na sprzedawcy z urzędu obowiązku zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach zostało zabezpieczone sankcją administracyjną w postaci kary pieniężnej. Zgodnie bowiem z treścią art. 56 ust. 1 pkt 1a) prawa energetycznego, przedsiębiorstwo energetyczne, które nie realizuje ww. obowiązku podle-

ga karze pieniężnej. Przewidziana w tym zakresie odpowiedzialność sprzedawcy z urzędu ma charakter zobiektywizowany, tj. niezależny od winy. Stopień zawinienia, stopień społecznej szkodliwości czynu oraz dotychczasowe zachowanie podmiotu zobowiązanego są brane pod uwagę jedynie przy ustalaniu wysokości wymierzonej kary pieniężnej.

Podstawą realizacji obowiązku zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii jest umowa sprzedaży zawierana pomiędzy sprzedawcą z urzędu a wytwórcą. W przypadku odmowy zawarcia umowy lub przedłużających się negocjacji (w orzecznictwie Prezesa URE celowo przedłużane negocjacje są traktowane na równi z odmową zawarcia umowy) każda ze stron może w trybie art. 8 ust.1 prawa energetycznego wystąpić do Prezesa URE z wnioskiem o rozstrzygnięcie zaistniałego sporu. W tym wypadku podstawą realizacji obowiązku zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii będzie decyzja administracyjna Prezesa URE zastępująca umowę lub jej sporne postanowienia.

### 3.2. SPRZEDAWCA Z URZĘDU

Zgodnie z poczynionymi powyżej uwagami obowiązek zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach spoczywa na sprzedawcy z urzędu. Pojęcie to, ze względu na wadliwą implementację postanowień dyrektywy 2003/54/WE [2], wymaga dokonania szerszej analizy. Stosownie do treści art. 3 pkt 29 prawa energetycznego, sprzedawcą z urzędu jest przedsiębiorstwo energetyczne posiadające koncesję na obrót paliwami gazowymi lub energią elektryczną, świadczące usługi kompleksowe odbiorcom paliw gazowych lub energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, niekorzystającymi z prawa wyboru sprzedawcy. Sprzedawców z urzędu wyłania Prezes URE w trybie przetargu przeprowadzanego na podstawie art. 9i prawa energetycznego oraz przepisów rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 9.02.2006 roku [6]. Przywołane przepisy pozostają jednak martwe, a przetargu na sprzedawcę z urzędu nigdy nie przeprowadzono. Wynika to z faktu, że ustawodawca wprowadzając instytucję sprzedawcy z urzędu zmierzał w rzeczywistości do implementowania postanowień dyrektywy 2003/54/WE dotyczących sprzedawcy ostatniej szansy (ang. *supplier of last resort*). Zasadniczym celem tej instytucji jest natomiast zapewnienie ciągłości dostawy energii w przypadku, gdy odbiorca utracił dotychczasowego sprzedawcę. Z tych względów, aktualnie podstawą obowiązku zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii pozostaje nadal art. 11 ustawy z dnia 4.03.2005 roku [8]. Zgodnie z przywołanym przepisem, do czasu wyłonienia w drodze przetargu lub wyznaczenia przez Prezesa URE sprzedawców z urzędu, obowiązek zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii spoczywa na przedsiębiorstwie energetycznym wydzielonym w celu zapewnienia niezależności operatorowi systemu dystrybucyjnego z przedsiębiorstwa zintegrowanego pionowo, posiadającym koncesję na obrót paliwami gazowymi lub energią elektryczną i dokonującym ich sprzedaży odbiorcom przyłączonym do sieci

tegoż operatora. Obowiązek zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach, którego podstawę stanowi przepis art. 11 ww. ustawy dotyczy jednak wyłącznie źródeł przyłączonych do sieci dystrybucyjnej. Źródła przyłączone do sieci przesyłowej – inaczej niż w przypadku treści art. 9a ust. 6 prawa energetycznego – nie są objęte analizowanym obowiązkiem.

