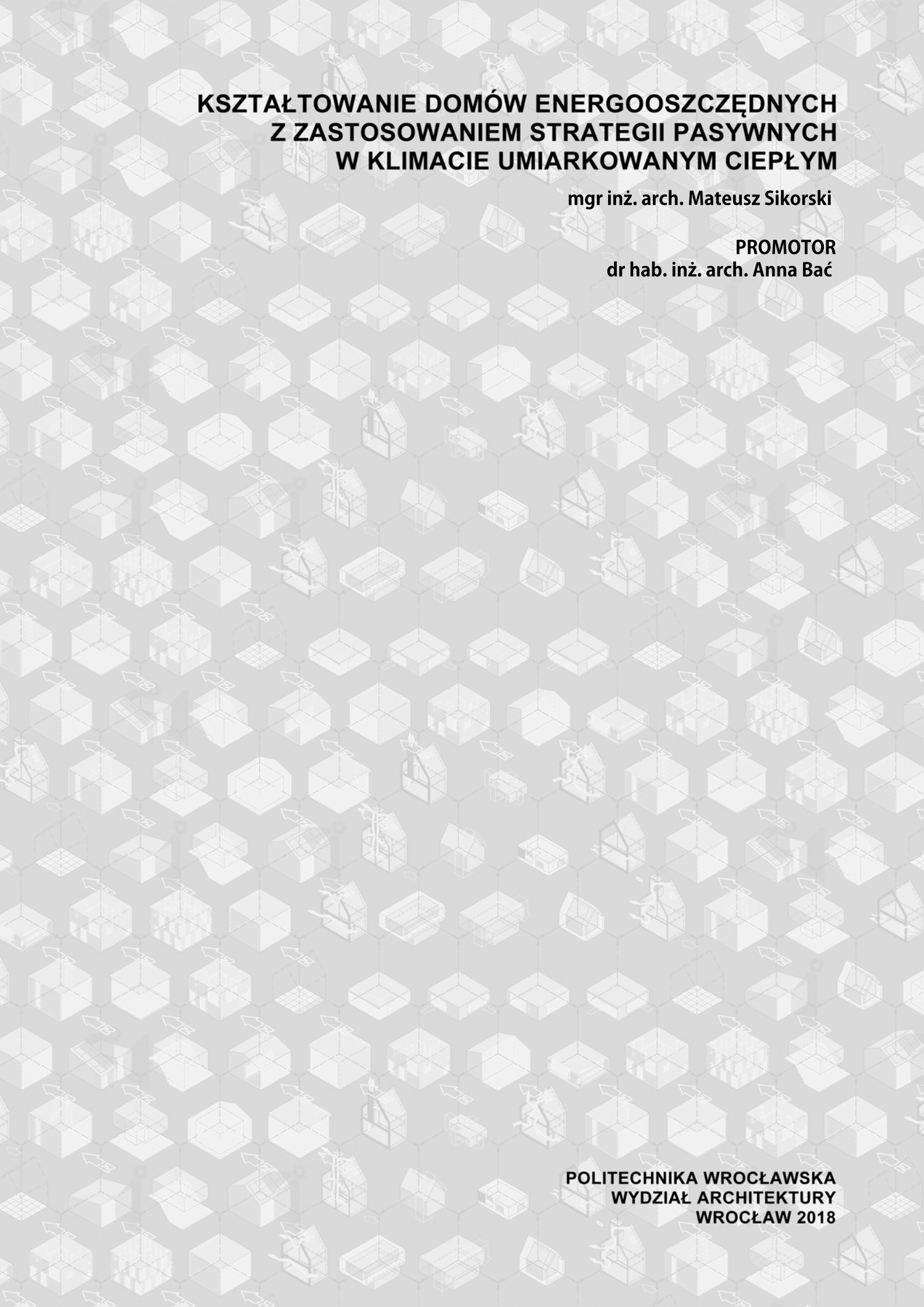


KSZTAŁTOWANIE DOMÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH Z ZASTOSOWANIEM STRATEGII PASYWNYCH W KLIMACIE UMIARKOWANYM CIEPŁYM

mgr inż. arch. Mateusz Sikorski

**PROMOTOR
dr hab. inż. arch. Anna Bać**



KSZTAŁTOWANIE DOMÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH Z ZASTOSOWANIEM STRATEGII PASYWNYCH W KLIMACIE UMIARKOWANYM CIEPŁYM

mgr inż. arch. Mateusz Sikorski

**PROMOTOR
dr hab. inż. arch. Anna Bać**

**POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ARCHITEKTURY
WROCŁAW 2018**

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI.....	2
WSTĘP	4
CEL PRACY I UZASADNIENIE	5
ZAKRES BADAŃ	6
METODA PRACY ORAZ STRUKTURA.....	8
STAN BADAŃ	9
POJĘCIE ARCHITEKTURY ENERGOOSZCZĘDNEJ	11
POJĘCIE STRATEGII PASYWNYCH.....	13
1 ROZDZIAŁ I – STRATEGIE PASYWNE W DOMACH ENERGOOSZCZĘDNYCH	15
1.1 WPROWADZENIE	15
1.2 UKŁAD FUNKCJONALNY	16
1.2.1 STREFOWANIE TERMICZNE.....	16
1.2.2 STREFOWANIE ŚWIETLNE	17
1.2.3 STREFOWANIE – PORÓWNANIE UWARUNKOWAŃ	19
1.3 ZACHOWANIE ENERGII W BUDYNKU	20
1.3.1 IZOLACJA	20
1.3.2 SZCZELNOŚĆ	23
1.3.3 AKUMULACJA.....	23
1.3.4 KSZTAŁTOWANIE BRYŁY	26
1.4 ZYSKI SOLARNE	34
1.4.1 ZYSKI BEZPOŚREDNIE	36
1.4.2 ZYSKI POŚREDNIE.....	40
1.4.3 OSŁONY PRZECIWSŁONECZNE.....	44
1.5 OŚWIETLENIE	51
1.6 WENTYLACJA.....	55
1.6.1 TRANSPORT ENERGII W BUDYNKU	56
1.6.2 WENTYLACJA NATURALNA	57
1.6.3 KOMINY SŁONECZNE	62
1.6.4 WIEŻA WIATROWA.....	64
1.6.5 PASYWNE CHŁODZENIE.....	65
1.7 PODSUMOWANIE.....	69
2 ROZDZIAŁ II – ANALIZA DOMÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH	71
2.1 WPROWADZENIE.....	71
2.2 WYNIKI ANALIZ	72
2.3 OPISY WYBRANYCH PRZYKŁADÓW	77
2.3.1 Dom przyszłości (JEMS)	77
2.3.2 SOLTAG Energy Housing (Nielsen and Rubow)	79

2.3.3	CO2 Saver House (Piotr Kuczia).....	81
2.3.4	Kingspan Lighthouse (Sheppard Robbison).....	83
2.3.5	Dom bezpieczny (KWK PROMES).....	86
2.3.6	Home for life (AART Architects).....	87
2.3.7	Sunlighthouse (Hein-Troy Architekten).....	89
2.3.8	CarbonLight Homes (HTA).....	91
2.3.9	Maison Air et Lumière (Nomade Architectes).....	94
2.3.10	Dom Optymalny (Grupa Synergia).....	96
2.3.11	De Poorters van Montfoort (Bouwhulpgroep).....	98
2.4	PODSUMOWANIE.....	100
3	ROZDZIAŁ III – UDZIAŁ ROZWIĄZAŃ PASYWNYCH W KSZTAŁTOWANIU FORMY ARCHITEKTONICZNEJ	102
3.1	WPROWADZENIE.....	102
3.2	UKŁAD FUNKCJONALNY	102
3.3	ZACHOWANIE ENERGII W BUDYNKU	103
3.3.1	AKUMULACJA.....	104
3.3.2	KSZTAŁTOWANIE BRYŁY	106
3.4	ZYSKI SOLARNE	111
3.4.1	WPŁYW ZYSKÓW SOLARNYCH.....	111
3.4.2	WPŁYW OSŁON PRZECIWSŁONECZNYCH.....	118
3.5	OŚWIETLENIE	125
3.6	WENTYLACJA.....	128
3.7	PODSUMOWANIE.....	131
4	PODSUMOWANIE.....	132
4.1	WPROWADZENIE.....	132
4.2	POPRAWNOŚĆ HIPOTEZY BADAWCZEJ.....	132
4.3	KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY ENERGOOSZCZĘDNEJ – WNIOSKI.....	133
4.4	KIERUNEK BADAŃ	136
5	BIBLIOGRAFIA.....	137
5.1	LITERATURA	137
5.2	AKTY PRAWNE.....	146
5.3	WITRYNY INTERNETOWE	146
6	SPIS ILUSTRACJI.....	148
7	STRESZCZENIE	152
8	ANEKS	153

WSTĘP

Problem zmniejszenia zapotrzebowania budynków na energię użytkową oraz wzrost wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych są coraz częściej dostrzegane podczas procesu projektowego. Budownictwo jest sektorem, który zużywa znaczną część wytwarzanej energii [1]. Zważywszy na regulacje prawne dotyczące efektywności energetycznej budynków, projektanci coraz częściej proponują stosowanie technologii aktywnych redukujących zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania, chłodzenia i wentylacji.

Równie istotne jest zastosowanie strategii pasywnych, które opierają się na prostych zjawiskach fizycznych. Są to rozwiązania niewymagające dostarczania energii z zewnątrz do ich funkcjonowania, często ściśle powiązane ze strukturą budynku. Proces projektowy, podczas którego to forma i funkcja stają się problemem nadrzędnym, w oderwaniu od zagadnień energetycznych, nie pozwala wydajnie kreować budownictwa energooszczędnego. Projektowanie budynków o obniżonym zapotrzebowaniu na energię użytkową powinno uwzględniać zagadnienia energetyczne już we wstępnej fazie koncepcji, ponieważ odpowiednia orientacja, struktura, kształt budynku, rozmieszczenie i parametry przeszkleń oraz wykorzystane materiały wpływają na jego energochłonność. Świadomość konsekwencji podejmowanych przez projektanta decyzji może spowodować zmniejszenie udziału rozwiązań aktywnych w kosztach użytkowania budynku lub wydajne ich wspomaganie [2,3]. Stosowanie rozwiązań pasywnych powinno być rozważane na równi z tymi, które są wysoko zaawansowane technologicznie. Ich potencjał pozostaje jednak często niewykorzystany.

Rozwiązania pasywne mają przeważnie swoje odzwierciedlenie w formie architektonicznej. Mogą stać się istotną składową formy architektonicznej, wymagają jednak dużo większego zaangażowania architekta w proces projektowy. Powiązane są z gabarytami, proporcjami, kształtem, optymalizacją bryły obiektu (A/V), kształtowaniem elewacji oraz rozwiązaniem detali architektonicznych. Zależność od struktury budynku powoduje, że ich wykorzystanie powinno być planowane już na wstępnym etapie koncepcji.

W ostatnich dekadach możemy zaobserwować znaczny nacisk na promocję wykorzystywania odnawialnych źródeł energii (OZE) i zmniejszenia zapotrzebowania budynków na energię. Wiele wybudowanych obiektów referencyjnych w państwach Unii Europejskiej zaprojektowano ze szczególnym uwzględnieniem strategii pasywnych. Między kształtowaniem architektury a gospodarowaniem energią zachodzi ścisła zależność. Projektowanie uwzględniające te zależności prowadzi często do kształtowania charakterystycznych rozwiązań architektonicznych, łatwo odczytywalnych w realizacjach.

W 2007 roku określono główne cele dla państw członkowskich UE w zakresie energii i klimatu. Tzw. europejski pakiet energetyczno-klimatyczny zakłada zmniejszenie emisji CO₂ o 20%, ograniczenie zużycia energii o 20% oraz zwiększenie udziału OZE w produkcji energii o 20% . W roku 2009 przyjęto wiążące przepisy mające doprowadzić do wyżej wymienionych celów [4]. Dla większości państw członkowskich oznacza to, że budynki projektowane będą musiały osiągnąć

¹ FILIPPÍN C., LARSEN S.F., GAY E.L.: *Energy improvement of a conventional dwelling in Argentina through thermal simulation*. „Renewable Energy”, 2008, 33, nr 10: s. 2246-2257.

² BIEDROŃSKA J., FIGASZEWSKI J.: *Wykorzystanie schematów energetycznych w projektowaniu budynków energooszczędnych*. [W:] Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska, red. Bać A., i Kasperski J., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, s. 61-70.

³ FIGASZEWSKI J., BIEDROŃSKA J.: *Graficzna prezentacja strategii pasywnego ogrzewania i chłodzenia w budynku*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2014, T. 45, nr 1: s. 19-23.

⁴ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_pl, dostęp 18.09.2018.

poziom prawie zerowego zużycia energii. Jest to wyzwanie dla współczesnej architektury, które będą musieli podjąć uczestnicy procesu inwestycyjnego.

W procesie optymalizacji założeń projektowych poza symulacjami warto zwrócić uwagę na badania zrealizowanych obiektów na etapie użytkowania. Wnioski wyciągnięte z weryfikacji przyjętych założeń i użytkowania wzorcowych obiektów mogą stać się pomocne przy realizacji budynków o znacznie zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię.

Stosowanie rozwiązań służących do obniżenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne przez budynki powinno być dla współczesnych projektantów imperatywem moralnym wynikającym z charakteru zawodu architekta [5]. Energia i jej poszanowanie jest kluczowym zagadnieniem architektury zrównoważonej [6]. Odpowiednie regulacje zostały również wprowadzone w UE i w Polsce w obowiązujących aktach prawnych. Jednocześnie – przy wciąż rosnącej świadomości ekologicznej Polaków i powszechnym poczuciu, że odpowiedzialność za rozwój zrównoważony spoczywa głównie na obywatelu, a nie na organach władzy – nadal większość osób nie podejmuje decyzji konsumenckich na podstawie przesłanek wynikających ze świadomości ekologicznej [7,8]. Przede wszystkim to aspekt ekonomiczny jest wciąż warunkiem decydującym. Podejmowanie decyzji zgodnych z ideą zrównoważonego rozwoju nie zawsze wynika ze świadomości konsumenckiej, ale zazwyczaj z dostępności produktu lub rozwiązań. W procesie inwestycyjnym w budownictwie na architekcie spoczywa główny ciężar związany z merytorycznym i odpowiedzialnym podejściem do projektu, głównie ze względu na bezpośredni kontakt z inwestorem. Zdaniem autora wiedza projektanta powinna być szersza niż obowiązujące go akty prawne. Optymalizacja proekologiczna i energetyczna budynku winna odbywać się w zakresie szerszym, niż mówią o tym przepisy, poprzez rozpatrywanie indywidualnych możliwości wynikających z uwarunkowań lokalnych.

CEL PRACY I UZASADNIENIE

Niniejsza praca poddaje analizie rozwiązania w architekturze związane ze zmniejszeniem zapotrzebowania na energię budynku w sposób pasywny. W szczególności omawiany jest ich wpływ na formę architektoniczną. Zagadnienie estetyki obiektów lub poszczególnych elementów jest niezwykle istotne, ponieważ o dobrej jakości architektury nie świadczą wyłącznie kryteria konstrukcyjne, technologiczne, użytkowe i energetyczne. Budynki pozbawione estetycznego wyglądu odchodzą od pojęcia dobrej architektury, stając się obiektami wyłącznie inżynierskimi. Budownictwo o niskim zapotrzebowaniu na energię ze względu na stosowanie specyficznych rozwiązań dla osiągnięcia celu, jakim jest ograniczenie zapotrzebowania na energię, zdaje się być obciążone dużym ryzykiem odejścia od powszechnej obecnie estetyki. Z drugiej strony omawiane rozwiązania wywodzą się często z tradycji, są nią inspirowane lub przetworzone przez współczesną technologię, tworząc zbiór rozwiązań ugruntowanych kulturowo.

Głównym celem niniejszej pracy jest określenie wpływu stosowania rozwiązań pasywnych na tkankę architektoniczną. Optymalizowanie energetyczne budynków z uwzględnieniem poszczególnych rozwiązań i całych strategii pasywnych wiąże się z projektowaniem elementów często stanowiących integralną część budynku. Zastosowanie kryteriów optymalizacji energetycznej ma bezpośredni wpływ na: formę architektoniczną, układ funkcjonalno-przestrzenny, obudowę, konstrukcję i orientację. Przeanalizowanie zależności między

⁵ http://www.izbaarchitektow.pl/pliki/zasady_etyki.pdf, dostęp 18.06.2018.

⁶ BAĆ A.: *Zrównoważenie w architekturze : od idei do realizacji na tle doświadczeń kanadyjskich*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2016.

⁷ https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/Badanie_swiadomosci_i_zachowan_ekologicznych_mieszkancow_Polski_badanie_trackingowe_2011_.pdf, dostęp 18.06.2018.

⁸ https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/Badanie_swiadomosci_i_zachowan_ekologicznych_mieszkancow_Polski_badanie_trackingowe_2014_.pdf, dostęp 18.06.2018.

wymienionymi aspektami a architekturą przybliży czytelnikowi ich wzajemne relacje – nie jako oddzielne elementy instalacji i architektury, lecz jako zintegrowane części obiektu, ściśle ze sobą powiązane.

Celem pośrednim jest systematyzacja wiedzy i stworzenie podstaw do dalszych interdyscyplinarnych badań w zakresie relacji między pasywnymi rozwiązaniami energooszczędnymi a formą architektoniczną. Wyodrębniono szereg rozwiązań tworzących strategię, których implementację zbadano na wybranych przykładach zrealizowanych domów jednorodzinnych.

Kolejnym celem pośrednim jest wskazanie tendencji wykorzystania rozwiązań pasywnych we współczesnych domach energooszczędnych. Mają one stać się pomocą w dydaktyce oraz projektowaniu nowoczesnej, energooszczędnej, a zarazem atrakcyjnej architektury, zwłaszcza domów jednorodzinnych.

Tematyka pracy została podjęta ze względu na zainteresowanie autora budownictwem energooszczędnym i przeświadczenie, że ma ono duży wpływ na ekspresję budynku, w szczególności w domach jednorodzinnych. W chwili decyzji o temacie pracy postawiona została hipoteza, że energooszczędne budownictwo jednorodzinne ma wyraźny zbiór rozwiązań tworzący charakterystyczną estetykę lub język architektoniczny, czego miała dowieść praca. Autor od początku swojej praktyki zawodowej, od 2010 roku, pracował przy wielu projektach budynków jednorodzinnych, co spotęgowało potrzebę pogłębienia i usystematyzowania wiedzy we wskazanym zakresie.

Praca ma zastosowanie zarówno badawcze i dydaktyczne, jak i duże znaczenie dla praktyki architektonicznej w Polsce. Stanowi zebrane źródło wiedzy na temat rozwiązań pasywnych w budownictwie jednorodzinnym, które mogą być także zaimplementowane do obiektów usługowych małokubaturowych. Wiedza zawarta w dysertacji ma również charakter popularyzatorski i informacyjny, może więc posłużyć również potencjalnym inwestorom lub użytkownikom domów.

ZAKRES BADAŃ

Jako zakres badań przyjęto energooszczędne domy jednorodzinne wybudowane od 2003 do 2017 roku na obszarze objętym klimatem umiarkowanym ciepłym.