#### 4. SYSTEM ŚWIADECTW POCHODZENIA

Spoczywający na sprzedawcy z urzędu obowiązek zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach wraz z systemem gwarantowanych cen nie jest wystarczający dla pełnego pokrycia kosztów wytworzenia energii w odnawialnych źródłach. Z tego względu polski ustawodawca mając na uwadze postanowienia dyrektywy 2009/28/WE wprowadził dodatkowo system zielonych certyfikatów (świadectw pochodzenia). Świadectwa pochodzenia należy odróżnić od gwarancji pochodzenia, o których mowa w treści art. 11g – 11l prawa energetycznego. Gwarancja pochodzenia stanowi potwierdzenie dla odbiorcy końcowego, że określona ilość wprowadzonej do sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej energii została wytworzona w odnawialnych źródłach. Z dokumentem gwarancji pochodzenia nie są związane żadne prawa majątkowe. Prawa takie są natomiast przypisane świadectwom pochodzenia. Prawa majątkowe wynikające ze świadectw pochodzenia, co do których określony krąg podmiotów ma obowiązek ich uzyskania i przedstawienia do umorzenia, stanowią odrębny od energii towar będący przedmiotem obrotu i źródłem przychodu wytwórcy. Towar ten ma charakter towaru giełdowego w rozumieniu art. 2 pkt 2 lit. d) ustawy z dnia 26.10.2000 r. [10]. Zasady wydawania i umarzania świadectw pochodzenia dla energii wytworzonej w odnawialnych źródłach, w tym w odnawialnych źródłach spełniających jednocześnie warunki wysokosprawnej kogeneracji zostały określone w treści art. 9e prawa energetycznego, natomiast zasady wydawania i umarzania świadectw pochodzenia biogazu rolniczego reguluje treść art. 90 prawa energetycznego.

##### 4.1. PODMIOTOWY ZAKRES OBOWIĄZKU UZYSKANIA I PRZEDSTAWIENIA DO UMORZENIA ŚWIADECTW POCHODZENIA

Przepisami małego trójpaku ustawodawca poszerzył krąg podmiotów zobowiązanych do uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia. Zgodnie z treścią art. 9a ust. 1 prawa energetycznego, podmiotami tymi są: odbiorca przemysłowy, przedsiębiorstwo energetyczne, odbiorca końcowy oraz towarowy dom maklerski lub dom maklerski. Pojęcie odbiorcy przemysłowego zostało zdefiniowane w treści art. 3 pkt 20e) prawa energetycznego. Odbiorca przemysłowy będzie zobowiązany do uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, jeżeli w roku kalendarzowym poprzedzającym rok realizacji obowiązku zużył nie mniej niż

100 GWh energii elektrycznej, której koszt wyniósł nie mniej niż 3% wartości jego produkcji. Przedmiotowy obowiązek spoczywa także na tych przedsiębiorstwach energetycznych, które wykonują działalność w zakresie wytwarzania energii elektrycznej lub obrotu tą energią i sprzedają tę energię odbiorcom końcowym niebędącym odbiorcami przemysłowymi. Obowiązek uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia spoczywa również na odbiorcach końcowych (niebędących odbiorcami przemysłowymi), którzy są członkiem giełdy towarowej w rozumieniu art. 2 pkt 5 ustawy z dnia 26.10.2000 roku lub członkiem rynku organizowanego przez podmiot prowadzący na terytorium RP rynek regulowany. Obowiązek tych odbiorców dotyczy transakcji zawieranych we własnym imieniu na giełdzie towarowej lub na rynku organizowanym. Wreszcie obowiązek uzyskania i przedstawienia świadectw pochodzenia obejmuje towarowy dom maklerski lub dom maklerski w rozumieniu art. 2 pkt 8 i 9 ww. ustawy z dnia 26.10.2000 roku [10], w odniesieniu do transakcji realizowanych na giełdzie towarowej lub rynku organizowanym przez podmiot prowadzący na terytorium RP rynek regulowany na zlecenie odbiorców innych niż odbiorcy przemysłowi.