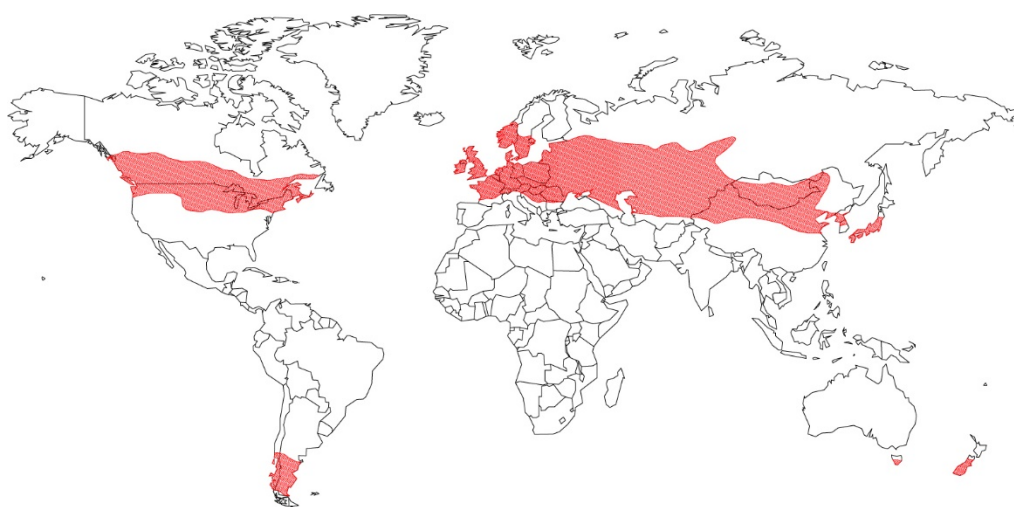
Na badane rozwiązania i strategię pasywne w budownictwie jednorodzinnym mają bezpośrednio wpływ warunki klimatyczne. Do elementów klimatu należą: promienie słoneczne, temperatura powietrza, wilgotność powietrza, opady atmosferyczne oraz ciśnienie atmosferyczne i związane z nim wiatry. Są one zależne od czynników kształtujących, takich jak szerokość geograficzna, cyrkulacja atmosferyczna, wysokość nad poziomem morza, rozkład lądów i mórz, ciepło pochodzące od Słońca i z wnętrza Ziemi, ale i działalność człowieka. Problematyka rozpatrywania architektury w kontekście uwarunkowań klimatyczno-środowiskowych jest znana prawie od początków budownictwa. Człowiek w swych siedliskach zmuszony był do tworzenia schronień zgodnie z występującymi warunkami. Korzystanie z odnawialnych zasobów środowiska, będące skutkiem braku technologii pozwalających na przeciwstawienie się siłom przyrody, pozwoliło na wytworzenie rozwiązań urbanistyczno-architektonicznych wynikających bezpośrednio z lokalizacji [9]. Zjawiska fizyczne zachodzące w budynku zależne są od czynników

⁹ WEHLE-STRZELECKA S.: *Związki z tradycją we współczesnych energooszczędnych rozwiązaniach architektoniczno-urbanistycznych – na przykładzie architektury słonecznej. The relation with tradition in modern energy-efficient architecture and urbanism on the example of solar architecture*. [W:] Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych, Commission of Architecture, Urban Planning and Landscape Studies, Polska Akademia Nauk, Oddział w Lublinie 2, 2006.

klimatotwórczych – meteorologicznych i niemeteorologicznych. W myśl takiej zależności architektury od środowiska lokalnego R. Erskine zastąpił modernistyczną regułę „forma wynika z funkcji” stwierdzeniem „forma wynika z klimatu” [10,11]. W kontekście architektury energooszczędnej można wręcz postawić tezę, że forma wynika z energii [12]. Czynniki te mają charakter stochastyczny.

Zakres badań zawężony jest pod względem geograficznym. Rozwiązania doskonale sprawdzające się w skrajnie wysokich lub niskich temperaturach niekoniecznie osiągną oczekiwany efekt w klimacie bardziej umiarkowanym – i odwrotnie, te, które pojawiają się na obszarach o łagodniejszych warunkach, niekoniecznie będą wystarczająco efektywne lub też mogą być skrajnie nieekonomiczne w regionach o odmiennych uwarunkowaniach klimatycznych.

Zgodnie z klasyfikacją Wincentego Okołowicza Polska znajduje się w strefie umiarkowanej ciepłej [13].



RYСУNEK rys. 1. Zakres występowania klimatu umiarkowanego ciepłego zgodnie z klasyfikacją Wincentego Okołowicza.

Badaniem objęto całą tę strefę. Należy podkreślić jednak, że obszar ten jest bardzo rozległy, a odmienna lokalizacja we wskazanej strefie ma istotny wpływ na bilans energetyczny budynku.

W zależności od lokalizacji tylko na samym obszarze Polski zmienia się bowiem dostępność promieniowania słonecznego, średniej rocznej temperatury i prędkości wiatru. Czynniki te wpływają na zapotrzebowanie energii przez budynek [14]. Badania wskazują, że zróżnicowanie

¹⁰ ERSKINE R.: *Arctic Architect-Form Follows Climate; Housing in the Tundra; Usage to Conserve Energy*. „Architectural Design”, UK, 1977, 47, nr 11-12: s. 783-790.

¹¹ WEHLE-STRZELECKA S.: *Związki z tradycją we współczesnych energooszczędnych rozwiązaniach architektoniczno-urbanistycznych – na przykładzie architektury słonecznej. The relation with tradition in modern energy-efficient architecture and urbanism on the example of solar architecture*. [W:] Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych, Commission of Architecture, Urban Planning and Landscape Studies, Polska Akademia Nauk, Oddział w Lublinie 2, 2006.

¹² „FORM FOLLOWS ENERGY” – Zasada projektowania propagowana na zajęciach projektowania architektonicznego „Architektura Energooszczędna” na Wydziale Architektury i Urbanistyki. Autorski kurs dr hab. inż. arch. Anny Bać.

¹³ OKOŁOWICZ W., MARTYN D.: *Regiony klimatyczne*. Atlas Geograficzny Polski. PPWK, Warszawa, 1984.

¹⁴ SORNEK K., RZEPKA K., MIROWSKI T.: *Uwarunkowania środowiskowe projektowania budynków energooszczędnych i pasywnych. Aktywne i pasywne systemy słoneczne*. „Rynek Instalacyjny”, 2015, 3: s. 47-52.

zapotrzebowania na energię na terenie kraju jest w sposób istotny powiązane z lokalizacją, znacząca część energii w domach zużywana jest do ogrzewania, a stosunkowo niewielka do chłodzenia [¹⁵].

Początkowo przyjęto, że badaniem zostaną objęte obiekty, które zaprojektowano po roku dwutysięcznym, co miało ograniczyć zakres analizy do budynków najnowszych. Następnie wyeliminowano projekty niezrealizowane. Ostatecznie ze względu na dostępność materiałów źródłowych i wyniki wyszukiwania badania obejmują domy jednorodzinne powstałe od 2003 do 2017 roku.

METODA PRACY ORAZ STRUKTURA

Wiedza autora o rozwiązaniach pasywnych w budownictwie jednorodzinnym ma trzy źródła:

- badania literaturowe,
- analiza dostępnych przykładów zrealizowanych domów jednorodzinnych,
- praktyka zawodowa.

Badania literaturowe prowadzono dwutorowo. Po pierwsze dokonano przeglądu prac teoretycznych na temat rozwiązań pasywnych, ich efektywności i możliwości stosowania. Po drugie zgłębiono opracowania na temat zrealizowanych obiektów energooszczędnych. Następnie wykonano analizę przykładów domów jednorodzinnych określonych jako energooszczędne. Badania własne prowadzone były metodą selekcji. Zebrane materiały opisowe, zdjęcia, rysunki były poddane analizie i zestawione w formie tabelarycznej zawierającej zagadnienia opisane w Rozdziale I.

WSTĘP zawiera wprowadzenie do rozprawy, w którym określono cele, metodę, zakres badań i najważniejsze pojęcia.

ROZDZIAŁ I niniejszej pracy wykorzystuje metodę monograficzną badań polegającą na krytycznej analizie literatury przedmiotu poprzez analizę poszczególnych rozwiązań pasywnych składających się na strategię. Wyodrębniono pięć głównych zagadnień, do których przypisano analizowane rozwiązania. Rozdział zawiera opis procesów w nich zachodzących, a także ich działanie i konstrukcję. Treść zilustrowana jest autorskimi schematami.

ROZDZIAŁ II zawiera analizę 124 przykładów domów energooszczędnych uwzględniających rozwiązania pasywne. To studium zagadnień w szerszym kontekście wskazujące rozwiązania o dużym potencjale i widocznych konsekwencjach architektonicznych. Rozdział zawiera procentowe zestawienie występowania rozwiązań opisanych w Rozdziale I. Przyjęto pięć grup określających poziom energooszczędności i wpływ na środowisko na podstawie opisów omawianych budynków. Rozdział zawiera również obszerniejszy opis wybranych 11 spośród 124 domów, zilustrowany materiałami graficznymi w postaci zdjęć i rysunków. To analiza typu *case study*. Wytypowane domy zostały szerzej omówione, ponieważ zdaniem autora są one szczególnie istotne pod względem idei wykorzystania rozwiązań pasywnych. Uznać je można za budynki modelowe.

ROZDZIAŁ III – „Udział rozwiązań pasywnych w kształtowaniu formy architektonicznej” – zawiera przegląd konsekwencji architektonicznych rozwiązań opisanych w Rozdziale I. W rozdziale tym wykorzystano elementy metody systemowej, uproszczonej do wybranych

¹⁵ KRAWCZYK D.A., SERRANO A.R.: *Analiza struktury zapotrzebowania na energię do celów grzewczych i chłodniczych w zależności od lokalizacji budynku*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2016, 47.3: s. 118-120.

zależności między elementami systemu [^{16,17}]. Za wejście do systemu przyjęto rozwiązania pasywne składające się na strategię. W tej części podjęto analizę relacji, jakie zachodzą między poszczególnymi rozwiązaniami pasywnymi a konsekwencjami architektonicznymi. Rozdział zawiera liczne zdjęcia ilustrujące opisywane konsekwencje architektoniczne. Synteza omawianych właściwości architektury zobrazowana została za pomocą autorskich schematów.

Rozdziały zawierają wprowadzenia, w których nakreślono zasadniczą treść oraz konstrukcję każdego z nich, oraz podsumowania przedstawiające wnioski.

PODSUMOWANIE – zawiera wnioski z prowadzonych badań oraz tendencji, jakie można wskazać na podstawie przeanalizowanych przykładów domów jednorodzinnych.

Ilustracje w tekście stanowiące bezpośredni cytat innych autorów mają podane źródła w Spisie ilustracji. Rysunki własne są odpowiednio oznaczone na końcu opisu, pod ilustracją. W przypadku wykonania grafiki na bazie opracowania innego autora podano źródło w przypisie.

STAN BADAŃ

Problematyka jednorodzinnego budownictwa energooszczędnego oraz rozwiązań pasywnych jest zagadnieniem szeroko podejmowanym w ramach badań architektonicznych. Występuje dość powszechnie w literaturze i publikacjach naukowych, a badania można określić jako dynamicznie zmieniające się w czasie w kontekście dostępnych na rynku materiałów i technologii. Badania dotyczą głównie technologii i efektywności energetycznej stosowania poszczególnych rozwiązań oraz poszukiwania tendencji rozwoju w zależności od klimatu oraz uwarunkowań lokalnej kultury architektonicznej. Najważniejsze zagadnienia podejmowane w pracy dotyczą:

- występowania rozwiązań pasywnych w budynkach jednorodzinnych,
- konsekwencji architektonicznych stosowania elementów pasywnych.

Istotne informacje dotyczące projektowania z wykorzystaniem rozwiązań pasywnych zawarte są między innymi w opracowaniach dotyczących architektury bioklimatycznej. Wśród nich niezwykle inspirująca okazała się książka Victora Olgyaya *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism* (Princeton University Press) z 2015 r. Zawiera ona szereg analiz dotyczących cech budynku oraz rozwiązań stosowanych w różnych strefach klimatycznych.

Podobną tematykę ujmującą holistycznie zagadnienie kształtowania budynku z uwzględnieniem zależności od składowych klimatu podejmują książka Klausa Daniela *The technology of ecological buildings: Basic principles and measures, examples and ideas*. (Birkhäuser Verlag) z 1997 r., publikacja Vivienne Brophy i Owena J. Lewisa, *A green vitruvius: principles and practice of sustainable architectural design*, (Routledge) z 2012 r. oraz G.Z. Browna i Marka Dekaya: *Sun, wind, and light: architectural design strategies*, (John Wiley & Sons) z 2013 r.

Na nieodłączność warunków klimatycznych jako nieoderwanego od projektu kontekstu wskazują również badacze architektury wernakularnej. Hassan Fathy sięgał w swych badaniach po tradycyjne formy i metody konstrukcji między innymi w książce *Natural energy and vernacular architecture* z 1986 r. Kenneth Frampton wskazuje w *Ten points on an architecture of regionalism: a provisional polemic. Architectural Regionalism: Collected Writings on Place*, że czerpanie z architektonicznych tradycji powinno odbywać się nie poprzez cytowanie detali, a przez

¹⁶ CIECHANOWSKI K.: *Podstawy projektowania architektonicznego*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1976..

¹⁷ SZPARKOWSKI Z.: *System ekologiczny architektury zakładu przemysłowego*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.

wykorzystanie podejścia do odniesienia względem lokalnych warunków, poprzez czerpanie z tradycyjnego sposobu myślenia o lokalizacji i jej uwarunkowaniach.

W literaturze krajowej odnaleźć można wiele książek podejmujących tematykę budownictwa energooszczędnego, w tym z udziałem rozwiązań pasywnych. Jan Mikoś podejmuje tę tematykę między innymi w książce *Budownictwo ekologiczne* (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej) z 1996 r. Wacław Celadyn w *Przegrodach przeszklonych w architekturze energooszczędnej* (Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki) z 2004 r. opisuje zagadnienia związane z przegrodami przeziernymi. Rozważania obejmujące zakres tej pracy można odnaleźć również w innych opracowaniach tego autora, w tym w książce *Architektura a systemy roślinne: studium relacji między elementami architektonicznymi a roślinnymi* z 1992 r., gdzie znajdują się informacje na temat relacji roślinności z budynkiem w ramach energooszczędności.

Katarzyna Zielonko-Jung i Janusz Marchwiński w swoich pracach podejmują temat rozwiązań w budownictwie proekologicznym, zajmując się również strategiami pasywnymi. Tematyka ta poruszana jest w książkach: *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej* (Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej) z 2012 r. oraz we *Współczesnej architekturze proekologicznej* (Wydawnictwo Naukowe PWN) z 2014 r. W publikacjach tych autorzy wskazują przeplatanie się rozwiązań pasywnych o dużym przetworzeniu technologicznym oraz tych bezpośrednio czerpiących z tradycji. Ich rozważania skupiają się jednak głównie na budynkach niebędących budynkami jednorodinnymi.

Stanisława Wehle-Strzelecka w *Energii słońca w kształtowaniu środowiska mieszkaniowego: ewolucja koncepcji na przestrzeni wieków* (Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej) z 2014 r. opisuje szczegółowo historię budownictwa słonecznego i sposobów pozyskiwania energii słonecznej.

Prace Tomasza Gaczola były inspirujące przy podejmowaniu tematu wentylacji naturalnej. Szczególnie pomocna okazała się rozprawa doktorska *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego* z 2002 r.

Wiedzę z zakresu inżynierii środowiska z wentylacji obejmują między innymi książki: Jana Ferencowicza *Wentylacja i klimatyzacja* (Arkady) z 1964 r., Piotra Klemma *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli* (Arkady) z 2005 r., Aleksandra Pelecha *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy* (Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej) z 2013 r., Mariana Nantka *Wentylacja z elementami klimatyzacji* (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej) z 2015 r. oraz Henryka Grzegorza Sabiniaka *Wentylacja* (Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej) z 2017 r.

Niezwykle istotna w trakcie pisania pracy okazała się wiedza zawarta w opracowaniu Doroty Chwieduk *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu* (Prace IPPT/Inst. Podstawowych Problemów Techniki) z 1990 r., w pracach współautorstwa M. Jaworskiego i H. Jędrzejuka *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku* (IPPT) z 2006 r. oraz *Energetyka słoneczna budynku* wydana przez Arkady w 2011 r. zawierających szczegółowe informacje na temat rozwiązań pasywnych do pozyskiwania energii słonecznej oraz procesów, jakie zachodzą w instalacjach i rozwiązaniach.

Zagadnienia te poruszane są również przez K. Kotarską, Z. Kotarskiego w *Ogrzewaniu energią słoneczną* (NOT-SIGMA) z 1989 r. i Włodzimierza Smoleca w książce *Fototermiczna konwersja energii słonecznej* (Wydawnictwo Naukowe PWN) z 2000 r.

Materiały dotyczące rozwiązań pasywnych są również licznie publikowane na łamach wydawnictw ciągłych, takich jak: „Czasopismo Inżynierii Ładowej, Środowiska i Architektury”,

„Czasopismo Techniczne. Architektura”, „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, „Instal”, „Izolacje”, „Rynek Instalacyjny”.

POJĘCIE ARCHITEKTURY ENERGOOSZCZĘDNEJ

W polskim ustawodawstwie nie występuje definicja pojęcia architektury energooszczędnej. Definicje zawarte w publikacjach znacznie się różnią. Poniżej zebrano najważniejsze.

Potocznie przyjmuje się, że standard budownictwa energooszczędnego w Polsce określony został w wytycznych Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej do projektowania budynków w standardzie NF 15 i NF 40 [18] na potrzeby dofinansowania, które nie jest aktualnie kontynuowane. Tak przyjęte kryteria wskazują, że wartość wskaźnika EP, określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia, jest mniejsza od wartości 15 lub 40 kWh/m²/rok [19,20]. W materiałach dostępnych na stronie NFOŚiGW brak jednoznacznej definicji. Szczegółowy opis programu stawia tego typu budynkom wiele kryteriów do spełnienia, w tym dotyczących granicznej izolacyjności przegród zewnętrznych. Według informacji podanych na stronie projektu dopłat do budynków energooszczędnych prowadzonego przez NFOŚiGW w latach 2014–2015 zrealizowano 158 przedsięwzięć spełniających kryteria określone w wytycznych. Korzystając z danych ilościowych Głównego Urzędu Statystycznego, można stwierdzić, że w latach 2014–2015 w Polsce wydano pozwolenia na budowę (lub zgłoszenia) dla 149 008 budynków jednorodzinnych [21,22]. Zestawiając te dane, można stwierdzić, że poniżej 0,1% budynków jedno- lub dwulokalowych zakwalifikowano do dofinansowań realizacji budowy obiektów energooszczędnych.

Zgodnie z literaturą tematu różni autorzy podają różne wartości, wskazując, że budynek energooszczędny to taki, który charakteryzuje się zużyciem energii na poziomie mniejszym niż 50–80 kWh/(m²rok) [23,24]. Leszek Laskowski wskazuje, że Międzynarodowa Agencja Energii uznała za wartość graniczną zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania pomieszczeń tę nieprzekraczającą 0,02 kWh/(m²Kd). Dla warunków klimatu Polski za niskoenergochłonny można uznać budynek o wskaźniku zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania pomieszczeń nieprzekraczającym 80 kWh/m²/rok [25]. Według Barbary Ostrowskiej współczesne standardy budynków energooszczędnych powinny zapewniać zapotrzebowanie na ciepło nieprzekraczające 70 kWh/(m²rok) [26]. Wartość taka podana została w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie w Załączniku nr 2. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania,

¹⁸ RAMCZYK M.: *Uwarunkowania prawne budownictwa energooszczędnego w Polsce*. [W:] Budownictwo energooszczędne w Polsce-stan i perspektywy, red. Wesółowska M., Wyd. Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz, 2015: s. 45-56.

¹⁹ <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/doplata-do--kredytow-na-domy-energooszczedne/informacje-o-programie/>, dostęp 02.07.2018.

²⁰ <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/doplata-do--kredytow-na-domy-energooszczedne/wytyczne-do-programu-priorytetu/>, dostęp 02.07.2018.

²¹ <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodki-trwale/budownictwo/budownictwo-mieszkaniowe-i-iv-kwartal-2014-r-4,18.html>, dostęp 02.07.2018.

²² <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodki-trwale/budownictwo/budownictwo-mieszkaniowe-i-iv-kwartal-2015-r-4,24.html>, dostęp 02.07.2018.

²³ PŁAZIAK M.: *Domy energooszczędne i pasywne jako nieunikniona przyszłość budownictwa w Polsce*. "Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego", 2013, v. 21: s. 173-188.

²⁴ KASPERKIEWICZ K.: *Wybrane zagadnienia oceny i projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych*. "Prace Instytutu Techniki Budowlanej", 2005, R. 34, nr 2: s. 23-37.

²⁵ LASKOWSKI L.: *Leksykon podstaw budownictwa niskoenergochłonnego*. Polcen, Warszawa, 2009. s. 19

²⁶ OSTROWSKA B.: *Energooszczędność jako czynnik kształtowania architektury. Tradycja i współczesność*. "Czasopismo Techniczne. Architektura", 2012, R. 109, z. 7-A: s. 121-138.

wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynków jednorodzinnych od 1 stycznia 2021 r. powinny wynosić nie więcej niż 70 kWh/(m²rok). W rozporządzeniu nie występuje jednak korelacja wartości z określeniem słownym klasyfikującym energooszczędność budynku. Anna Bać i Krzysztof Cebrat natomiast w jednym ze swoich opracowań przyjmują za budynki energooszczędne obiekty o zapotrzebowaniu na cele ogrzewania, chłodzenia i wentylacji poniżej 60 kWh/(m²rok) [27], podkreślając jednak, że wartość ta zmienna jest w czasie, a wymagania stawiane budynkom powinny rosnąć. Ze względu na ciągły rozwój technologiczny i podwyższanie wymogów, jakie stawia się budynkom pod względem energooszczędności, kryterium EP powinno być więc zmienne w czasie.

Leszek Laskowski zauważa, że bardziej poprawnym nazewnictwem byłby budynek „niskoenergochłonny”. Przyjęte w większości publikacji i powszechnie stosowane określenie energooszczędny może wynikać z błędnego tłumaczenia z języka angielskiego. Samo słowo „energooszczędny” sugeruje, że budynek może energię oszczędzać. Tymczasem po zakończeniu budowy jego eksploatacja przez użytkowników będzie pochłaniać mniej lub więcej nakładów energetycznych i finansowych. Wydajność energetyczna zaprojektowanego budynku może skutecznie wspomagać lub ograniczać wpływ budynku na środowisko. Czynniki ludzki pozostaje jednak istotny [28].

Jan Mikoś wskazuje, że architektura energooszczędna to termin pochodny od architektury i ekonomii. Oszczędność w tym terminie jest pojęciem bardzo szerokim i względnym, jednak w szczególności odwołuje się do oszczędnego gospodarowania energią, surowcami, materiałami, czasem, przestrzenią, terenem, środowiskiem naturalnym i sztucznym. Tak ujęte ramy wskazują na wieloaspektowe racjonalne podejście do procesu projektowego [29].

Według Piotra Jadwiszczaka budynek energooszczędny to taki, który ma zapotrzebowanie na energię niższe niż obowiązujące standardy energetyczne [30]. Podobnie zagadnienie definiuje Beata Sadowska, wskazując jednocześnie, że w Polsce nie ma jednolitej klasyfikacji budynków według ich jakości energetycznej, a w polskim ustawodawstwie nie są zdefiniowane pojęcia budynku energooszczędnego czy niskoenergochłonnego [31]. Piotr Jadwiszczak za czynniki kształtujące energochłonność uznaje: bryłę budynku, lokalizację i orientację, wyposażenie techniczne i instalacyjne, parametry komfortu i sposób eksploatacji [32]. Podobnie zagadnienie definiuje Przemysław Markiewicz. Budynek energooszczędny to budynek o znacząco wyższej wydajności energetycznej od budynków normatywnych. Do osiągnięcia znacznej redukcji energii powinny być w nim zastosowane rozwiązania architektoniczno-budowlane i instalacyjne przeznaczone do osiągania wysokiej wydajności w tym zakresie [33].

Stanisława Wehle-Strzelecka wskazuje szerszą definicję, obejmującą cały cykl życia budynku: „Architektura energooszczędna to architektura, w której ilość skumulowanej energii, równoważna sumie wydatkowanej w całym cyklu «życia» (pozyskanie surowców i materiałów, proces produkcji elementów i ich dostarczenia na plac budowy, proces budowy, wyposażenia, eksploatacji,

²⁷ BAĆ A., CEBRAT K.: *Budynki energooszczędne w praktyce*, [W:] Budownictwo energooszczędne w Polsce: stan i perspektywy. red. M. Wesołowska, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz: 2015: s. 333-342.

²⁸ LASKOWSKI L.: *Leksykon podstaw budownictwa niskoenergochłonnego*. Polcen, Warszawa 2009, s. 17

²⁹ MIKOŚ J.: *Budownictwo ekologiczne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1996.

³⁰ JADWISZCZAK P.: *Budynek energooszczędny – wprowadzenie*. "Rynek Instalacyjny", 2013, nr 3: s. 48-52.

³¹ SADOWSKA B.: *Model projektowania niskoenergochłonnych budynków mieszkalnych w zabudowie jednorodzinnej*. "Izolacje", 2013, R. 18, nr 1(172): s. 14-20.

³² JADWISZCZAK P.: *Budynek energooszczędny – wprowadzenie*. "Rynek Instalacyjny", 2013, nr 3: s. 48-52.

³³ MARKIEWICZ P.: *Zintegrowane projektowanie energetyczne*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2015.

likwidacji budynku), jest relatywnie mała. Istotne jest adekwatne do klimatu przystosowanie (rozwiązania architektoniczne i strukturalno-materiałowe) do wykorzystywania ciepła pozyskiwanego wskutek konwersji promieniowania słonecznego” [34]. Tak sformułowana definicja bez określenia granicznego zapotrzebowania na energię może prowadzić jednak do znacznego rozszerzenia obszaru, na co wskazuje Leszek Laskowski.

Na potrzeby niniejszej pracy jako budynki energooszczędne rozpatrywane będą obiekty realizowane w myśl definicji sformułowanej przez Przemysława Markiewicza, ze względu na jej uniwersalność i niezależność od rosnących wymogów względem budynków oraz wskazanie na zależność od rozwiązań architektoniczno-budowlanych.

Na potrzeby pracy przyjęto również, że budynki opisane przez projektantów wybranych do analiz przykładów jako energooszczędne są w rzeczywistości obiektami energooszczędnymi i tym samym klasyfikują się do jednej z pięciu grup świadczących o zmniejszonym zużyciu energii i wpływie na środowisko.

POJĘCIE STRATEGII PASYWNYCH

Główne skojarzenie związane ze sformułowaniem rozwiązań pasywnych w architekturze to termin budownictwa pasywnego. Sformułowanie „pasywny” odnosi się tu przede wszystkim do pasywnego pozyskiwania energii słonecznej, dzięki czemu możliwe jest radykalne ograniczenie zapotrzebowania energii z konwencjonalnych źródeł energii przy uwzględnieniu pozostałych wymogów stawianych tego typu budownictwu. Zgodnie ze standardem opracowanym przez W. Feista i B. Adamsona budynki uznawane za pasywne w tym zakresie powinny spełniać następujące kryteria:

- zapotrzebowanie na energię do ogrzewania chłodzenia i wentylacji $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$,
- maksymalne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$,
- współczynnik przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- współczynnik przenikania ciepła przez okna $\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ przy przepuszczalności energii słonecznej $\geq 60\%$,
- stosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, sprawność rekuperatora $\geq 75\%$ przy poborze energii elektrycznej $< 0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$,
- zużycie energii pierwotnej do zaspokojenia wszystkich potrzeb energetycznych domu $\leq 120 \text{ kWhW}/(\text{m}^2\text{rok})$.

Budownictwo pasywne w rozumieniu certyfikacji opracowanej w instytucie w Darmstadt nie jest jednak tematem niniejszej pracy. W tym konkretnym typie budownictwa jedynie część rozwiązań stanowi rozwiązania i strategie pasywne *sensu stricto*. W potocznym postrzeganiu tematu występuje pomieszanie pojęć certyfikowanego budownictwa pasywnego z budynkami wykorzystującymi rozwiązania pasywne (bierne) niepodlegającymi certyfikacji. Praca skupia się na rozwiązaniach wpływających na obniżenie zapotrzebowania obiektu na energię w szerszej grupie budynków, określonych jako energooszczędne.

Analizując architekturę jako zespół elementów składających się na jej całość: formę, funkcję, konstrukcję, instalacje, możemy wskazać ich charakter pasywny lub aktywny w zakresie działania, jakim jest zmniejszenie zużycia energii. Rozwiązania pasywne opisywane w literaturze odnoszą się głównie do pozyskiwania energii z insolacji, dzieląc tego typu zyski na bezpośrednie i pośrednie. Jest tu mowa o darmowej energii służącej głównie do ogrzewania budynku. Są to rozwiązania

34 WEHLE-STRZELECKA S.: *Architektura słoneczna w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym: wybrane problemy*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2004.

bazujące na zjawiskach fizycznych zachodzących w budynku lub jego elementach – oparte głównie na konwekcji, promieniowaniu, przewodzeniu, przemianie fazowej czy pojemności cieplnej materiałów i innych zjawisk fizycznych. Sterowanie układem odbywa się samoczynnie, ręcznie lub z dopuszczeniem elementów sterujących mechanicznych, mających na celu utrzymanie odpowiedniego komfortu termicznego i zapewnienie indywidualnych potrzeb mieszkańców [35]. Ze względu na zależność działania rozwiązań pasywnych od czynników zewnętrznych i konieczności utrzymania ich sprawności np. w przypadku kanałów wentylacyjnych zaleca się zabezpieczenia w postaci wentylatorów umożliwiających cyrkulację powietrza w pochmurne dni. Rozwiązania takie można nazwać semipasywnymi lub hybrydowymi.

Coraz popularniejsze stają się również zagadnienie chłodzenia z wykorzystaniem rozwiązań pasywnych, tzw. *free cooling*. Polega on na wykorzystaniu przepływu mas powietrza, które odbiera ciepło z masywnych elementów konstrukcji. Może przyczynić się do poprawy środowiska wewnątrz budynku, zwiększając komfort jego użytkowania, stając się konkurencją dla zaawansowanych systemów HVAC lub ich dopełnieniem.

Ze względu na możliwość wykorzystania wyżej wymienionych rozwiązań w małej skali, z niskim lub zerowym nakładem finansowym na konserwację i obsługę oraz przy stosunkowo niskim nakładzie finansowym w przypadku ich uwzględnienia w projekcie, są to rozwiązania o wysokim potencjale zastosowania w budynkach jednorodzinnych. Szacuje się, że koszt dostosowania budynku do pozyskiwania pasywnie zysków z insolacji to 10–15% wartości inwestycji [36].

Grupa rozwiązań pasywnych wywodzi się ze starożytności. Budowniczowie, a później architekci, w zależności od klimatu i kultury wypracowali szereg powtarzających się w danym regionie rozwiązań mających umożliwić bardziej komfortowe życie. Wnikliwa obserwacja korzyści i wad konkretnych elementów doprowadziła do ich powielenia i utrwalenia w kulturze różnych regionów.

Dla celów niniejszej pracy jako rozwiązania pasywne przyjęto systemy, w których przepływ energii nie jest wymuszony przy użyciu energii doprowadzonej z zewnątrz, z dopuszczeniem rozwiązań semipasywnych, gdzie wykorzystywany jest np. wentylator wspomagający o pomijalnym w obliczeniach zużyciu energii. Jako czynnik przyjęto też nawyki użytkowników, które wspomagają zaprojektowane rozwiązania, z dopuszczeniem sterowania automatyką w oparciu o dane z czujników.

Strategie pasywne wskazać można w zakresie:

- ogrzewania,
- chłodzenia,
- wentylacji,
- oświetlenia,
- zachowania energii,

w skład, których wchodzi grupy rozwiązań pasywnych. Rozwiązania te mogą stanowić jednocześnie elementy różnych strategii.

³⁵ GÓRĘCKA M.: *Słoneczna termomodernizacja na przykładzie projektu architektonicznego*. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 2015, 14, nr 2: s. 63-73.

³⁶ JADWISZCZAK P.: *Wpływ otoczenia na bilans energetyczny budynku energooszczędnego*. "Rynek Instalacyjny", 2013. nr 5: s. 61-64.

ROZDZIAŁ I – STRATEGIE PASYWNE W DOMACH ENERGOOSZCZĘDNYCH

1.1 WPROWADZENIE

Strategie pasywne to zagadnienie odwołujące się do rozwiązań i działań mających na celu zmniejszenie zapotrzebowania budynku na energię grzewczą, do chłodzenia i wentylacji, które nie wymagają dostarczenia prądu, a przepływ nośnika energii, którym jest w większości przypadków powietrze, następuje w sposób niewymuszony mechanicznie. Rozwiązania te powiązane są z zachowaniem, poborem, odzyskiem oraz obiegiem energii w budynku, które na potrzeby pracy przeanalizowane zostały w zakresie: układu funkcjonalnego, zachowania energii jako koncepcji kształtowania bryły i jej powłoki, zysków solarnych, oświetlenia oraz wentylacji.

Odpowiednie grupowanie pomieszczeń pod względem komfortu cieplnego oraz wykorzystanie ciepła odpadowego prowadzą do ograniczenia wzrostu wydajności energetycznej budynku [37]. Kształtowanie układu funkcjonalnego ze szczególną dbałością w zakresie potencjalnych strat energii przez ściany zewnętrzne z pomieszczeń o wyższej temperaturze użytkowej oraz ze zwróceniem uwagi na zyski słoneczne to strefowanie termiczne.

Zapewnienie odpowiedniego oświetlenia naturalnego należy również rozpatrywać w kontekście energooszczędności, poprzez odpowiedni jego dobór dla różnie funkcjonujących przestrzeni. Jakość i rodzaj światła dziennego wpływają na komfort użytkowania poszczególnych pomieszczeń w budynku. Pozwalaj również na redukcję nakładów energii na wykorzystywane oświetlenie sztuczne w ciągu dnia. Oświetlenie światłem dziennym podjęte zostało w pracy jako istotny czynnik wpływający na strefowanie budynku.

Zachowanie energii to strategia pasywna polegająca na ograniczeniu wymiany energii cieplnej między budynkiem a otoczeniem, głównie poprzez redukcję wymiany energii przez obudowę budynku oraz odpowiednie jej gromadzenie w materiałach o dużej masie termicznej. Polega głównie na zapewnieniu odpowiedniej izolacyjności i szczelności przegród zewnętrznych oraz możliwości akumulacji cieplnej. Zastosowanie skutecznych rozwiązań w tym zakresie pozwala zarówno ograniczyć straty ciepła w okresie grzewczym, jak i chronić przed nadmiernym przegrzewaniem w okresie wysokiego poziomu insolacji w okresie letnim. Jako aspekt wpływający w znaczący sposób na konsekwencje architektoniczne, należy wskazać kształtowanie bryły budynku.

Insolacja jest najbardziej dostępnym źródłem energii, dla pasywnych strategii w zakresie zysków energii. Wynika to z najszerzego dostępu do energii w tej postaci oraz dużej możliwości wykorzystania jej w postaci zysków bezpośrednich i pośrednich do ogrzewania. Brak korelacji między najwyższą dostępnością energii słonecznej a zapotrzebowaniem na nią domu powoduje, że insolacja jest w zależności od okresu czynnikiem korzystnym albo negatywnym. Wymaga to więc od projektanta odniesienia się do energii słonecznej w zakresie trzech odrębnych strategii: ogrzewania, ochrony przed przegrzewaniem oraz oświetlenia naturalnego. W powiązaniu z kształtowaniem przestrzennym architektury, współzależność wyżej wymienionych zagadnień oraz ich odmienna funkcja mogą powodować konflikty, którym należy przeciwdziałać. Stosowanie odpowiednich rozwiązań sprawia, że poszczególne elementy budynku zyskują dodatkową funkcję – energetyczną.

³⁷ BIEDROŃSKA J., FIGASZEWSKI J.: *Wykorzystanie schematów energetycznych w projektowaniu budynków energooszczędnych*. [W:] Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska, red. Bać A., i Kasperski J., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, s. 61-70.

Pozyskiwanie energii słonecznej w sposób bezpośredni wiąże się z odpowiednim usytuowaniem budynku na działce, orientacją oraz kształtowaniem elewacji pod względem proporcji powierzchni przeziernych do pełnych ścian. Na poprawne gospodarowanie pozyskanym w ten sposób ciepłem, wpływa odpowiedni sposób akumulacji energii w elementach budynku o dużej pojemności cieplnej oraz właściwe jej rozprowadzanie.

Jako odrębne zagadnienie związane z promieniowaniem słonecznym wyodrębniono technologie służące do zmiany sposobu oświetlenia naturalnego, w tym do zwiększenia penetracji wnętrza światłem dziennym.

Obniżenie zapotrzebowania na energię można osiągnąć przez odpowiednią ochronę przed przegrzewaniem budynku. Skuteczne osłony przeciwsłoneczne okien oraz ochrona nieprzeziernych powłok budynku, takich jak ściany i dach, przed promieniami słonecznymi ogranicza wzrost temperatury wnętrza. Obniżanie temperatury powinno być możliwe również przez nocne przewietrzanie oraz przy wsparciu systemów bazujących na zasadzie działania komina słonecznego, łapacza wiatru lub innych rozwiązań architektonicznych pozwalających na pozbycie się nadmiaru energii cieplnej zgromadzonej w masie termicznej budynku. To właśnie wentylacja, poza zapewnieniem poprawnego mikroklimatu, ma duży udział w obniżeniu temperatury wnętrza.

Rozwiązania bierne służące do ograniczenia energochłonności budynku mają często swoje wyraźne odzwierciedlenie w formie architektonicznej. Jest to wynikiem zintegrowania rozwiązań służących do akumulacji, pozyskiwania i transportu energii cieplej oraz chroniących budynek przed przegrzewaniem i wychłodzeniem ze strukturą budynku. To przejaw energii w architekturze w aspekcie technicznym [38]. W budownictwie wykorzystującym strategię pasywne możemy mówić o szczerości architektonicznej w kontekście formy odzwierciedlającej obieg energii w budynku. Stwierdzenie „forma podąża za funkcją” odnosi się tu zarówno do kształtowania całego budynku, którego funkcją jest również umożliwienie redukcji zużycia energii, jak i do poszczególnych rozwiązań technicznych w tym celu w nim zastosowanych. Podejście do projektowania, w którym architekt zwraca dużą uwagę na rozwiązania ograniczające zużycie energii już od samego początku procesu projektowego, skutkuje wzrostem wydajności energetycznej budynku oraz kształtowaniem rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych wyraźnie świadczących o uwzględnieniu obiegu energii.