#### 4.2. PRZEDMIOTOWY ZAKRES OBOWIĄZKU UZYSKANIA I PRZEDSTAWIENIA DO UMORZENIA ŚWIADECTW POCHODZENIA

Zakres obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia został określony w przepisach rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 18.10.2012 roku [5]. Przepisy te dla poszczególnych podmiotów, na których spoczywa przedmiotowy obowiązek określają wymagany udział ilościowy sumy energii elektrycznej wynikającej ze świadectw pochodzenia przedstawionych do umorzenia w całkowitej rocznej sprzedaży energii elektrycznej dokonanej na rzecz odbiorców końcowych (w przypadku przedsiębiorstw energetycznych – art. 9a ust. 1a pkt 2 prawa energetycznego) albo w całkowitej rocznej ilości energii wynikającej z zakupu na własny użytek na podstawie transakcji zawieranych we własnym imieniu na giełdzie towarowej lub rynku organizowanym przez podmiot prowadzący na terytorium RP rynek regulowany (w przypadku odbiorców końcowych – art. 9a ust. 1a pkt 3 prawa energetycznego) albo w całkowitej rocznej ilości energii wynikającej z zakupu na podstawie transakcji realizowanych na zlecenie odbiorców końcowych na giełdzie towarowej lub rynku organizowanym przez podmiot prowadzący na terytorium RP rynek regulowany (w przypadku towarowego domu maklerskiego lub domu maklerskiego – art. 9a ust. 1a pkt 4 prawa energetycznego). Omawiany udział ilościowy został określony w rozporządzeniu w sposób procentowy. W 2012 roku wynosił on 10,4%. W kolejnych latach jego wielkość wzrasta w sposób progresywny, aż do osiągnięcia pułapu 20% w roku 2021. Przepisy rozporządzenia w sposób szczegółowy określają rodzaje odnawialnych źródeł energii, parametry techniczne i technologiczne wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła w odnawialnych źródłach, a także wyma-

gania dotyczące pomiarów rejestracji i sposobu obliczania ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach.

W sposób szczególny został określony zakres obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia w przypadku odbiorców przemysłowych (art. 9a ust. 1a pkt 1 prawa energetycznego). Zakres tego obowiązku jest limitowany w dwojaki sposób. Po pierwsze, w treści art. 9a ust. 1a<sup>1</sup> prawa energetycznego zostały wskazane udziały energii elektrycznej zakupionej na własny użytek, co do których jest odnoszony obowiązek uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia. O ile zatem w przypadku innych podmiotów procentowy udział ilości energii wynikającej ze świadectw przedstawionych do umorzenia jest odnoszony do całkowitej ilości energii sprzedanej lub zakupionej, o tyle w przypadku odbiorców przemysłowych udział ten jest odnoszony jedynie do części energii zakupionej. I tak, odbiorcy, dla których wartość zakupionej energii przekroczyła 12% wartości ich produkcji wykonują obowiązek w odniesieniu do 20% energii zakupionej, odbiorcy, dla których wartość zakupionej energii wynosiła powyżej 7%, ale mniej niż 12% wykonują obowiązek w odniesieniu do 60% zakupionej energii i odbiorcy, dla których wartość zakupionej energii wynosiła powyżej 3%, ale mniej niż 7% wykonują obowiązek w odniesieniu do 80% zakupionej energii. Po drugie, procentowy udział energii wynikającej ze świadectw przedstawionych do umorzenia w wielkościach wskazanych powyżej został określony w przepisach przejściowych małego trójpaku (art. 26 ust. 1 ustawy z dnia 21.06.2013 roku) i w 2013 roku wynosi on 12%. Wielkość ww. udziału w kolejnych latach zostanie określona w nowym rozporządzeniu wykonawczym do prawa energetycznego.

Obowiązek uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia ma charakter alternatywny w tym znaczeniu, że podmiot zobowiązany może zwolnić się z tegoż obowiązku poprzez zapłatę opłaty zastępczej (art. 9a ust. 1 pkt 2 prawa energetycznego). O ile uzyskanie świadectw pochodzenia (praw majątkowych z nich wynikających) następuje według reguł rynkowych, a tym samym jest obarczone ryzykiem wahań ceny, o tyle wysokość opłaty zastępczej ma stały charakter (ustawowo ustalona wysokość opłaty podlegająca corocznej waloryzacji o wskaźnik inflacji – art. 9a ust. 2 i 3 prawa energetycznego). Taka konstrukcja analizowanego obowiązku powoduje, że w okresie niskiej podaży i wysokiego popytu wiele podmiotów zobowiązanych rezygnuje z zakupu praw majątkowych ograniczając się do zapłaty opłaty zastępczej. Jednocześnie należy wskazać, że w przypadku wysokiego popytu i niskiej podaży cena praw majątkowych jest zbliżona do wysokości opłaty zastępczej. Istotny wzrost mocy wytwórczych w odnawialnych źródłach energii jaki można było zauważyć w 2012 roku spowodował odwrócenie wcześniejszego trendu i był przyczyną powstania w zakresie praw majątkowych nadwyżki podaży nad popytem. Z tego względu ceny praw majątkowych w 2013 roku gwałtownie spadły.

Podobnie jak w przypadku obowiązku zakupu energii wytworzonej w odnawialnym źródle, także wykonanie obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia

świadczeń pochodzenia lub zapłaty opłaty zastępczej zostało zabezpieczone karą pieniężną (art. 56 ust. 1 pkt 1a prawa energetycznego). W tym wypadku ustawodawca wprowadził dolną granicę kary pieniężnej wskazując, że nie może być ona niższa niż 1,3 opłaty zastępczej (art. 56 ust. 2a prawa energetycznego).

## 5. SYSTEM WSPARCIA MIKROINSTALACJI

Przepisami małego trójpaku ustawodawca wprowadził do prawa energetycznego rozwiązania promujące (wspierające) mikroinstalacje. Rozwiązania te dotyczą dwóch kwestii. Po pierwsze, ułatwień w zakresie przyłączenia mikroinstalacji do sieci elektroenergetycznej. Po drugie, spoczywającego na sprzedawcy z urzędu obowiązku zakupu energii wytworzonej w mikroinstalacji po gwarantowanej cenie.

Zgodnie z treścią art. 7 ust. 8 pkt 3 lit. b) prawa energetycznego za przyłączenie mikroinstalacji do sieci dystrybucyjnej nie pobiera się opłaty. Ponadto, jeżeli podmiot ubiegający się o przyłączenie mikroinstalacji do sieci jest już do tej sieci przyłączony jako odbiorca końcowy, a moc zainstalowana mikroinstalacji nie jest większa niż moc określona w warunkach przyłączenia uprzednio wydanych odbiorcy, przyłączenie mikroinstalacji odbywa się na podstawie samego zgłoszenia przyłączenia mikroinstalacji, złożonego w przedsiębiorstwie energetycznym, do sieci którego ma być ona przyłączona, po zainstalowaniu odpowiednich układów zabezpieczających i układu pomiarowo-rozliczeniowego (art. 7 ust. 8<sup>d</sup> prawa energetycznego). Koszt instalacji ww. układów ponosi operator systemu dystrybucyjnego.

W przypadku mikroinstalacji wybudowanej i przyłączonej do sieci przez osobę fizyczną niebędącą przedsiębiorcą w rozumieniu ustawy z dnia 2.07.2004 roku [9] (samo wytwarzanie energii i jej sprzedaż przez taką osobę nie jest traktowane jako wykonywanie działalności gospodarczej – art. 9u prawa energetycznego) osoba ta ma prawo sprzedać wytworzoną w mikroinstalacji energię po cenie równej 80% średniej ceny sprzedaży energii w poprzednim roku kalendarzowym, o której mowa w art. 23 ust. 2 pkt 18 lit. b) prawa energetycznego. Wskazanemu uprawnieniu wytwórcy w mikroinstalacji odpowiada obowiązek zakupu spoczywający na sprzedawcy z urzędu działającym na terenie, na którym znajduje się mikroinstalacja (por. art. 9v prawa energetycznego).

## 6. SYSTEM WSPARCIA WEDŁUG PROJEKTU USTAWY O ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII

Po dokonaniu analizy przepisów małego trójpaku można wskazać, że niektóre z przyjętych w nim rozwiązań zostały zaczerpnięte z projektu ustawy o odnawialnych źródłach energii [4] wchodzącego w skład dużego trójpaku. Nie oznacza to jednak, że