1.2 UKŁAD FUNKCJONALNY

Rozkład pomieszczeń w domu jednorodzinnym, składający się na układ funkcjonalny, zależy od szczegółowych wymagań użytkownika związanych z jego upodobaniami i stylem życia. Czerpie często jednak z utartych kulturowo wymogów dla poszczególnych pomieszczeń, a zależności między strefami funkcjonalnymi uwzględniają ograniczenia technologiczne i prawne. Współcześnie w kontekście zmniejszenia zużycia energii przez budynek należy zwrócić uwagę na kształtowanie rozkładu pomieszczeń z uwzględnieniem strefowania termicznego i świetlnego.

1.2.1 STREFOWANIE TERMICZNE

Strefowanie termiczne budynku odwołuje się do zapotrzebowania poszczególnych stref na energię ciepłą i utrzymywane w poszczególnych pomieszczeniach temperatury. Pomieszczenia o wyższej temperaturze obliczeniowej, takie jak łazienki i kuchnie oraz inne pomieszczenia ze źródłami ciepła odpadowego wytwarzanego jako efekt uboczny działania urządzeń, nie powinny być lokalizowane w północnej części budynku. Lokalizacja przy ścianach zewnętrznych powoduje wzrost strat ciepła, ponieważ wymiana energii przez przegrodę jest większa przy wyższej różnicy

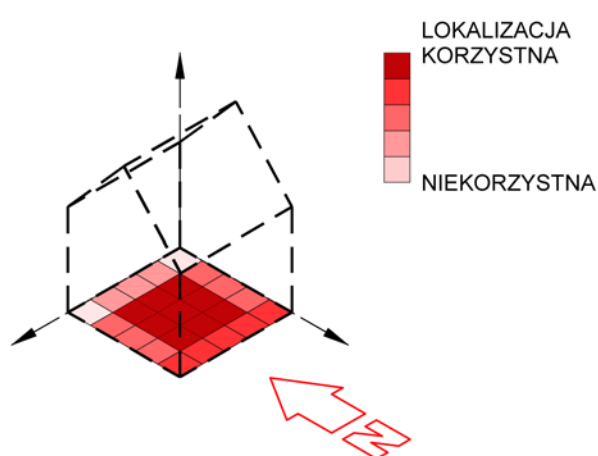
³⁸ CELADYN, W.: *Energia w architekturze*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki : teoria i historia”, 2012, T. 57, z. 3: s. 36-56.

temperatur po jej obu stronach. Korzystnym rozwiązaniem może być próba lokalizacji jak najbliżej części centralnej budynku pomieszczeń zgrupowanych ze względu na wyższą temperaturę w nich występującą. Tak powstały trzon w efekcie ubocznym pośrednio ogrzewa pomieszczenia otaczające.

Od strony północnej lub najbardziej narażonej na wychłodzenie przez najczęściej wiejące wiatry warto lokować pomieszczenia o niższej temperaturze użytkowej, takie jak garaże i pomieszczenia pomocnicze. W przypadku garaży powinny być one oddylatowane i niezależne termicznie, co zmniejsza kubaturę strefy ogrzewanej. Takie rozlokowanie pomieszczeń tworzy strefę buforową ograniczającą dodatkowo wychładzanie budynku. Badania wskazują, że ochrona budynku przed przegrzewaniem i utratą ciepła z zastosowaniem przestrzeni buforowej jak drugiej powłoki znacząco wpływa na efektywność energetyczną budynku [³⁹,⁴⁰].

Ze względu na przemieszczanie się mas ciepłego powietrza ku górze można również podjąć próbę strefowania termicznego w pionie, lokując sypialnie, gdzie korzystniejsza jest nieco niższa temperatura, na kondygnacjach niższych [⁴¹].

Aspektem znajdującym się na pograniczu strefowania termicznego i świetlnego jest lokalizacja ze względu na możliwość pozyskiwania energii cieplnej do ogrzewania. Pomieszczenia i strefy ukierunkowane na ten aspekt powinny być lokalizowane od południa (RYSUNEK 1.2.1, rys. 1).



RYSUNEK 1.2.1, rys. 1. Schemat strefowania termicznego przedstawiający strefy korzystne i niekorzystne.

Opracowanie własne.

1.2.2 STREFOVANIE ŚWIETLNE

Strefowanie świetlne budynku skupia się na rozlokowaniu pomieszczeń pod kątem ich zapotrzebowania na oświetlenie w celu zminimalizowania zużycia energii związanej z wykorzystaniem światła sztucznego. W budynkach mieszkalnych można wskazać przestrzenie o zapotrzebowaniu na oświetlenie zależne od pory dnia, w której najczęściej przebywają w niej użytkownicy, oraz w zależności od wykonywanych w nich czynności. Pomieszczenia wykorzystywane na stały pobyt ludzi, a w szczególności te z miejscami do pracy, wymagają dobrego dostępu do oświetlenia naturalnego. Należy pamiętać jednak, że nie dla każdej czynności korzystne jest oświetlenie bezpośrednie. Ostre światło słoneczne padające na stanowisko pracy może być mniej korzystne niż światło odbite – w zależności od wykonywanych prac. Często ze

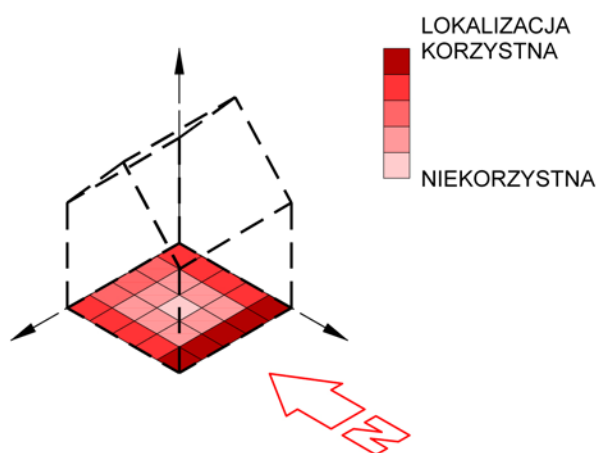
³⁹ BAĆ A., CEBRAT, K. NOWAK Ł.; *Podwójna przegroda w zrównoważonym domu blisko zeroenergetycznym*, „Materiały Budowlane”, 2014, nr 1: s. 22-23.

⁴⁰ NOWAK, Ł. , CEBRAT, K. , BAĆ A.; *Double skin house concept – a study of buffer zone usage in a single family home*, „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2014, R. 111, z. 3-B: s. 353-361.

⁴¹ ALSHARHAN D. i OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-lic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf> dostęp 03.07.2013.

względem na multifunkcjonalność pomieszczeń wymagane mogą być różne warunki oświetleniowe w zależności od chwilowej aktywności.

Pomieszczenia magazynowe, techniczne i pomocnicze o bardzo niskiej intensywności użytkowania mogą być lokalizowane w części budynku o ograniczonym dostępie do światła naturalnego. W budynkach niskich o rozległym rzucie lokalizacja w części wewnętrznej bryły lub od północnej strony charakteryzuje się trudniejszym dostępem do promieniowania słonecznego (RYSUNEK 1.2.2, rys. 1.). Rozwiązaniem tego problemu mogą być świetliki. Dla głębszej penetracji bryły przez światło słoneczne można stosować naświetlanie w ścianach między pomieszczeniami umożliwiające oświetlenie pośrednie. W budynkach kilkukondygnacyjnych w zwartej zabudowie strefowanie ma również duże znaczenie w pionie. Kondygnacje niższe charakteryzują się mniejszą dostępnością do światła bezpośredniego, mają również większe ryzyko zacielenia. Najwyższe kondygnacje charakteryzuje najczęściej najbardziej swobodny dostęp do oświetlenia naturalnego.



RYSUNEK 1.2.2, rys. 1. Schemat strefowania świetlnego przedstawiający strefy korzystne i niekorzystne ze względu na dostępność oświetlenia światłem dziennym.

Przy projektowaniu należy brać jednak pod uwagę indywidualne preferencje użytkownika i projektowaną funkcję pomieszczeń.

Opracowanie własne.

1.2.3 STRELOWANIE – PORÓWNANIE UWARUNKOWAŃ

TABELA 1.2.3, nr 1. Zestawienie wymagaŃ dla orientacji pomieszczeŃ w budynku.
Opracowanie własne.

TYP POMIESZCZENIA	STRELOWANIE TERMICZNE	STRELOWANIE ŚWIETLNE	TRADYCYJNY SPOSÓB KSZTAŁTOWANIA [42, 43]
POKÓJ DZIENNY	POŁUDNIE POŁUDNIOWY WSCHÓD, PÓŁNOCNY WSCHÓD,	DOBRY POZIOM OŚWIETLENIA ŚWIATŁEM DZIENNYM – MOŻLIWOŚĆ REGULACJI	POŁUDNIE, POŁUDNIOWY ZACHÓD
SYPIALNIA	WSCHÓD, POŁUDNIOWY WSCHÓD, PÓŁNOCNY WSCHÓD, ZACHÓD	DOBRY POZIOM OŚWIETLENIA ŚWIATŁEM DZIENNYM – MOŻLIWOŚĆ REGULACJI	PÓŁNOCNY WSCHÓD
ŁAZIENKA	W ODDALENIU OD ŚCIANY PÓŁNOCNEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI NAROŻNIKÓW, ROZPLANOWANIE CENTRALNIE	BRAK WYMAGAŃ	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD, PÓŁNOCNY ZACHÓD
TOALETA	W ODDALENIU OD ŚCIANY PÓŁNOCNEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI NAROŻNIKÓW, ROZPLANOWANIE CENTRALNIE	BRAK WYMAGAŃ	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD, PÓŁNOCNY ZACHÓD
KUCHNIA	MOŻLIWIE W ODDALENIU OD ŚCIANY PÓŁNOCNEJ	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD – ŚWIATŁO ROZPROSZONE, ODBITE	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD
JADALNIA	POŁUDNIE, POŁUDNIOWY WSCHÓD, POŁUDNIOWY ZACHÓD	POŁUDNIOWY WSCHÓD, WSCHÓD – ŚWIATŁO ROZPROSZONE, ODBITE	POŁUDNIOWY WSCHÓD, WSCHÓD
POMIESZCZENIE TECHNICZNE	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD, PÓŁNOCNY ZACHÓD	BRAK WYMAGAŃ	BRAK WYMAGAŃ
KOTŁOWNIA POMIESZCZENIE TECHNICZNE (Z PROCESAMI EGZOTERMICZNYMI)	W ODDALENIU OD ŚCIANY PÓŁNOCNEJ, ROZPLANOWANIE CENTRALNIE	BRAK WYMAGAŃ	PÓŁNOC, BRAK WYMAGAŃ
POMIESZCZENIE GOSPODARCZE	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD, PÓŁNOCNY ZACHÓD	BRAK WYMAGAŃ	PÓŁNOC, BRAK WYMAGAŃ
KOMUNIKACJA	BRAK WYMAGAŃ	BRAK WYMAGAŃ, DOŚWIETLENIE POŚREDNIE	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY ZACHÓD, BRAK WYMAGAŃ
SPIŻARKA	PÓŁNOC, PÓŁNOCNY WSCHÓD, PÓŁNOCNY ZACHÓD	BRAK WYMAGAŃ	PÓŁNOC
GARDEROBA	BRAK WYMAGAŃ	BRAK WYMAGAŃ	PÓŁNOCNY WSCHÓD, BRAK WYMAGAŃ

Podejście radykalne do strefowania termicznego może wykluczać część wskazaŃ strefowania świetlnego i odwrotnie. Projektowanie uwzględniające oba podejścia stanowi w pewnym zakresie kompromis.

⁴² KOKOZOW K.: *Podstawy projektowania architektonicznego*. Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego, Warszawa, 1962.

⁴³ NEYFERT E.: *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego*. Arkady, Warszawa, 2011.

1.3 ZACHOWANIE ENERGII W BUDYNKU

Głównymi zagadnieniami związanymi z zachowaniem energii w budynku są izolacyjność i szczelność oraz akumulacyjność cieplna elementów i wyposażenia budynku.

W trakcie ostatnich dziesięcioleci zauważyć można znaczny wzrost wymagań dotyczących izolacyjności przegród zewnętrznych projektowanych budynków. W Polsce od 1964 roku zanotować można niemal pięciokrotne zmniejszenie wartości granicznej współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych. W jednym z pierwszych dokumentów w rodzimym ustawodawstwie wartość dla ściany zewnętrznej wynosiła od 1,4 do 1,16 W/(m²K) [44], w roku 2017 wyniosła 0,23 W/(m²K). Do roku 2021 planowane są dalsze zmiany w tym zakresie mające na celu polepszenie izolacyjności przegród budowlanych [45].

Skuteczne ograniczenie przenikania energii cieplnej przez nieprzezierne przegrody zewnętrzne oraz stosowanie jasnego wykończenia o wysokim współczynniku odbicia chroni przed nadmiernymi zyskami w okresie letnim. Wysoka izolacyjność ścian i szczelność przy braku regulacji zysków solarnych może stać się jednak potencjałem do przegrzewania budynku. Dobra izolacyjność przegród powoduje zatrzymanie ciepła we wnętrzu również w okresie letnim, co może stać się zjawiskiem niekorzystnym. Insolacja w niewłaściwie zaprojektowanym budynku ma więc szansę stać się znacznym zagrożeniem dla komfortu termicznego wnętrza. Na etapie projektowania należy zatem w odpowiedni sposób zabezpieczyć budynek przed tym niebezpieczeństwem za pomocą odpowiednich osłon przeciwsłonecznych.

Wydajność energetyczna budynku zależy również od akumulacyjności energii w przegrodach i elementach wykończenia wnętrza. Pojemność cieplna, zastosowanych w projekcie materiałów budowlanych i wyposażenia, wpływa na zmniejszenie amplitudy temperatury we wnętrzu. Odpowiednie zaprojektowanie przegród budowlanych pod tym kątem może zmniejszyć niekorzystne wahania temperatury, pozwalając na zakumulowanie nadwyżek ciepła pochodzących np. z zysków solarnych czy bytowych [46]. Zmniejszenie amplitudy temperatur wpływa również korzystnie na komfort termiczny użytkowników.

1.3.1 IZOLACJA

Izolacyjność jest cechą materiału lub struktury złożonej odpowiadającą za prędkość przepływu strumienia ciepła przez przegrodę. W odniesieniu do pojedynczych materiałów miarą izolacyjności jest przewodnictwo cieplne, wyrażane przez współczynnik przewodzenia ciepła λ . W kontekście przegrody budowlanej składającej się z wielu różnych materiałów miarą izolacyjności termicznej jest całkowity opór cieplny lub współczynnik przenikania ciepła U . Zgodnie z obecnymi przepisami do roku 2021 będzie następować minimalizacja współczynnika U dla przegród zewnętrznych. Izolacyjność termiczna przegród zewnętrznych ma zasadniczy wpływ na redukcję strat ciepła oraz temperatury po wewnętrznej części przegrody, wpływając bezpośrednio na komfort termiczny

⁴⁴ PN-64/B-03404.

⁴⁵ Dz. U. poz. 926 z 13.08.2013 r. [Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie] – Załącznik nr 2.

⁴⁶ GARBALIŃSKA H.: *Wpływ rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych na ich charakterystyki cieplne*. [W:] *Polityka państwa i kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego*. red. Wesołowska M., Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2015: s. 143-154.

użytkowania wnętrza [47]. Na straty energii wpływa również różnica temperatur po dwóch stronach przegrody. Im większa różnica, tym większa wymiana energii [48].

Niestety według badań współczynnik U uzyskiwany w warunkach laboratoryjnych odbiega od rzeczywistego sposobu przewodzenia ciepła przez lekkie materiały o małej gęstości, takie jak styropian i wełna. Ściany z wykorzystaniem masywnej konstrukcji charakteryzuje mniejsza rozbieżność według projektowanej charakterystyki a rzeczywistością [49].

Dobór izolacji ze względu na koszty wykonania jest odrębnym zagadnieniem. Chociaż sam materiał izolacyjny o wyższym współczynniku λ i większej grubości jest tańszy niż cieńszy o lepszych parametrach, wybór cieńszej warstwy izolacji o lepszym współczynniku λ może okazać się korzystniejszy ze względów ekonomicznych. Wraz z grubością wybranego systemu izolacji termicznej rosną ceny elementów związanych z montażem, wykończeniem i ilością wykorzystanych materiałów budowlanych [50].

W budynkach o wysokiej izolacyjności przegród zewnętrznych, nieposiadających odpowiednich osłon przeciwsłonecznych przegród przeziernych, zachodzi duże ryzyko przegrzewania się wnętrza. Możliwość występowania niekorzystnych warunków potęguje stosowanie popularnych w ostatnim czasie obszernych przeszkleń od południa. Często niedostatecznie zabezpieczonych przed nadmierną insolacją w okresie letnim. W budynkach dobrze izolowanych utrata ciepła przez ściany jest znacznie ograniczona, w związku z czym usuwanie nadwyżek ciepła z wnętrza przejmowane jest praktycznie w całości przez wentylację. Wraz ze wzrostem rocznych średnich temperatur rośnie ryzyko przegrzewania wnętrza i tym samym znaczne obniżenie komfortu [51].

Wśród materiałów przeznaczonych do zapewnienia lepszej izolacyjności powłok zewnętrznych wyróżnić można rozwiązania o bardziej złożonej metodzie działania, do których zaliczyć można izolacje transparentne. Dzięki specjalnej budowie izolacje tego typu pozwalają na ochronę ciepłą budynku oraz pozyskiwanie energii z insolacji. Konstrukcja paneli z izolacji transparentnej bazuje na zastosowaniu komór umożliwiających transfer promieni słonecznych przez wewnętrzne odbicie do absorbera na wewnętrznej stronie izolacji. Wielkość komórek i wypełnienie ich gazem zapewnia dobrą izolacyjność termiczną poprzez obniżenie wymiany ciepła na drodze konwekcji, promieniowania i przewodzenia. Konwersja energii słonecznej na energię ciepłą odbywa się głównie po wewnętrznej stronie izolacji przylegającej do warstwy konstrukcyjnej ściany [52,53]. Rozwiązanie takie pozwala na pozyskiwanie energii solarnej przy bardzo wysokiej izolacyjności nawet od strony północnej budynku.

Materiały stosowane w izolacjach transparentnych mogą być wykorzystywane również w przegrodach przeziernych. Brak absorbera na wewnętrznej stronie paneli izolacji transparentnej pozwala na wprowadzenie przez przegrodę światła do wnętrza. W takim przypadku konwersja fototermiczna następuje głównie w samym pomieszczeniu, jak w przypadku rozwiązań z powłoką przeźroczystą w zyskach bezpośrednich.

⁴⁷ KACZMARZYK M.: *Ocena efektywności izolacyjno-akumulacyjnej przegród zewnętrznych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2014, z. 61, nr 3/II: s. 237-250.

⁴⁸ LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku*. „Rynek Instalacyjny”, 2010, nr 10: s. 32-38.

⁴⁹ SPRINGER M.: *Dobór materiałów izolacyjnych w warunkach budownictwa zrównoważonego*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2011, T. 42, nr 7-8: s. 303-305.

⁵⁰ KIEJNA K.: *Jak gruby powinien być styropian?* „Izolacje”, 2017, R. 22, 7-8(218): s. 66-70.

⁵¹ BZOWSKA D.: *Ryzyko przegrzania budynków izolowanych cieplnie w okresie letnim*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, a. 63, nr 4: s. 43-52.

⁵² CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

⁵³ WILK-SŁOMKA B., STEIDL T.: *Projektowe charakterystyki energetyczne przegród z izolacją transparentną*. „Izolacje”, 2011, R. 16, 5(156): s. 86-89.

Koszt izolacji transparentnej jest jednak obecnie bardzo wysoki, a czas zwrotu inwestycji wykorzystującej technologię izolacji transparentnej jako alternatywę dla standardowych materiałów izolacyjnych obliczany jest na ponad 20 lat. Jednocześnie rozwój technologii szyb zespolonych pozwala osiągnąć podobne efekty energetyczne przy niższych kosztach. Przełom w izolacjach transparentnych upatrywany jest w zastosowaniu aerożeli charakteryzujących się przynajmniej dwukrotnie niższą wartością przewodzenia ciepła niż stosowane powszechnie materiały termoizolacyjne [^{54,55}].

Izolacje transparentne dzięki swoim właściwościom mogą zwiększyć efektywność działania ścian kolektorowo-akumulacyjnych i kominów słonecznych, ograniczając straty energii przez przegrodę przezierną kolektora [^{56,57}].

Poprawnie zaprojektowana przegroda zewnętrzna powinna mieć trwałą, nieprzerwaną izolację cieplną zapewniającą stałą wartość oporu cieplnego dla przegrody zewnętrznej. Niejednokrotnie zdarza się jednak, że izolacja termiczna jest przerywana przez kotwy mocujące elementy elewacyjne, takie jak fasady, balkony, osłony przeciwsłoneczne lub osprzęt różnego typu. Kotwy takie wykonane są często z materiału o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła. Obniżenie izolacyjności poprzez przebicie izolacji ma nierzadko znaczący wpływ na izolacyjność całej przegrody i jest niepomijalne w obliczeniach. Wpływa więc na całościowy bilans energetyczny budynku. W miejscach stosowania elementów o wysokim współczynniku przenikania ciepła dochodzi do punktowego lub liniowego wychłodzenia na wewnętrznej powierzchni ściany, wykraplania się pary wodnej i zapleśnienia. Są to niepożądane i szkodliwe warunki dla użytkowników.

Sytuacja taka występuje również w miejscach, gdzie zastosowano materiał konstrukcyjny przegrody o gorszych parametrach. W miejscach słupów żelbetowych i wieńców występuje mniejszy opór cieplny niż w tej samej ścianie w miejscu wypełnienia bloczkami z ceramiki. W przypadku występowania w przegrodzie zewnętrznej znacznego obniżenia powierzchni wewnętrznej i zwiększania się gęstości strumienia energii cieplnej możemy mówić o mostkach cieplnych, które mogą znacznie wpłynąć na energooszczędność budynku.

Zjawisko mostka termicznego występuje również w narożnikach budynku czy na łączeniu połaci dachu ze ścianą, gdzie powierzchnia zewnętrzna, przez którą odpływa ciepło, jest znacznie większa niż powierzchnia wewnątrz, przez którą ciepło napływa [^{58,59}]. Mostki termiczne na połączeniu dachu ze ścianą mogą być jeszcze większym problemem w przypadku zastosowania rynny ukrytej, powodującej znaczne pocienienie izolacji i zwiększenia stopnia trudności detalu, w konsekwencji podnoszącego ryzyko błędów wykonawczych.

⁵⁴ KISIELEWICZ T.: *Termiczne i ekonomiczne aspekty stosowania izolacji transparentnej*. "Izolacje", 2010, R. 15, nr 1(142): s. 30-35.

⁵⁵ ZASTAWNA A.: *Izolacja aerożelowa na tle izolacji tradycyjnych*. "Izolacje", 2010, R. 15, nr 9(149): s. 32-36.

⁵⁶ LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku*. „Rynek Instalacyjny”, 2010, 10, 37-41

⁵⁷ LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku*. „Rynek Instalacyjny”, 2010, 10, 34-36

⁵⁸ KLEMM P.: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli*. Arkady, Warszawa, 2005.

⁵⁹ DYLLA A., HOŁOWNIA P.: *Trójwymiarowe mostki termiczne w narożniku przegród*. "Zeszyty Naukowe. Budownictwo i Inżynieria Środowiska/Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy", 2001, z. 32(235): s. 53-58.

1.3.2 SZCZELNOŚĆ

Szczelność budynku świadczy o niekontrolowanej wymianie powietrza z otoczeniem wpływającej na zwiększenie strat energii wraz z powietrzem przepływającym przez powłoki zewnętrzne budynku. Szczelność powietrzną budynków w polskim ustawodawstwie opisuje parametr n_{50} . Niestety forma przepisów opisujących szczelność i sposób jej sprawdzania po wykonaniu budynku przedstawione są jedynie w formie zalecenia i nie mają mocy wiążącej [60].

Powłoki budynku wykonane w konstrukcji tradycyjnej jako ściany masywne pozwalają na łatwiejsze zapewnienie szczelności dla samej przegrody. Nieszczelności najczęściej występują w połączeniach z innymi elementami, np. z oknami, drzwiami czy innym typem konstrukcji oraz w miejscu przebieg przegrody przez instalacje. W opisach budynków wykonanych w technologii prefabrykatów drewnianych często spotyka się stwierdzenie, że prefabrykacja pozwala na dokładniejsze dopasowanie elementów i zachowanie odpowiedniej szczelności.

Technologia szkieletu drewnianego wykonywanego na miejscu budowy ze względu na większą liczbę skomplikowanych połączeń niesie ryzyko wystąpienia licznych błędów wykonawczych. Brak odpowiedniej szczelności obudowy budynku może generować straty energii sięgające w określonych przypadkach do 40% [61].

1.3.3 AKUMULACJA

Akumulacyjność jest istotnym parametrem odnoszącym się między innymi do przegród budowlanych. Często jednak niedocenianym. Akumulacyjność cieplna wynika z ciepła właściwego materiału oraz jego gęstości. Nie ma wpływu na straty ciepła, zapewnia jednak dużą bezwładność cieplną. Właściwość taka czyni wnętrze mniej podatnym na wahania temperatury [62]. Porównanie wybranych materiałów pod względem możliwości akumulacji ciepła przedstawiono w TABELI 1.3.3, nr 1.

Materiał	Gęstość [kg/m ³]	Ciepło właściwe [kJ/(kg*K)]	Ciepło właściwe [MJ/m ³ *K]
Woda	1000	4,2	4,2
Beton	2300	1,0	2,3
Stal	7800	0,47	3,67
Płyta gipsowa	1400	0,84	1,18
Cegła	1600	0,84	1,34
Drewno	600	1,6	0,96
PCM	870–1000	18,0	15,7–18

TABELA 1.3.3, nr 1. Porównanie pojemności cieplnej różnych materiałów [63].

Powierzchnia zdolna do akumulacji energii cieplnej wpływa na możliwość zastosowania większych przeszkleń przy mniejszym ryzyku przegrzewania się wnętrza. Projektowanie akumulacji cieplnej przez masywne elementy budynku powoduje, że staje się on mniej wrażliwy na zmiany warunków atmosferycznych, zachowując stabilniejsze warunki we wnętrzu [64].

⁶⁰ Dz. U. poz. 926 z 13.08.2013 r. [Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie] – Załącznik nr 2.

⁶¹ FIRLAĞ S.: *Szczelność powietrzna budynków pasywnych i energooszczędnych – wyniki badań*. "Czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2012, R. 109, z. 2-B: s. 105-113.

⁶² KACZMARZYK M.: *Ocena efektywności izolacyjno-akumulacyjnej przegród zewnętrznych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2014, z. 61, nr 3/II: s. 237-250.

⁶³ JAWORSKI M.: *Zastosowanie materiałów zmiennofazowych (PCM) do zwiększenia efektywności energetycznej budynków*. "Izolacje", 2009, R. 14, nr 4(135): s. 56-61.

⁶⁴ SOBIECH M.: *O akumulacji ciepła w budynkach*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2017, 73: 74-76.

Akumulacja energii cieplnej może wykorzystywać akumulację ciepła jawnego i utajonego. W przypadku pierwszym stosuje się materiały o dużej masie i pojemności cieplnej. W przypadku drugim wykorzystywany jest proces zmiany stanu skupienia substancji [65].

Modyfikacja typowych materiałów budowlanych w zakresie ich składu może wpłynąć na parametry w zakresie akumulacji i oporu cieplnego. Na przykład zastosowanie odpowiedniego kruszywa może polepszyć właściwości izolacyjne betonu kosztem ciepła właściwego [66]. Poza wyborem materiału istotne jest również usytuowanie go we wnętrzu budynku [67]. Bezpośrednie eksponowanie masy termicznej na działanie energii słonecznej zwiększa skuteczność akumulacji. Podłogi mają lepszą zdolność akumulowania energii słonecznej, natomiast ściany i sufity nieeksponowane na bezpośrednie działanie promieni sprawdzają się lepiej w akumulacji energii cieplnej pochodzącej od użytkowników i z urządzeń [68]. Warto zwrócić uwagę, że ekspozycja na bezpośrednie działanie promieni słonecznych korzystna jest w sezonie grzewczym i przejściowym. W okresie letnim dopływ bezpośredniego promieniowania do elementów akumulacyjnych powinien być ograniczony.

W przypadku płyty fundamentowej wyprowadzenie izolacji termicznej na zewnątrz konstrukcji pozwala na udział całej jej masy w akumulacji energii, w tym w dużym stopniu pozyskiwanej bezpośrednio z promieniowania słonecznego. Samo wyprowadzenie izolacji jako najbardziej zewnętrznej warstwy pozwala również na najkorzystniejsze rozwiązanie izolacji strefy przy ziemi i znaczną redukcję strat ciepła względem rozwiązań tradycyjnych [69].

Rozwiązania materiałowe o bardzo dużych możliwościach akumulacji ciepła wykorzystują zjawisko przemiany fazowej substancji. Materiały zmiennofazowe (PCM) pozwalają w skuteczniejszy sposób ograniczać wahania temperatury oraz zmniejszać dyskomfort związany z bezpośrednimi zyskami solarnymi [70,71]. Zwiększenie pojemności cieplnej budynku przez zastosowanie materiałów zmiennofazowych redukuje liczbę godzin, w których temperatura we wnętrzu osiąga poziom niekomfortowy dla użytkowników [72].

Stosowanie materiałów zmiennofazowych w budynkach może poprawić bilans energetyczny w cyklu całorocznym [73], czego dowodzą liczne badania [74,75]. Ma również istotny wpływ

⁶⁵ NOGAJ K., TURSKI M., SEKRET R.: *Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych PCM do akumulacji ciepła w systemach ciepłowniczych. Cz. 1. Metodyka wyboru materiału PCM*. "Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja", 2017, T. 48, nr 2: s. 47-52.

⁶⁶ GARBALIŃSKA H., STRZAŁKOWSKI J.: *Kruszywo jako czynnik kształtujący parametry cieplne betonów o niemodyfikowanej matrycy cementowej*. "Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury", 2016, z. 63, nr 3: s. 95-104.

⁶⁷ FUCHS M.: *Energy manual: sustainable architecture*. Birkhauser, Basel-Boston-Berlin, 2008.

⁶⁸ GOLAŃSKI M.: *Materiały budowlane jako masa termiczna w budynkach*. "Przegląd Budowlany", 2011, R. 82, nr 12: s. 88-93.

⁶⁹ PIEBIAK I.: *Energooszczędne metody kształtowania przyziemia oraz posadowienia budynków*. "Czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2012, R. 109, z. 2-B: s. 331-336.

⁷⁰ KRASOŃ J.: *Możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w pasywnych rozwiązaniach ściennych elementów murowych*. "Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury", 2014, z. 61, nr 3/II: s. 297-306.

⁷¹ NOWAK K., ZASTAWNA-RUMIN A.: *The possibility of using PCM impregnated gypsum boards of different temperature phase change*. "Czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2014, R. 111, z. 3-B: s. 343-351.

⁷² GERYŁO R.: *Współdziałanie osłon przeziernych i osłon przeciwsłonecznych w zapewnieniu komfortu cieplnego*. "Świat Szkła" 2015, R. 20, nr 4(195): s. 24-27.

⁷³ CHWIEDUK D.: *Solar Energy Use for Thermal Application in Poland*. "Polish Journal of Environmental Studies", 2010, 19, nr 3: s. 473-478.

⁷⁴ CABEZA L.F.: *Introduction to thermal energy storage (TES) systems*. [W:] *Advances in Thermal Energy Storage Systems*. Woodhead Publishing, 2015: s. 1-28.

⁷⁵ KUZNIAK F., JOHANNES K., DAVID D.: *Integrating phase change materials (PCMs) in thermal energy storage systems for buildings*. [W:] *Advances in Thermal Energy Storage Systems*. 2015: s. 325-353.

na efektywność energetyczną budynku w cyklach dwudziestoczerogodzinnych [76]. W okresach dobowych materiały wzbogacone o PCM mogą wykazywać wydłużenie czasu oddawania zgromadzonej energii, co jest zjawiskiem korzystnym. Przy krótkich, kilkugodzinnych cyklach materiały takie mogą wykazywać jednak spadek wydajności pozyskiwania energii z otoczenia ze względu na dłuższy czas oddawania energii niż jej przejmowania [77]. Przy porównaniu zwykłych płyt gipsowych oraz płyt gipsowych z materiałem zmiennofazowym występuje prawie dwukrotnie większa możliwość pochłaniania energii na korzyść materiału z wykorzystaniem PCM [78]. Materiały zmiennofazowe zastosowane do akumulacji energii cieplnej wewnątrz budynku powinny charakteryzować się wysoką przewodnością cieplną wpływającą na efektywność pochłaniania i uwalniania energii. Substancje o małej przewodności wzbogaca się o komponenty poprawiające tę właściwość, takie jak wióry metalowe lub grafit, które stanowią dobre przewodniki. W strukturach kompozytowych stosuje się materiał PCM bardzo rozdrobniony w postaci granulatu [79]. Wydajność rozwiązania zależy od zaprojektowanej temperatury przemiany fazowej materiału oraz jego lokalizacji. Typ materiału zmiennofazowego może ograniczyć w sposób znaczący sumę godzin poza komfortem termicznym lub wyeliminować najwyższe temperatury występujące w analogicznym układzie bez PCM [80,81].

W celu chłodzenia budynku z wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych stosuje się nocne intensywne wentrowanie wewnątrz pozwalające na regenerację zastosowanego materiału poprzez usunięcie zgromadzonej energii.

Rozwiązania wykorzystujące PCM są w większości niewidoczne, gdyż używają jako nośnika powszechnie stosowanych materiałów budowlanych. Wielkość mikrokapsulek z materiałem zmiennofazowym, wchodzących w skład wyrobów budowlanych, nie jest w takim wypadku dostrzegalna gołym okiem. Rzadziej stosowane są akumulatory w postaci zbiorników, które stanowią rozwiązanie widoczne.

Spektrum badań nad wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych w budownictwie jest szerokie. Wśród przykładów zastosowania w rozwiązaniach pasywnych wskazać można użycie materiałów zmiennofazowych w roletach stanowiących osłonę okien. Zastosowanie materiałów typu PCM może ograniczyć maksymalne temperatury uzyskane w przestrzeni między szybą a roletą, przy zachowaniu prawie niezmienną temperatury minimalnej [82]. Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych w przegrodach przeziernych dla zwiększenia komfortu termicznego ma mniejszą szansę zastosowania w warunkach zimowych, gdy temperatury są zbyt niskie dla zaistnienia przemiany stanu skupienia. Przy odpowiednim doborze temperatury zmiany fazowej żaluzje mogą zwiększyć komfort termiczny w okresie przejściowym. Stosowanie PCM w żaluzjach

⁷⁶ WCISŁO-KUCHAREK P., RYMS M., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., DENDA, H.: *Materiały zmiennofazowe używane w budownictwie do zapewnienia komfortu cieplnego w pomieszczeniach*. "Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja", 2017, T. 48, nr 5: s. 196-201.

⁷⁷ NOWAK K., ZASTAWNA-RUMIN A.: *Analysis of test studies of the building barrier containing PCM*. "Czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2015, R.111, z. 5-B: s. 207-213.

⁷⁸ ZASTAWNA-RUMIN A., NOWAK K.: *Badanie przegrody zawierającej materiał fazowo zmienny poddanej zmiennym warunkom termicznym w komorze klimatycznej*. "Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury", 2015, z. 62, nr 2: s. 587-594.

⁷⁹ JAWORSKI M.: *Zastosowanie materiałów zmiennofazowych (PCM) do zwiększenia efektywności energetycznej budynków*. "Izolacje", 2009, R. 14, nr 4(135): s. 56-61.

⁸⁰ ZASTAWNA-RUMIN A., NOWAK K.: *Badanie przegrody zawierającej materiał fazowo zmienny poddanej zmiennym warunkom termicznym w komorze klimatycznej*. "Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury", 2015, 62, nr 2: 595-602.

⁸¹ ZASTAWNA-RUMIN A.: *Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych do ochrony przed przegrzewaniem budynków energooszczędnych*. "Rynek Instalacyjny", 2014, 9: 26-29.

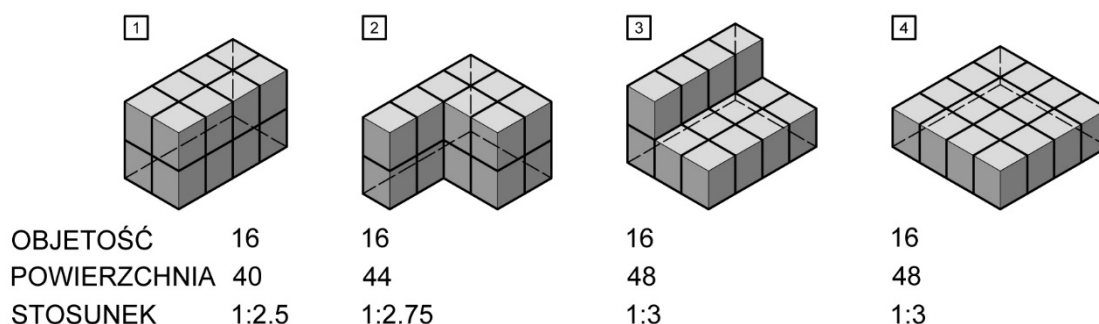
⁸² LICHOLA L., MUSIAŁ M., MIĄSIK P., STARAKIEWICZ A.: *Wpływ organicznych materiałów zmiennofazowych na efektywność energetyczną przegrody przezroczystej*. "Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury", 2016, 63, nr 4: s. 329-337.

zwiększa opór termiczny i bezwładność osłony, zmniejszając dobową amplitudę temperatur [83]. W okresie letnim wpływ zastosowania materiału ma dużo większe znaczenie dla zachowania komfortu termicznego. Grubość warstwy powinna być dobrana odpowiednio do wymaganej pojemności cieplnej [84].