dalsze procedowanie nad projektem ustawy o odnawialnych źródłach energii stało się bezprzedmiotowe. Mały trójpak nie rozwiązuje bowiem kilku istotnych kwestii. Spoczywający na sprzedawcy z urzędu obowiązek zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach nadal ma swoją jedyną podstawę w treści art. 11 ustawy z dnia 4.03.2005 roku (czyli w przepisach przejściowych jednej z ustaw nowelizujących prawo energetyczne). Kwestia podmiotu zobowiązanego do zakupu energii wytworzonej w odnawialnych źródłach wymaga jednoznacznego określenia w ustawie. Celowym jest także przyjęcie rozwiązań, które będą różnicować wysokość wsparcia dla poszczególnych odnawialnych źródeł, gdyż w ten sposób można najbardziej skutecznie promować rozwój nowych technologii i innowacyjności w sektorze energetycznym, co jest jednym z celów dyrektywy 2009/28/WE. Wreszcie – w ocenie autorów – nie zostały w pełni wdrożone również inne postanowienia dyrektywy, np. dotyczące znoszenia barier administracyjnych i zapewnienia priorytetowego dostępu odnawialnych źródeł energii do sieci elektroenergetycznej. Z tych względu pozytywnie należy ocenić stanowisko MG, zgodnie z którym prace nad projektem ustawy nie zostaną zawieszane, lecz nadal będą kontynuowane, tak aby w nieodległym czasie ustawa o odnawialnych źródłach energii stała się obowiązującym prawem. W dalszej części opracowania zostały przedstawione podstawowe założenia wsparcia odnawialnych źródeł energii przewidziane w projekcie przedmiotowej ustawy.

#### 6.1. SPRZEDAWCA ZOBOWIĄZANY

W treści art. 40 ust. projektu została zawarta definicja sprzedawcy zobowiązanego. Zgodnie z treścią przywołanego przepisu, sprzedawcą zobowiązanym jest sprzedawca energii elektrycznej zaopatrujący w energię elektryczną największą liczbę odbiorców końcowych tej energii elektrycznej, w odniesieniu do liczby odbiorców końcowych energii elektrycznej przyłączonych do sieci dystrybucyjnej lub sieci przesyłowej danego operatora systemu dystrybucyjnego, elektroenergetycznego lub operatora systemu przesyłowego elektroenergetycznego, na obszarze jego działania, według stanu na dzień 30 września poprzedniego roku. W przypadku równej liczby odbiorców końcowych energii elektrycznej, sprzedawcą zobowiązanym jest sprzedawca o największym wolumenie sprzedaży energii elektrycznej odbiorcom końcowym w pierwszym półroczu roku poprzedniego. Kompetencję do wyznaczenia sprzedawcy zobowiązanego projektodawca przyznał Prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki, który w terminie do 31 października każdego roku, na podstawie danych dotyczących liczby odbiorców lub wolumenu sprzedaży, przekazanych przez właściwych operatorów, wyznacza na terenie ich działania sprzedawcę zobowiązanego. Wyznaczenie sprzedawcy zobowiązanego następuje w drodze decyzji administracyjnej.

Sprzedawca zobowiązany ma obowiązek zakupu energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej z biogazu rolniczego wytworzonej w instalacjach odnawialnego źródła energii.

## 6.2. SYSTEM WSPARCIA MIKROINSTALACJI I MAŁYCH INSTALACJI

Ustawodawca dla mikro i małych instalacji przewidział wsparcie w postaci stałych cen gwarantowanych. System ten uzależnia warunki zakupu energii elektrycznej wytworzonej w mikro i małych źródłach wyłącznie od łącznej mocy elektrycznej instalacji odnawialnego źródła energii. Dla mikroinstalacji i małych instalacji ustawodawca przewidział obowiązek zakupu energii elektrycznej wytworzonej z odnawialnych źródeł energii w instalacjach odnawialnego źródła energii oraz wytworzonej energii elektrycznej z biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnego źródła energii. Obowiązek ten powstaje od dnia wprowadzenia energii elektrycznej do sieci dystrybucyjnej i trwa przez 15 lat, przy czym okres ten liczony jest od dnia oddania do użytkowania instalacji odnawialnego źródła energii, nie dłużej jednak niż do dnia 31 grudnia 2027 roku. Ilość energii elektrycznej, za którą ma zapłacić sprzedawca zobowiązany określają wskazania licznika inteligentnego. Cena zakupu energii elektrycznej wyprodukowanej w mikro i małych źródłach, jak już wyżej wskazano, jest stała. Uprawnienie do oznaczania cen projektodawca przyznał ministrowi właściwemu do spraw gospodarki, który w drodze rozporządzenia wydawanego do 30 września każdego roku kalendarzowego określa ceny za energię elektryczną wytworzoną w mikro i małych źródłach.