1.3.4 KSZTAŁTOWANIE BRYŁY

Zagadnieniem wpływającym na energooszczędność jest racjonalne kształtowanie bryły budynku pod kątem optymalnego stosunku kubatury ogrzewanej do całkowitej powierzchni zewnętrznej przegród. Zależność ta opisywana jest jako stosunek A/V i określa współczynnik kształtu. Im jego wartość jest mniejsza, tym kształt bryły jest bardziej zbliżony do formy optymalnej pod kątem energooszczędności. Im większa wartość, tym gorzej bryła wypada w ujęciu opisywanego wskaźnika. Najbardziej optymalną bryłą z punktu widzenia tego kryterium jest kula. Kula o objętości jednej jednostki przyjmuje wartość wskaźnika na poziomie 1:4,82, natomiast sześcian o tej samej objętości – 1:6. Większa powierzchnia przegród zewnętrznych przy stałej kubaturze zwiększa powierzchnię wymiany ciepła z otoczeniem, co wpływa na zwiększenie strat ciepła. Dla brył o tej samej kubaturze i różnym stopniu rozczłonkowania wykazano różnice w energochłonności dochodzące do 100% na niekorzyść struktury bardziej skomplikowanej [85]. Bardziej skomplikowana bryła ma często więcej mostków termicznych, w których występuje wielowymiarowe przewodzenie ciepła. Dla różnych brył o tym samym współczynniku kształtu może występować różna liczba mostków termicznych stanowiących połączenia przegród zewnętrznych. Suma krawędzi brył nr 3 i nr 4 przedstawionych na RYSUNKU 1.3.4. rys. 1 różni się o 10 jednostek, chociaż mają taką samą wartość współczynnika kształtu. Bryła nr 4 posiada mniej krawędzi będących potencjalnymi mostkami termicznymi. Zwarta bryła jest więc potocznie opisywana jako bardziej energooszczędna.

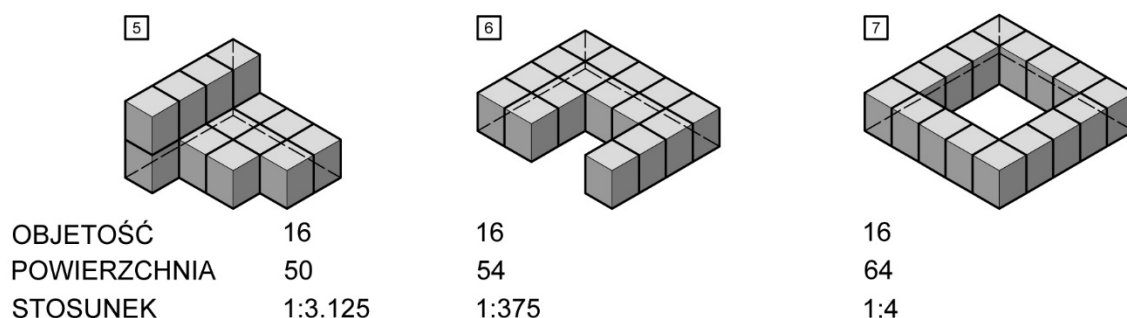
Współczynnik A/V charakteryzuje dużo dokładniej budynki o mniejszej kubaturze. Wrażliwiej reaguje na struktury bardziej rozbudowane w budynkach niewielkich niż tych o znacznej objętości. Niezależnie jednak od wartości współczynnika należy pamiętać, że budynek o mniejszej kubaturze będzie wymagał mniejszej ilości energii do ogrzania. Im większa kubatura, tym więcej energii potrzeba do ogrzewania.



⁸³ MUSIAŁ M.: *Zastosowania materiałów PCM we współpracy z przegrodami transparentnymi*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 1: s. 15-22.

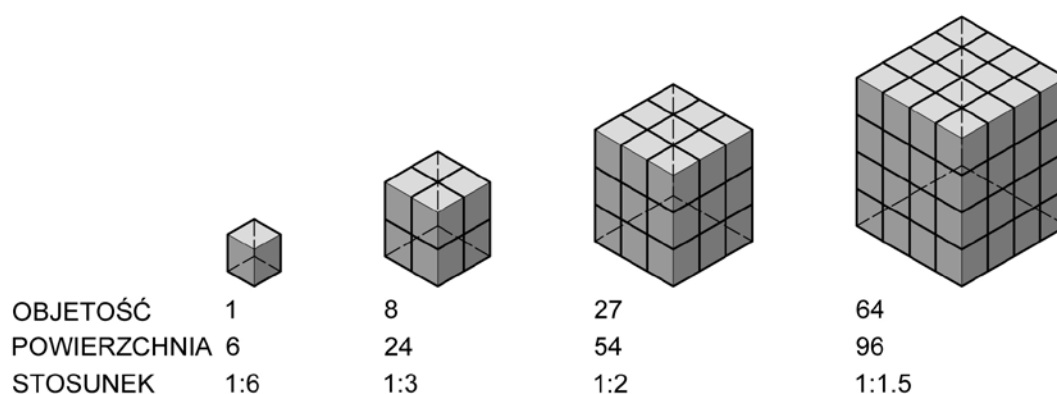
⁸⁴ CHWIEDUK D.: *Wybrane przykłady zastosowania materiałów PCM w budownictwie*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 29-38.

⁸⁵ DANIELS K.: *The technology of ecological buildings: Basic principles and measures, examples and ideas*. Birkhäuser Verlag, Boston, 1997.



RYSUNEK 1.3.4, rys. 1. Schemat przedstawiający bryły o tej samej kubaturze i różnej powierzchni całkowitej oraz ich współczynniki A/V. Opracowanie własne.

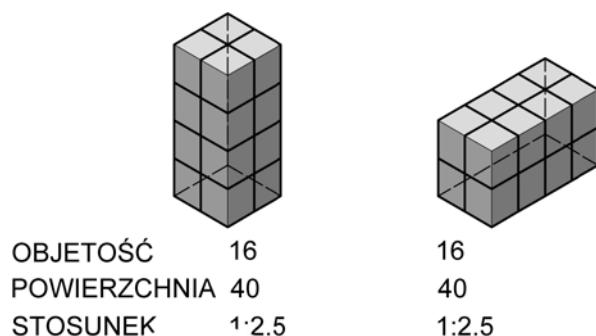
Współczynnik kształtu zależy nie tylko od stopnia skomplikowania bryły, ale również od jej wielkości. Kiedy rozpatrzemy czysto geometrycznie tę samą bryłę o różnej skali, najgorszą wartość uzyska najmniejszy obiekt. Wraz ze wzrostem wielkości analizowanej bryły wpływ skali maleje, co przedstawia RYSUNEK 1.3.4, rys. 2.



RYSUNEK 1.3.4, rys. 2. Wpływ skali na współczynnik kształtu. Opracowanie własne.

Obracanie bryły w przestrzeni powoduje również zmianę ilości traconego ciepła przez jej płaszczyzny. Utrata ciepła przez przegrodę zewnętrzną z materiału o tym samym współczynniku przenikania ciepła jest większa dla przegród, gdzie strumień ciepła przechodzi w pionie ku górze, niż w przegrodach, gdzie proces ten odbywa się w poziomie. Ze względu na zwiększone straty ciepła zimą i intensywne napromieniowanie latem ograniczenie płaskiej powierzchni dachu jest korzystnym rozwiązaniem pod względem energetycznym [⁸⁶]. Bryła o tej samej kubaturze i powierzchni zewnętrznej może więc mieć różne straty energii ze względu na liczbę powierzchni zorientowanych w danym kierunku. Orientacja bryły w przestrzeni ma również znaczenie dla możliwości pozyskiwania energii słonecznej, zależność ta opisana jest dokładniej w podrozdziale 1.4.

⁸⁶ CHWIEDUK D.: *Wytyczne tworzenia koncepcji energetycznej budynku*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, R. 109, z. 2-B: s. 45-54.



RYSUNEK 1.3.4, rys. 3. Ta sama bryła w zależności od orientacji w przestrzeni uzyskuje inny potencjał pod względem powierzchni generujących mniejsze lub większe straty energii. Opracowanie własne.

W literaturze pojawiają się wzory na współczynnik kształtu z uwzględnieniem bryły referencyjnej. Rozwiązania takie pozwalają na odniesienie do założonego optymalnego kształtu. Postuluje się, że zwartość bryły budynku powinna być rozpatrywana w odniesieniu do bryły, jaką jest sześcian. Takie odniesienie wydaje się być bardziej reprezentatywne niż wartości otrzymywane dla kuli, która bardzo rzadko wybierana jest jako forma geometryczna budynku, ponieważ jest niezwykle problematyczna ze względów funkcjonalnych i technicznych. Współczynnik zwartości bryły z odniesieniem do formy referencyjnej pozwala na określenie poziomu optymalizacji bryły w konkretnej skali, jest więc bardziej miarodajny. Przykład takiego wzoru zaproponowany przez L. Laskowskiego przedstawiony został poniżej [87].

$$\sigma = 0,167 \left(\frac{A}{V} \right) V^{\frac{1}{3}}$$

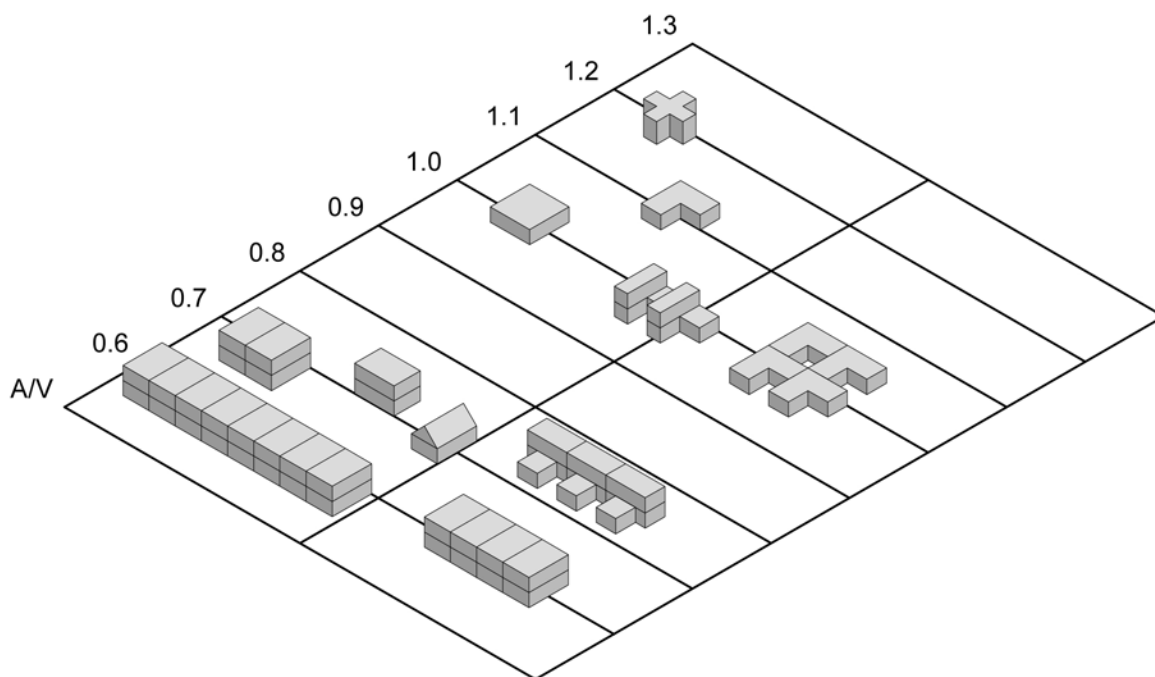
W rzeczywistości budynki podlegają też zestawieniom w różne typy zabudowy, co ma wpływ na ich współczynnik zwartości bryły. Ta sama bryła w realizacji jako budynek wolnostojący, bliźniaczy, szeregowy czy w zabudowie dywanowej osiągnie różną wartość A/V. Klasyfikację budynków jednorodzinnych pod względem zwartości bryły przedstawia TABELA 1.3.4, nr 1 oraz RYSUNEK 1.3.4, rys. 4.

Rodzaj budynku mieszkalnego	Współczynnik kształtu (A/V, m ² /m ³)		
	bryła rozczłonkowana	bryła średnio zwarta	bryła bardzo zwarta
Budynek jednorodzinny wolnostojący, parterowy, z użytkowym poddaszem lub piętrowy	0.95–1.05	0.75–0.95	
Segment zabudowy bliźniaczej lub skrajny segment zabudowy szeregowej:			
• 2 – kondygnacyjny	0.80–0.90	0.65–0.80	0.50–0.65
• 3 – kondygnacyjny	0.65–0.80	0.50–0.65	0.40–0.50
Pośredni segment zabudowy szeregowej:			
• 2 – kondygnacyjny	0.65–0.80	0.50–0.65	0.40–0.50
• 3 – kondygnacyjny	0.55–0.65	0.40–0.55	0.30–0.40

TABELA 1.3.4, nr 1. Klasyfikacja budynków mieszkalnych pod względem zwartości bryły scharakteryzowanej współczynnikiem kształtu (A/V) wg [88], s. 139.

⁸⁷ LASKOWSKI L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.

⁸⁸ LASKOWSKI L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.



RYSUNEK 1.3.4, rys. 4. Zróżnicowanie wartości współczynnika kształtu (A/V) charakteryzującego budynki reprezentowane dla współczesnej zabudowy jednorodzinnej. Opracowanie własne na podstawie L. Laskowski [89], s. 139.

Redukcja powierzchni ścian zewnętrznych ogranicza powierzchnię wymiany ciepła z otoczeniem, od której zależy ilość energii traconej przez budynek [90]. Zwarta bryła zapobiega nadmiernej utracie ciepła przez powierzchnie zewnętrzne i mostki termiczne, powodować może jednak utrudnienia z dostępem do promieniowania świetlnego jako źródła energii cieplnej i świetlnej. Przy zwartej bryle większych budynków występuje problem z zapewnieniem odpowiednich warunków oświetlenia światłem dziennym. Budynki o płytkim trakcie pozwalają na łatwiejsze doświetlenia przestrzeni. Budynki o traktach głębokich wymagają często stosowania świetlików, patii i innych rozwiązań polepszających warunki oświetleniowe.

Zyski solarne uzależnione są również od proporcji bryły. W klimacie wymagającym sezonowego ogrzewania preferowane jest kształtowanie budynku, w myśl Sokratesowskiej koncepcji domu słonecznego, z maksymalizowaniem powierzchni skierowanych w kierunku południowym, nastawionym na ciepło słoneczne [91]. Współcześnie koncepcja taka nazywana jest kopertą słoneczną. Jej symboliczną reprezentacją jest budynek o ściętej połąci dachu od strony północnej, na planie trapezu równoramiennego o boku najdłuższym skierowanym na południe [92]. Dla klimatu umiarkowanego proporcje ścian powinny faworyzować kierunek południowy w proporcjach 1:1,6–2,4 (RYSUNEK 1.3.4, rys. 5) [93]. Rozwiązanie takie wypada korzystnie w bilansie zysków solarnych i strat energii cieplnej przez przegrody.

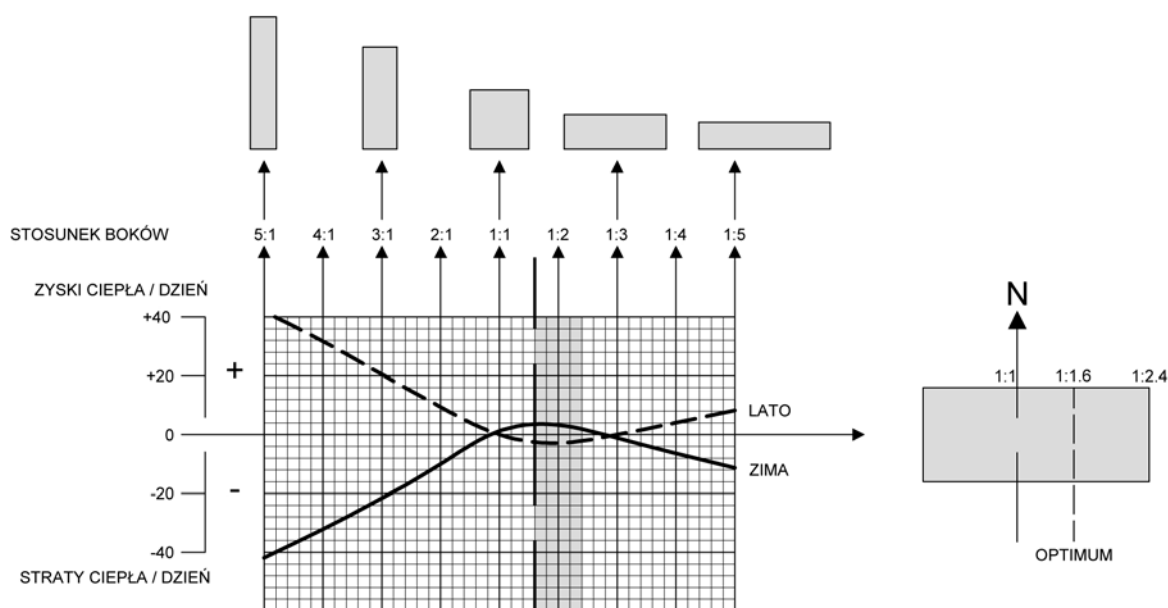
⁸⁹ LASKOWSKI L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.

⁹⁰ LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku*. „Rynek Instalacyjny”, 2010, 10 35-40.

⁹¹ LASKOWSKI L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.

⁹² MARCHWIŃSKI J., ZIELONKO-JUNG K.: *Współczesna architektura proekologiczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.

⁹³ OLGAY V.: *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, Princeton-Oxford, 2015.



RYSUNEK 1.3.4, rys. 5. Schemat zysków i strat energii cieplnej przez bryły o tej samej powierzchni rzutu i o różnych proporcjach ścian zewnętrznych. Opracowanie własne na podstawie V. Olgyaya [94], s. 89.

Kształtowanie formy architektonicznej może być rozpatrywane również pod względem ilości powierzchni możliwych do wykorzystania pod systemy solarne, w tym pod systemy pasywne do powierzchni, które nie będą brały znaczącego udziału w zyskach solarnych (RYSUNEK 1.3.4, rys. 6). W okresie letnim najlepiej napromieniowane są powierzchnie o bardzo małym kącie nachylenia do poziomu. Poziom insolacji spada wraz ze wzrostem kąta, uzyskując wartość najmniejszą przy powierzchniach pionowych. Wartość insolacji powierzchni usytuowanych poziomo jest prawie dwukrotnie wyższa względem powierzchni pionowych. Większy poziom zysków solarnych w okresie letnim występuje na powierzchniach zwróconych na wschód i w szczególności na zachód. Powierzchnie o orientacji południowej są oświetlone względnie równomiernie [95]. W okresie zimowym najlepsze parametry pozyskiwania energii słonecznej otrzymują powierzchnie o odchyleniu od poziomu równemu szerokości geograficznej zwiększonej o 10° , z nieznacznym odchyleniem od kierunku południowego. Optymalne nachylenia powierzchni dla orientacji względem kierunków świata podano w TABELI 1.3.4, nr 2.

Elementy helioaktywne						
γ	wsch.	płd.-wsch.	płd.	płd.-zach.	zach.	płn.
β	10°	40°	40°	40°	10°	10°

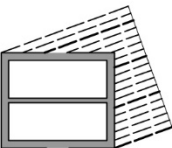
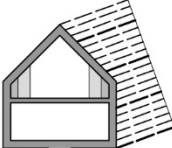
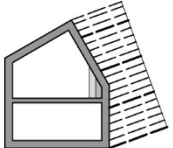
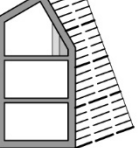
Elementy heliopasywne						
γ	wsch.	płd.-wsch.	płd.	płd.-zach.	zach.	płn.
β	45°	$45^\circ-60^\circ$	$90^\circ/45^\circ-60^\circ$	45°	45°	30°

TABELA 1.3.4, nr 2. Zalecenia odnośnie do pochylenia β elementów budynku o określonej orientacji γ wg D. Chwieduk [96], s. 59.

⁹⁴ Ibidem.

⁹⁵ CHWIEDUK D.: *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*. IPPT, Warszawa, 2006.

⁹⁶ CHWIEDUK D.: *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*. IPPT, Warszawa, 2006.