## 6.3. SYSTEM WSPARCIA POZOSTAŁYCH INSTALACJI

Obowiązek zakupu energii elektrycznej wytworzonej z odnawialnych źródeł energii w instalacjach odnawialnego źródła energii oraz wytworzonej energii elektrycznej z biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnego źródła energii nie kończy się na mikro i małych instalacjach. Dla pozostałych instalacji ustawodawca wprowadził system świadectw pochodzenia. Ponadto, sprzedawca zobowiązany ma obowiązek zakupu energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej z biogazu rolniczego innych niż mikroinstalacje i małe instalacje. Obowiązek powyższy dotyczy również zakupu energii elektrycznej zaoferowanej przez m.in. przedsiębiorstwo energetyczne, które uzyskało koncesję na wytwarzanie energii elektrycznej w instalacji odnawialnego źródła energii, wytworzonej w okresie rozruchu technologicznego instalacji, która została wprowadzona do sieci przesyłowej lub dystrybucyjnej, zlokalizowanej na terenie działania sprzedawcy z urzędu. Podobnie jak przy mikro i małych instalacjach, obowiązek zakupu energii powstaje od pierwszego dnia wprowadzenia jej do sieci. Okres wsparcia wytwórcy trwa 15 lat licząc od dnia oddania do użytkowania instalacji odnawialnego źródła, nie dłużej jednak niż do 31 grudnia 2035 r. Cena za 1 MWh została ustalona w projekcie na poziomie 198,80 zł i podlega corocznej waloryzacji. Ilość energii elektrycznej wytworzonej w instalacji odnawialnego źródła energii ustala się na podstawie rzeczywistych wskazań licznika inteligentnego za dany miesiąc, co oznacza, że jednym ograniczeniem dla wytwórcy energii elektrycznej w zakresie wprowadzania jej do sieci są możliwości wytwórcze danego źródła.

Prócz energii elektrycznej projekt przewiduje również obowiązek zakupu ciepła, chłodu i gazu wytworzonego w instalacji odnawialnego źródła energii. I tak, przedsiębiorstwo energetyczne zajmujące się obrotem ciepłem zobowiązane będzie do zakupu zaferowanego ciepła lub chłodu z instalacji przyłączonej do sieci znajdującej się na terenie Rzeczypospolitej Polskiej, z tym zastrzeżeniem, że nie w każdej ilości, a jedynie nie większej niż zapotrzebowanie odbiorców przedsiębiorstwa ciepłowniczego. Obowiązek zakupu ciepła lub chłodu trwa do 31 grudnia 2035 roku. Identycznie kształtował się będzie obowiązek zakupu biogazu rolniczego wytworzonego w instalacji odnawialnego źródła energii przyłączonego do sieci znajdującej się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej przez przedsiębiorstwo gazownicze.