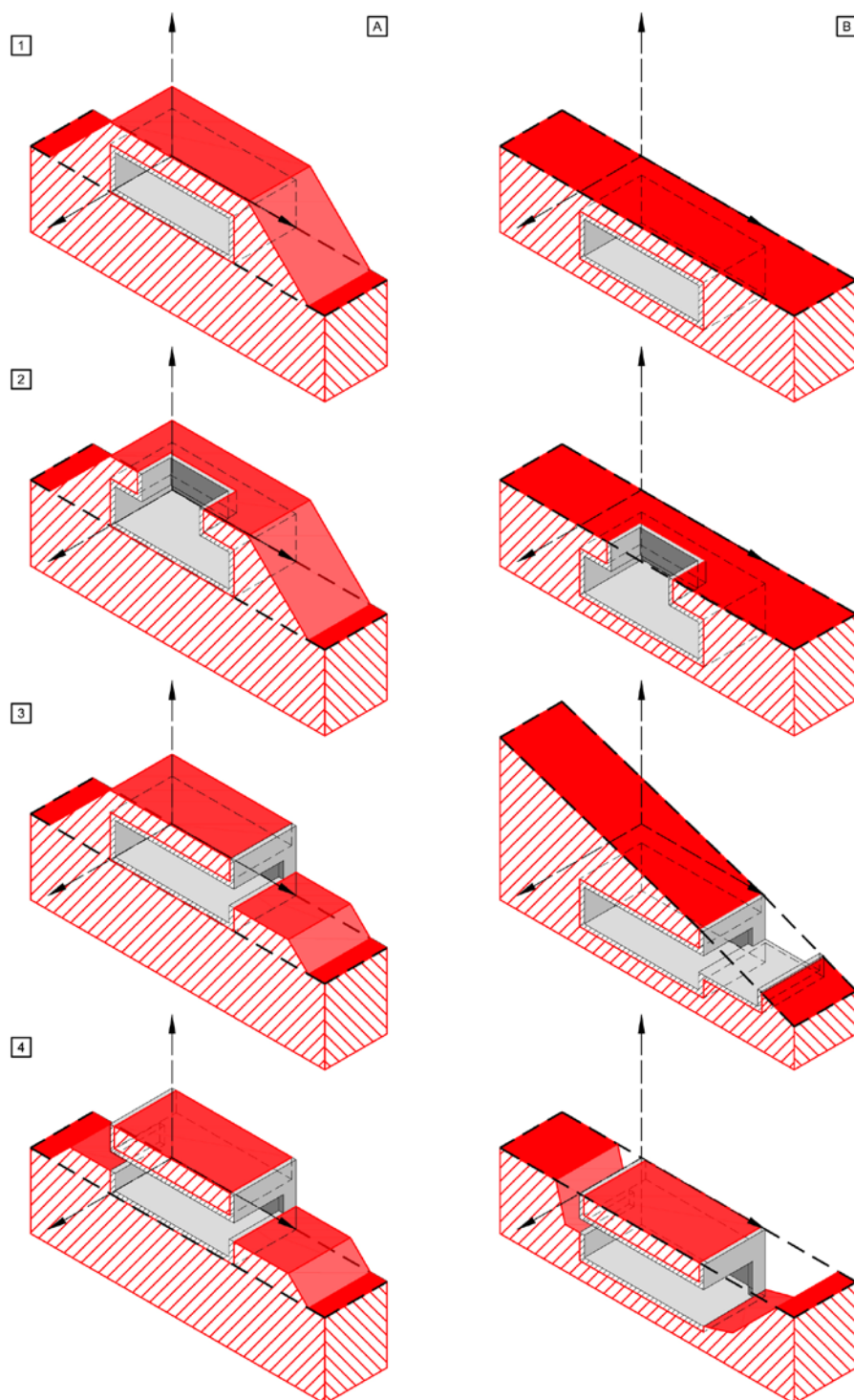
	1	2	3	4
				
POWIERZCHNIA PRZEKROJU	47m ²	47m ²	47m ²	47m ²
WSKAŹNIK POWIERZCHNI UŻYTKOWEJ	13	11,2	11,78	11,8
WSKAŹNIK POWIERZCHNI POZYSKUJĄCEJ PROMIENIOWANIE BEZPOŚREDNIE (KĄT PADANIA PROMIENI PRZYJĘTY DLA 21 GRUDNIA)	8,49	8.95	8,81	10,48

RYSUNEK 1.3.4, rys. 6. Analiza przekroju budynku dla stałej powierzchni ustalonej jako 47 m². Zmiana kształtu wpływa na sumę energii przypadającą na powierzchnię budynku skierowanego na południe. O godzinie 12⁰⁰ najmniejszą wartość uzyskuje w wariantcie 1, a najwyższą w 4. Zmiana przekroju wpływa również na powierzchnię użytkową dla zadanej powierzchni przekroju i stałej długości budynku. Największą powierzchnię użytkową ma budynek o dwóch pełnych kondygnacjach, najmniejszą o dachu dwuspadowym o symetrycznych połaciach.

W wariantcie 3 i 4 dostosowanie kątów połaci do wskazań z TABELI 1.3.4, nr 2 pozwoliło na uzyskanie dodatkowej powierzchni aktywowanej dla pasywnych zysków słonecznych od strony północnej.
Opracowanie własne.

Dla analizowanych przekrojów przedstawionych na RYSUNKU 1.3.4, rys. 6 największa powierzchnia, na którą pada promieniowanie słoneczne, została uzyskana w wariantcie 1. Jednak prawie jedna trzecia promieniowania przypada na powierzchnię dachu ustawioną poziomo, dla której udział w zyskach dla małego kąta padania promieni słonecznych jest niski. Dach taki stanowi jednak płaszczyznę narażoną na nadmierne promieniowanie w okresie letnim, gdy jest to niepożądane ze względu na przegrzewanie budynku. W wariantach 2–4 na powłokę budynku pada natomiast większa ilość promieniowania słonecznego. Gęstość promieniowania i jego ilość w tych wariantach są większe. Wśród wariantów ze skośnymi dachami więcej energii mogą pozyskać budynki o kącie nachylenia połaci przeznaczonym do pasywnego wykorzystania zysków solarnych według TABELI 1.3.4, nr 2. Taki układ połaci dachowych umożliwia również uzyskanie większej powierzchni użytkowej niż przy układzie symetrycznym. Zwiększenie wysokości budynku powoduje przyrost powierzchni odbierającej promieniowanie bezpośrednie oraz sumaryczną ilość energii padającą na powierzchnię budynku. Powoduje jednak znaczny przyrost powierzchni ściany północnej. Zawężenie traktu stwarza problemy związane z elastycznym kształtowaniem układu funkcjonalnego oraz z wykorzystaniem większej powierzchni na komunikację pionową.

Na przepływ energii przez powłokę zewnętrzną ma wpływ również stopień kontaktu bryły z gruntem. Przegrody zewnętrzne znajdujące się w kontakcie z gruntem mają korzystniejsze warunki termiczne w okresie letnim i zimowym. Jest więc to jedna z metod ochrony przed przegrzewaniem budynku latem, ale również ochrony przed wychłodzeniem zimą. Ziemia zachowując względnie stałą temperaturę w ciągu roku, wykazuje na odpowiedniej głębokości w okresie letnim temperaturę niższą od temperatury otoczenia, dzięki czemu może stanowić zasobnik chłodu. Dla wykorzystania tej zależności posadowienie budynku powinno być zaprojektowane w taki sposób, żeby jak największa część przegród zewnętrznych miała kontakt z gruntem, a nie z otaczającym powietrzem. Najwyższą efektywność uzyskują rozwiązania gdzie budynek w całości znajduje się poniżej poziomu gruntu, poprzez jego zagłębienie w terenie lub obsypanie warstwą ziemi. W przegrodach znajdujących się na granicy ośrodków o dwóch różnych temperaturach następuje przewodzenie ciepła z ośrodka cieplejszego do chłodniejszego. Powietrze w pomieszczeniu oddaje energię cieplną w kontakcie ze ścianą, w której zachodzą procesy fizyczne dążące do wyrównania temperatur na zewnątrz i we wnętrzu. W okresie zimowym przegrody zewnętrzne obsypane ziemią



RYSUNEK 1.3.4, rys. 7. Systematyka posadowienia budynku w gruncie dla: A – posadowienie w sztucznym nasypie, B – posadowienie w gruncie rodzimym.

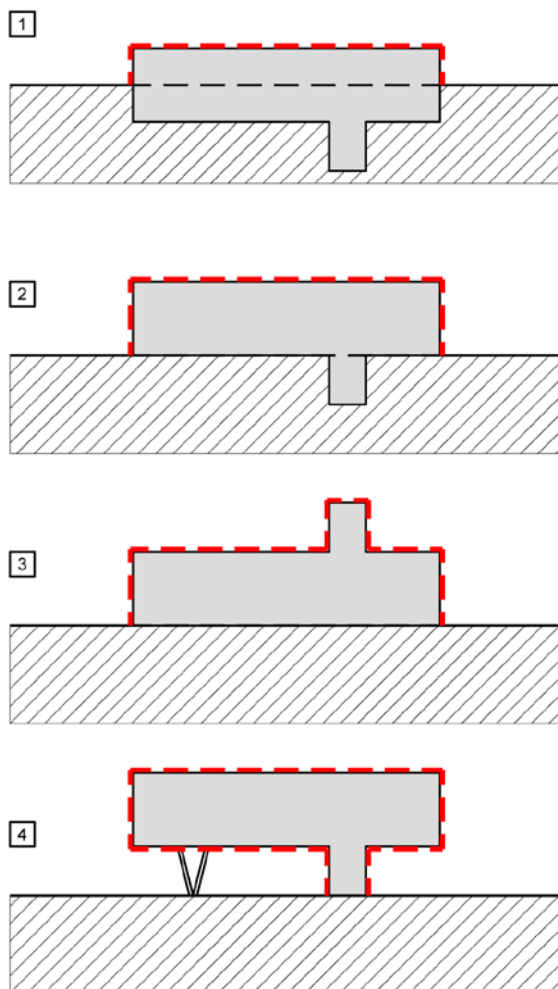
1 – pełne zagłębienie (doświetlenie przez świetliki), 2 – atrium lub dziedziniec, 3 – okna w jednej ze ścian stanowiącej odkrytą elewację, 4 – okna w przynajmniej dwóch widocznych ścianach elewacyjnych.

Opracowanie własne na podstawie J. Cook [97].

⁹⁷ COOK J.: *Passive Cooling*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1989.

również charakteryzują się lepszymi parametrami ze względu na niższą różnicę temperatur po obu stronach przegrody. Intensyfikacja przewodzenia w przegrodzie zależy bowiem między innymi od różnicy temperatur w ośrodkach pomiędzy, którymi następuje przewodzenie. Dla budynków o znacznym przykryciu ziemią istotnym zagadnieniem jest również odpowiednie zaprojektowanie doświetlenia światłem dziennym, zarówno ze względów ekonomicznych jak i komfortu użytkowania (RYSUNEK 1.3.4, rys. 7.).

Analogicznie oderwanie budynku od gruntu poprzez wyniesienie jego części lub całości może spowodować wzrost strat energii przez obudowę, poprzez zwiększenie jej kontaktu z powietrzem atmosferycznym, które w zakresie temperatury posiada mniej korzystne parametry niż grunt (RYSUNEK 1.3.4, rys. 8.).



RYSUNEK 1.3.4, rys. 8. Udział procentowy ścian w kontakcie z powietrzem i gruntem dla stałego przekroju o różnym usytuowaniu względem poziomu gruntu.

1. – 45 % powierzchni obudowy budynku w kontakcie z powietrzem, 55% w kontakcie z gruntem,
2. – 70 % powierzchni obudowy budynku w kontakcie z powietrzem, 30% w kontakcie z gruntem,
3. – 79 % powierzchni obudowy budynku w kontakcie z powietrzem, 21% w kontakcie z gruntem,
4. – 97,5 % powierzchni obudowy budynku w kontakcie z powietrzem, 2,5% w kontakcie z gruntem,

Opracowanie własne.

1.4 ZYSKI SOLARNE

Budynek jako odbiornik energii zaopatrywany jest w nią ze źródeł nieodnawialnych i odnawialnych, głównie w sposób pośredni – przez sieć energetyczną i ciepłowniczą. Pozyskiwana w ten sposób energia jest aktualnie niezbędna do funkcjonowania zgodnie z kierunkiem, w którym rozwija się nasza cywilizacja. Udział gospodarstw domowych w całkowitej konsumpcji energii w Polsce na rok 2009 wyniósł 31% [98]. Jest to wartość budząca niepokój i wskazująca jednoznacznie na ważny i bliski architektom sektor gospodarki, w którym należy dokonywać ciągłych modernizacji w celu oszczędzania energii. Wzrost cen energii oraz przyjęty sposób rozwoju określony jako zrównoważony kierują idee architektoniczne w stronę pasywnego pozyskiwania energii. Powszechnie dostępne źródło energii, jakim jest insolacja, może być wykorzystywane zarówno do konwersji fotowoltaicznej, jak i fototermicznej. Ta druga metoda może z powodzeniem być stosowana w budownictwie jednorodinnym bez konieczności montowania skomplikowanych instalacji aktywnych. Systemy pasywne budzą zainteresowanie ze względu na niejednokrotnie niższe nakłady finansowe, brak kosztów eksploatacyjnych i małą awaryjność [99]. Cechuje je możliwość wykorzystywania głównie do ogrzewania, a ich elementy są wielofunkcyjne, stanowiąc jednocześnie część struktury budynku. Nie wymagają one nadzoru eksploatacyjnego, przeglądów oraz okresowych remontów.

Pasywne pozyskiwanie energii do ogrzewania budynku wpływa na redukcję zapotrzebowania na energię wytwarzaną przez konwencjonalne metody ogrzewania czy też te bazujące na odnawialnych źródłach energii. W procesie świadomego projektowania budynku stają się systemami energetycznymi [100], o których maksymalnej sprawności decyduje projektant poprzez zastosowane odpowiednich rozwiązań. Zasada działania wszystkich rozwiązań pasywnych opartych na insolacji opiera się na wykorzystaniu efektu szklarniowego. Do układu doprowadza się energię w postaci promieniowania krótkofalowego poprzez zaprojektowane przegrody przeźroczyste. W przegrodach budowlanych następuje konwersja w ciepło emitowane w postaci promieniowania długofalowego nieprzepuszczalnego z powrotem na zewnątrz. Tak powstała energia jest częściowo akumulowana w przegrodach budowlanych i częściowo przekazywana powietrzu wewnątrz układu.

Sam fakt występowania konwersji promieniowania słonecznego w energię ciepłą w budynku nie świadczy o występowaniu rozwiązań pasywnych do pozyskiwania energii słonecznej. Można o nim mówić w momencie świadomego spełnienia następujących warunków [101]:

- najkorzystniejsze pod względem czasu trwania i intensywności nasłonecznienia: kształt budynku, rozplanowanie pomieszczeń oraz orientacja względem stron świata;
- jak największa w granicach opłacalności izolacyjność i szczelność budynku;
- usytuowanie i wielkość przeszklonych powierzchni kolektorowych zapewniające maksymalne zyski słoneczne w okresie zimowym oraz możliwie małe przegrzewanie w okresie letnim;

⁹⁸ GAŁĄZKA T.: Krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii. „Izolacje”, 2016, R. 21 nr 1: s. 20-26.

⁹⁹ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki*, Warszawa, 1990.

¹⁰⁰ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹⁰¹ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki*, Warszawa, 1990.

- zastosowanie przegród budowlanych o odpowiednich właściwościach z punktu widzenia termiki budynku:
 - właściwa pojemność cieplna,
 - odpowiednia absorpcyjność i emisyjność powierzchni,
 - stateczność cieplna;
- odpowiednio zaprojektowany układ przestrzenny pozwalający na rozprowadzenie pozyskanej energii i ograniczenie niekorzystnego wpływu chwilowych nadwyżek insolacji;
- sprawna, najlepiej automatyczna regulacja wydajności.

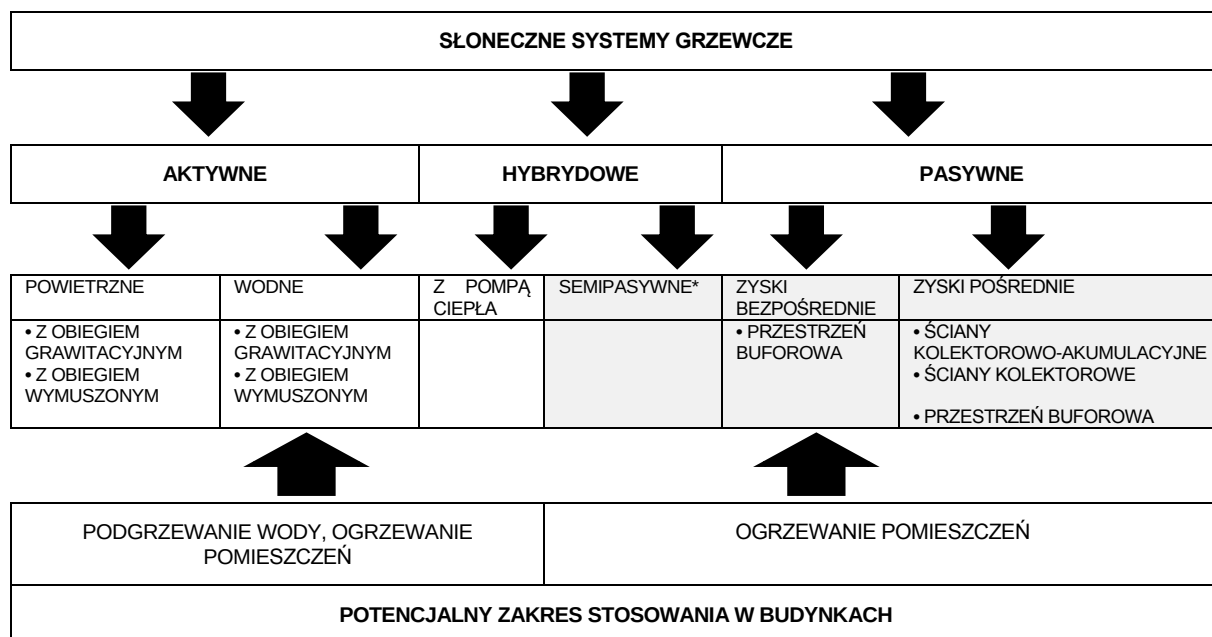


TABELA 1.4, nr 1. Klasyfikacja i potencjalna możliwość wykorzystania grzewczych systemów słonecznych w budynku. Schemat na podstawie D. Chwieduk, M. Jaworski, H. Jędrzejuk [¹⁰², s. 43].

* W schemacie oryginalnym znajduje się system „semiaktywny”. W ten sposób podkreślony jest raczej udział urządzenia mechanicznego w transporcie pasywnie pozyskanej energii. Taka sama zasada działania układu wskazana jest w późniejszych publikacjach, między innymi przez Dorotę Chwieduk, jako „rozwiązanie semipasywne”, co bardziej podkreśla znaczenie pozyskiwania energii niż udział wentylatora o znikomej mocy w zastosowanym układzie.

Różnorodność systemów pozyskiwania energii słonecznej klasyfikuje je ze względu na sposób funkcjonowania układów: aktywny, hybrydowy i pasywny (TABELA 1.4, nr 1.). W kontekście pracy ważny jest sam podział systemów pasywnych z uwagi na sposób dystrybucji energii cieplnej do pomieszczeń ogrzewanych, który podzielono na zyski bezpośrednie oraz pośrednie. Niezwykle istotnym zagadnieniem w kontekście zysków solarnych jest również stosowanie osłon przeciwsłonecznych.