#### 6.4. ŚWIADECTWA POCHODZENIA

Kolejnym elementem systemu wsparcia przewidzianego w projekcie są świadectwa pochodzenia. Świadectwo pochodzenia poświadcza wytworzenie energii elektrycznej z odnawialnego źródła energii oraz energii elektrycznej z biogazu rolniczego w instalacji odnawialnego źródła energii. Warunkiem otrzymania świadectwa pochodzenia jest sprzedaż energii po cenie nie wyższej niż 105% średniej ceny energii elektrycznej rynku konkurencyjnego z poprzedniego roku. Dodatkowo, w procesie wytwarzania energii elektrycznej nie mogą być wykorzystywane drewno pełnowartościowe i zboża pełnowartościowe. Zastosowane rozwiązanie ma na celu wykluczenie nadmiernego wsparcia z jednoczesnym zagwarantowaniem rozwoju sektora energii ze źródeł odnawialnych. Uprawnienie w zakresie wydawania świadectw pochodzenia zgodnie z projektem przyznano Prezesowi URE, który na wniosek podmiotu uprawnionego wydaje takie potwierdzenie. Uprawnionymi do wystąpienia z wnioskiem o wydanie świadectwa pochodzenia są koncesjonowane przedsiębiorstwa energetyczne wykonujące działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w instalacji odnawialnego źródła energii, wpisani do rejestru wytwórcy energii wykonujący działalność gospodarczą w zakresie małych instalacji, zarejestrowani wytwórcy produkujący energię elektryczną z biogazu rolniczego oraz sprzedawcy zobowiązani w zakresie zakupu energii elektrycznej z mikro i małych instalacji. Wniosek zawierający elementy szczegółowo określone w art. 62 ust. 2 projektu, podmiot uprawniony do uzyskania świadectwa składa właściwemu operatorowi systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego lub operatorowi systemu przesyłowego elektroenergetycznego w terminie 45 dni od dnia zakończenia okresu wytworzenia danej ilości energii objętej wnioskiem. Właściwy operator ma 14 dni na przedłożenie Prezesowi URE wniosku wraz z potwierdzeniem danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w instalacji odnawialnego źródła energii. Po otrzymaniu dokumentów od właściwego operatora Prezes URE ma 30 dni na wydanie lub odmowę wydania świadectwa pochodzenia. Odmowa wydania następuję w formie postanowienia zaskarżalnego zażaleniem.

Analogiczny system wydawania świadectw pochodzenia ustawodawca przewidział dla biogazu rolniczego wytworzonego w instalacji odnawialnego źródła energii. Podmiotem uprawnionym do ubiegania się o wydanie świadectwa pochodzenia biogazu rolniczego jest wytwórca wykonujący działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania biogazu rolniczego, który uzyskał wpis do rejestru wytwórców biogazu rolniczego. Podmiotem zobowiązanym do rozpatrzenia wniosku jest Prezes URE.

Prawa majątkowe wynikające ze świadectwa pochodzenia lub świadectwa pochodzenia biogazu są zbywalne i stanowią towar giełdowy, o którym mowa w art. 2 pkt 2 lit. d ustawy z dnia 26 października 2000 roku o giełdach towarowych. Prawa te wygasają z chwilą umorzenia świadectwa. Zobowiązanymi do uzyskania i przedstawienia Prezesowi URE świadectw pochodzenia lub do uiszczenia opłaty zastępczej są odbiorcy przemysłowi którzy w poprzednim roku kalendarzowym zużyli określoną ilość energii elektrycznej (100 GWh), której koszt wyniósł nie mniej niż 3% wartości jego produkcji, przedsiębiorstwa energetyczne wykonujące działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania energii elektrycznej lub obrotu energią elektryczną i sprzedające ją odbiorcom końcowym, z wyłączeniem odbiorców przemysłowych, odbiorcy końcowi, inni niż przemysłowi, będący członkami giełdy towarowej lub członkami rynku organizowanego przez podmiot prowadzący na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej rynek regulowany, w odniesieniu do transakcji zawieranych we własnym imieniu na giełdzie towarowej lub na rynku organizowanym przez ten podmiot oraz towarowe domy maklerskie lub domy maklerskie, w odniesieniu do transakcji realizowanych na zlecenie odbiorców końcowych, innych niż odbiorcy przemysłowi, na giełdzie towarowej lub na rynku organizowanym przez podmiot prowadzący na terenie Rzeczypospolitej Polskiej rynek regulowany.

## 7. PODSUMOWANIE

Przyjęty przez polskiego ustawodawcę system wsparcia odnawialnych źródeł energii odpowiada mechanizmom wskazanym w dyrektywie 2009/28/WE jako podstawowe (obowiązek zakupu energii po gwarantowanej cenie oraz system świadectw pochodzenia). Zmiany wprowadzone do prawa energetycznego przepisami małego trójpaku przybliżają nasze ustawodawstwo do regulacji wspólnotowych. Szczególnie pozytywnie należy ocenić nowe regulacje dotyczące mikroinstalacji. Jednakże pełna implementacja postanowień dyrektywy – w ocenie autorów – jeszcze nie nastąpiła. Z tego względu pozytywnie należy ocenić fakt, że prace legislacyjne nad projektem ustawy o odnawialnych źródłach energii nie zostały zawieszono i nadal trwają. Ustawa ta jest bowiem oczekiwana przez cały sektor energetyczny. Ustalenie jasnych i przejrzystych zasad systemu wsparcia dla odnawialnych źródeł energii na okres kolejnych kilkunastu lat zwiększy pewność prawa i będzie stanowić impuls do dalszych inwestycji w nowe moce wytwórcze w odnawialnych źródłach energii. Należy jedynie mieć nadzieję, że projekt

ustawy o odnawialnych źródłach energii w nieodległym czasie stanie się obowiązującym prawem. W tym zakresie data 1.01.2014 r. wydaje się być nadal realna.

#### LITERATURA

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2003/54/WE z 26.6.2003 r. dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i uchylająca dyrektywę 96/92/WE (Dz.U. UE L 176, s. 37 ze zm.).
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23.04.2009 r. w sprawie stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30WE (Dz.Urz. EU L 140, s. 16 ze zm.).
- [3] Komunikat Komisji Europejskiej do Rady i Parlamentu Europejskiego „Mapa drogowa na rzecz energii odnawialnej Energie odnawialne w XXI w.: budowa bardziej zrównoważonej przyszłości”. KOM (2006) 848 wersja ostateczna, dokument dostępny: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0848:FIN:PL:PDF>. Dostęp 12.07.2013.
- [4] Projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 9.10.2012 roku, [http://www.nowe-pe-pg-i-ustawa-o-oze.cire.pl/pokaz-pdf-%252Fpliki%252F6%252Fprojekt\\_oze\\_dokument51297.pdf](http://www.nowe-pe-pg-i-ustawa-o-oze.cire.pl/pokaz-pdf-%252Fpliki%252F6%252Fprojekt_oze_dokument51297.pdf). Dostęp 12.07.2013.
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.10.2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. 2012, poz. 1229).
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9.02.2006 r. w sprawie w sprawie przetargu na wyłonienie sprzedawców z urzędu dla paliw gazowych lub energii elektrycznej (Dz.U. 2006, Nr 30, poz. 209).
- [7] Ustawa z dnia 21.06.2013 r. o zmianie ustawy – *Prawo energetyczne* oraz niektórych innych ustaw, tekst przyjęty przez Sejm, [www.sejm.gov.pl](http://www.sejm.gov.pl) druki: 946, 1401 i 1401A, tekst poprawek przyjętych przez Senat, [www.senat.gov.pl](http://www.senat.gov.pl) druk 395Z, Dostęp 2.07.2013.
- [8] Ustawa z dnia 4.03.2005 r. o zmianie ustawy – *Prawo energetyczne* oraz ustawy *Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. 2005, Nr 62, poz. 552).
- [9] Ustawa z dnia 2.07.2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej (t. jedn.: Dz.U. 2013, poz. 672).
- [10] Ustawa z dnia 26.10.2000 r. o giełdach towarowych (t. jedn.: Dz.U. 2010, Nr 48, poz. 284).
- [11] Ustawa z dnia 10.04.1997 r. *Prawo energetyczne* (t. jedn. Dz.U. 2012, poz. 1059).

#### THE SYSTEM OF SUPPORT FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES (RES) IN THE LEGAL REGULATIONS IN FORCE AND IN THE BILL ON RES

This study includes the analysis of legal provisions which regulate the activity of renewable energy producers. The analysis pays special attention to the system of support for renewable energy sources (RES) currently in force. The first part presents the regulations of the act of 10.04.1997 Energy Law in the wording stipulated by the provisions of the so-called “small tri-pack”. In this scope the authors discuss the fundamental issue of the obligation to purchase energy produced from a renewable source and the system of green certificates. This part also presents the changes introduced by the act of 21.06.2013, the aim of which is to facilitate the connection to the electrical power grid, the so-called micro-installation. The second part of the article presents the basic principles of the bill on RES which is still pending. However, passing the small tri-pack does not mean suspending the preparation of the so-called “big tri-pack”, including the act on RES, which in a comprehensive way will regulate the issues related to renewable energy sources.



Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej  
są do nabycia w księgarni  
plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław  
bud. D-1 PWr., tel. 71 320 29 35

Prowadzimy sprzedaż wysyłkową  
[zamawianie.ksiazek@pwr.wroc.pl](mailto:zamawianie.ksiazek@pwr.wroc.pl)

ISBN 978-83-7493-812-9