¹⁰² CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.*

1.4.1 ZYSKI BEZPOŚREDNIE

Bezpośrednie pozyskiwanie energii słonecznej to sposób najprostszego wykorzystania insolacji do uzyskania darmowej energii cieplnej w budynku. Proces ten następuje najczęściej poprzez okna wprowadzające promieniowanie bezpośrednio do pomieszczeń, w których się one znajdują. System taki ma wysoką sprawność pozyskiwania energii dzięki zastosowaniu bariery w postaci pojedynczej przegrody przeźroczystej o różnej budowie. W zależności od lokalizacji i wielkości okien generują one różne zyski i straty energii.

Okna usytuowane na południe generują największe zyski, stanowiąc jednocześnie największe zagrożenie dla przegrzewania wnętrza. Dla okien zorientowanych na południe szczególnie istotne jest zapewnienie odpowiednich osłon przeciwsłonecznych. Również na elewacjach wschodniej i zachodniej przegrody przeziernie powinny być wyposażone w skuteczne osłony przeciwsłoneczne lub też zaprojektowane w ograniczonym rozmiarze, ponieważ nadal biorą udział w pozyskiwaniu energii od słońca [103]. Od strony północnej okna są najmniej efektywne energetycznie i wymagają znacznego zwiększenia izolacyjności cieplnej lub należy całkowicie zaniechać ich użycia.

Parametry okien należy regulować zarówno w zakresie ich izolacyjności termicznej, jak i przepuszczalności promieniowania słonecznego z różnych zakresów fal. Dobór okien o wysokiej izolacyjności, z powłoką odbijającą światło i powłoką niskoemisyjną na elewacji południowej, może ograniczyć znacząco całoroczne zyski solarne, co obniży wydajność energetyczną do poziomu zestawu szybowego o słabej izolacyjności i wysokim współczynniku przepuszczalności energii słonecznej z osłonami stałymi [104]. Stosowanie szkła o różnych parametrach izolacyjności i transferu światła może skutkować znaczącą różnicą temperatur osiągniętych we wnętrzu w okresie zimowym – mniejszą natomiast w okresie letnim. Wybór pakietów szybowych ma więc istotny wpływ na komfort cieplny [105]. Wielkość okien w elewacji południowej może stanowić znaczący udział w powierzchni ściany pod warunkiem zastosowania odpowiednich osłon przeciwsłonecznych redukujących ryzyko przegrzewania [106].

Dobór odpowiednich parametrów związanych z oknami jest zależny od bardzo wielu czynników. Współcześnie okna stanowiące najprostszy element przezierny w systemie zysków bezpośrednich, pozwalają na zapewnienie dobrego poziomu przenikania promieniowania słonecznego do wnętrza, przy jednoczesnym zachowaniu dobrych parametrów izolacyjności termicznej. Różnorodność dostępnych rozwiązań szkła pozwala na dopasowanie również do usytuowania względem kierunków świata – w odniesieniu do różnicy w stratach ciepła następujących przez przegrody o mniejszym dostępie do promieniowania słonecznego. Najprostszym sposobem na zwiększenie pozyskiwanej energii to zwiększenie powierzchni otworu okiennego. W ramach poprawienia wydajności samego okna przy zachowaniu otworu w murze i zachowaniu izolacyjności jego poszczególnych elementów (szklenia i ramy) warto zadbać o odpowiednią szerokość profili okiennych. To właśnie ten element wpływa bardziej na straty ciepła niż sam zestaw szybowy.

W uproszczeniu – okna powinny charakteryzować się niską wartością współczynnika przenikania ciepła oraz wysokim współczynnikiem przepuszczalności promieniowania

¹⁰³ GRYGIEREK K., FERDYN-GRYGIEREK J.: *Efektywne energetycznie projektowanie okien w budynku jednorodinnym*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2017, 01 (48): 412-417

¹⁰⁴ BEŁOK J., WILK-SŁOMKA B.: *Wpływ parametrów oszkleń na zużycie energii w strefie o regulowanej temperaturze*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, z. 63, nr 3: s. 9-16.

¹⁰⁵ WILK-SŁOMKA B., BEŁOK J.: *Parametry oszkleń a komfort cieplny w strefie o regulowanej temperaturze*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, Z. 63, nr 3: s. 517-524.

¹⁰⁶ TAŃA D., FOIT H.: *Poszukiwanie najkorzystniejszej wielkości okien budynku pasywnego*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, z. 63, nr 3: s. 497-506.

słonecznego [107]. Na całkowitą izolacyjność zestawu okiennego (U_w) największy wpływ ma współczynnik przenikania ciepła zestawu szybowego (U_g), następnie ramy okiennej (U_f). Wzrost izolacyjności pakietu szybowego ma procentowo największy wpływ na poprawę parametrów okna. Przy stałej wartości współczynników przenikania ciepła szklenia i ramy zestawu okiennego, wzrost wielkości okna (A_0) oraz udziału powierzchni szklenia w powierzchni całkowitej okna, powoduje zmniejszenie współczynnika przenikania ciepła całego zestawu [108]. Dla okien o niewielkich rozmiarach istotny wpływ na izolacyjność cieplną ma udział ramy okiennej w powierzchni całkowitej zestawu. Szerokość profili okiennych przy dużych oknach oraz ich proporcje mają pomijalny wpływ, jednak skomplikowany podział oraz liczba kwater otwieranych powodują znaczne pogorszenie całkowitego współczynnika przenikania ciepła [109].

Współczesna technologia szkła pozwala na dużo większe możliwości ochrony przed przegrzewaniem i utratą ciepła już na poziomie doboru odpowiednich parametrów szklenia. Systemy szkła powinny być dobierane ze względu na orientację oraz funkcję pomieszczenia, w którym są stosowane. Wykorzystanie rozwiązań regulujących przepuszczanie przez taflę szkła promieni słonecznych ogranicza zapotrzebowanie na energię do chłodzenia. Powłoki w postaci naklejanych folii lub wykonywane w trakcie produkcji zestawu szybowego mogą mieć stałe właściwości ograniczające przenikanie promieniowania podczerwonego odpowiedzialnego za przenoszenie energii termicznej o ponad 90%. Parametr szklenia odpowiadający za takie właściwości to RPP. Przy zastosowaniu powłok ceramicznych spada również przepuszczalność światła w paśmie widzialnym o około 28%. Wraz z rozwojem technologii zmienia się skuteczność dostępnych rozwiązań. Warto jednak zaznaczyć, że taka forma redukcji zysków przez przegrody przeźierne ma charakter całoroczny. Pozwala jednak na zyski solarne w zakresie bliskich fal podczerwonych, które ze względu na specyfikę procesów w atmosferze zimą są główną składową odpowiadającą za pasywne zyski [110]. Wpływa więc zarówno na redukcję nakładów na chłodzenie wnętrza, jak i na wzrost kosztów ogrzewania w okresie grzewczym [111,112]. Dobór pakietów szybowych w zależności od przejętego parametru U wpływa w dużym stopniu na liczbę pakietów szybowych. Popularne wśród przykładów jest stosowanie od północy trójszybowych, a nawet czteroszybowych pakietów szkła. Te ostatnie stanowią jednak bardzo duże obciążenie ekonomiczne, które wraz z rozwojem technologii i wzrostem popularności rozwiązania może spadać. Obecnie stosowanie czteroszybowych pakietów szkła zdaje się być opłacalne ekonomicznie w klimacie umiarkowanym chłodnym. Wzrost liczby szkła oraz rodzaje stosowanych powłok powodują jednocześnie spadek parametru g odpowiedzialnego za przenikanie promieniowania słonecznego. Pakiety o mniejszej przepuszczalności promieniowania słonecznego, a wyższej izolacyjności powinny być więc stosowane w miejscach, gdzie ze względu na orientację lub stałe zacienienie przez otoczenie ograniczone są zyski solarne [113]. Problemem występującym w pakietach wielokomorowych jest również ich ciężar. Współcześnie rozwiązanie tego zagadnienia upatruje się w stosowaniu wewnętrznych szkła ze szkła cienkiego półhertowego. Jedną z najbardziej zaawansowanych technologii szkła o dużym potencjale są szyby zespolone Vacuum Insolated Glass (VIG). Zaletą tego rozwiązania przy uzyskaniu niskiego parametru U jest obniżona

¹⁰⁷ SAROSIEK W., KALINOWSKA-WICHROWSKA K.: *Energetyczno-ekonomiczny aspekt okien w budynkach niskoenergetycznych*. "Izolacje", 2014, R. 19, nr 7-8(188): s. 56-60.

¹⁰⁸ JEZIEŃSKI W., BOROWSKA J.: *Analiza parametrów cieplnych współczesnej stolarki okiennej*. „Izolacje”, 2017, 4(221): 50-53.

¹⁰⁹ JEZIEŃSKI W., BOROWSKA J.: *Wpływ przenikania ciepła stolarki okiennej o zmiennej konfiguracji*. "Izolacje", 2017, R. 22, nr 11-12(215): s. 90-94.

¹¹⁰ WLAZEŁ P.: „Inteligentna” folia okienna na lato i zimę. „Świat Szkła”, 2012 5(163): s. 40.

¹¹¹ WLAZEŁ P.: *Prawidłowe parametry redukcji ciepła folii okiennych*. „Świat Szkła”, 2012, nr 1(159): s. 33-34.

¹¹² WLAZEŁ P.: *Folie okienne przeciwsłoneczne – selektywne*. „Świat Szkła”, 2012, nr 3(161): s. 28.

¹¹³ KRICK B.: *Okna domu pasywnego – dotychczasowy rozwój i perspektywy*. „Świat Szkła”, 2015, nr 3(194): s. 26-29.

waga, brak konieczności stosowania kosztownych gazów oraz redukcja naprężenia szkła występującego w trzy- i czteroszybowych pakietach okiennych [114]. Wadą może być jednak wysoka przewodność na krawędzi pakietu i konieczność stosowania rozwiązań takich jak głębokie osadzenie w ramach okiennych dla zapewnienia lepszej izolacyjności.

Zmiana parametrów szkła może następować samoistnie, reagując na zewnętrzne warunki klimatyczne, lub manualnie. Szyby fotochromowe lub termochromowe regulują przezierność samoistnie w zależności od warunków klimatu zewnętrznego, bez udziału sterowników i energii elektrycznej. Aktywne systemy do regulacji przezierności wykorzystują prąd elektryczny, pod którego wpływem zmienia się transparentność i całkowita przepuszczalność promieniowania słonecznego. Wykorzystywanie powłok niskoemisyjnych, hamujących przewodzenie ciepła, redukujących transfer wypromieniowanego ciepła z powierzchni szyby przez blokowanie dopływu promieniowania podczerwonego może wpływać znacząco na bilans energetyczny poprzez redukcję strat ciepła przez budynek [115]. Dobór szkła ze względu na energooszczędność powinien uwzględniać pomniejszenie strat ciepła, maksymalizację zysków ze źródeł nieodnawialnych, optymalizację komfortu wnętrza [116]. Wykorzystanie bardziej zaawansowanych technologii szklenia pozwala na uzyskanie odmiennego efektu wizualnego niż w przypadku tradycyjnych osłon przeciwsłonecznych. Wyeksponowanie obszernych szkła praktycznie pozbawionych widocznych ram i konstrukcji daje wiele możliwości w tworzeniu kompozycji elewacji. Rozwiązania takie pozwalają na licowanie tafli z okładziną lub innym wykończeniem elewacji. Takie wyjście nie pozwala jednak na stosowanie możliwych do ukrycia osłon zewnętrznych, co wymusza stosowanie szkła o odpowiednich właściwościach. Stosowanie szkła z powłokami selektywnymi może skutecznie wpłynąć na zmniejszenie zużycia energii do chłodzenia, jednak w finalnym bilansie energetycznym będzie zapewne uzyskiwać wyniki gorsze niż dla osłon zewnętrznych sterowanych ręcznie lub automatycznie [117]. Fasady szklane jako ściany osłonowe pozwalają na uzyskanie nowoczesnego wyglądu oraz transparentności. Mają duży potencjał w kształtowaniu nowoczesnego wyglądu elewacji o charakterze *high-tech*. Możliwość kształtowania obszernych szkła pozwala na maksymalizację zysków solarnych, jednak bez odpowiedniego projektu i doboru parametrów przegrody oraz systemów zacięniających lub przestrzeni buforowych może być źródłem przegrzewania się wnętrza [118].

W przypadku okien połaciowych i szyb zespolonych stanowiących elementy innych przegród zewnętrznych należy zauważyć, że izolacyjność jest zależna od kąta nachylenia przeszklenia. Pakiet okienny usytuowany w pionie ma najlepszą izolacyjność. Wraz ze wzrostem pochylenia spada izolacyjność. Dla obrotu równego 90° może różnić się nawet o 70% w zależności od parametrów pakietu szybowego [119].

System bezpośrednich zysków solarnych (RYSUNEK 1.4.1, rys. 1), chociaż ma dużą sprawność, niesie ze sobą jednak zagrożenia związane ze sposobem gospodarowania energią wewnątrz układu, jakim jest pomieszczenie, do którego dociera bezpośrednio energia. Ze względu na zmienną dostępność promieniowania zarówno w ciągu roku, jak i w trakcie doby występują momenty, kiedy ilość energii docierającej do pomieszczenia nie jest zgodna z chwilowym na nią

¹¹⁴ KIDO E.M., CYWIŃSKI Z.: *O nowych gatunkach szkła w Japonii*. „Świat Szkła”, 2015, R. 20, nr 5(196): s. 44-49.

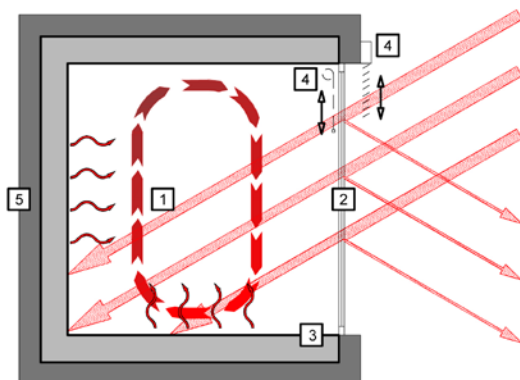
¹¹⁵ RYŃSKA E.D., KOŹMIŃSKA U., WÓJTOWICZ B.: *Okna w przepisach i praktyce*. [W:] Warunki techniczne, red. Lewandowska K., Warszawa 2018 nr 2(23): s. 24-31.

¹¹⁶ GRUNDKOWSKI J.: *Energooszczędne przeszklenia*. „Świat Szkła” 2012, r. 17, nr 2(160): s. 26-27.

¹¹⁷ ŻURAWSKI J.: *Oslony przeciwsłoneczne a systemy sterowania i zarządzania energią*. „Świat Szkła”, 2006, R. 21, nr 2(204): s. 24-26.

¹¹⁸ WESOŁOWSKI Ł.: *Wpływ przeszkłonych ścian osłonowych na komfort środowiska w pomieszczeniach mieszkalnych – wybrane aspekty*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 3/I: s. 497-510.

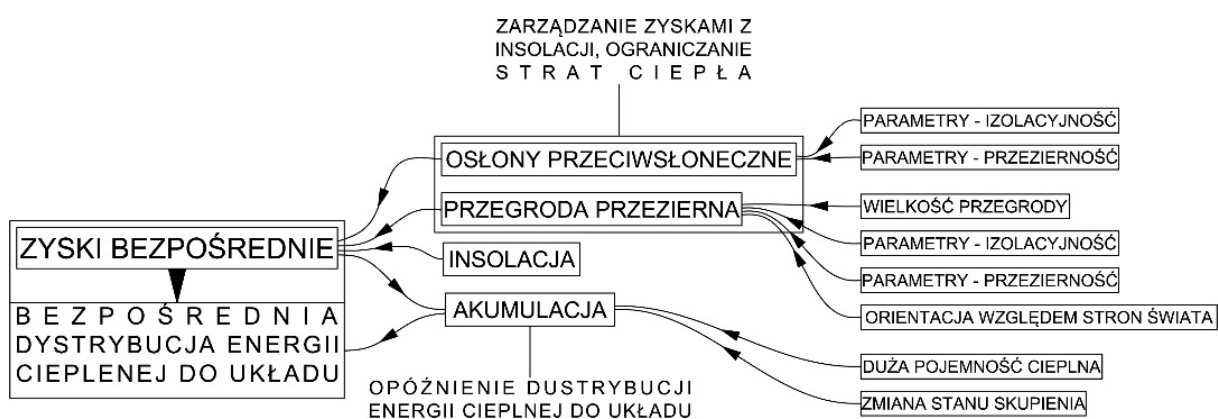
¹¹⁹ OWCZAREK Z.: *Wpływ nachylenia okien i szyb zespolonych na współczynnik przenikania ciepła*. „Prace Instytutu Techniki Budowlanej”, 2009, R. 38, nr 2: 3-22.



RYSUNEK 1.4.1, rys. 1. Schemat systemu wykorzystania bezpośrednich zysków solarnych:

- 1 – przestrzeń ogrzewana,
- 2 – przegroda przezroczysta (okno),
- 3 – elementy akumulujące energię ciepłą,
- 4 – osłona przeciwsłoneczna,
- 5 – izolacja układu.

Opracowanie własne na podstawie D. Chwieduk [121, s. 230, 122].



RYSUNEK 1.4.1, rys. 2. Schemat blokowy systemu wykorzystania bezpośrednich zysków solarnych. Opracowanie własne.

zapotrzebowaniem. W skrajnych warunkach atmosferycznych dynamika zmian temperatury, która gwałtownie spada i wzrasta wraz z dostępnością promieniowania, może powodować dyskomfort użytkowania pomieszczeń. W systemie zysków bezpośrednich znaczący wpływ na gospodarowanie energią ma pojemność cieplna elementów budynku i jego wyposażenia. Ze względów na zależności zachodzące w budownictwie energooszczędnym niezwykle istotny jest brak nadmiernej ekspozycji elementów akumulacyjnych w okresie letnim oraz dobrze działająca wentylacja [120].

Regulacje zysków i strat przez przezielne elementy budynku można dokonywać przez parametry szklenia, ale również odpowiednio dobrane zewnętrzne osłony przeciwsłoneczne. W okresie zimowym niski poziom insolacji przy zbyt dużych oknach prowadzi do nadmiernej utraty ciepła, co zauważalne jest zwłaszcza w ciągu nocy. Okna w tym okresie mogą być dodatkowo zabezpieczone przed utratą ciepła poprzez zastosowanie szczelnych osłon

¹²⁰ PIEBIAK I.: *Zasady doboru współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przeszkleń w energooszczędnych budynkach jednorodzinnych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 1: s. 181-188.

¹²¹ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹²² CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.

zewnątrznych zamykanych, gdy nie występują zyski solarne. W okresie letnim w ciągu dnia poprzez nadmiar insolacji i braku odpowiednio dobranych osłon przeciwsłonecznych istnieje natomiast ryzyko przegrzewania wnętrza. W trakcie letnich nocy zaprojektowane osłony nie powinny natomiast ograniczać możliwości chłodzenia przez przewietrzanie. Osłony przeciwsłoneczne zostały opisane szerzej w podrozdziale 1.4.3.

Optymalna głębokość pomieszczenia, dla którego zaprojektowano bezpośredni dostęp promieniowania słonecznego, nie powinna przekraczać 2,5-krotnej wysokości zastosowanych okien. Wymiary takie zapewniają możliwość równomiernego rozproszenia i pochłaniania energii przez całość obudowy [¹²³]. By zapewnić maksymalizację zysków, zaleca się, by w kącie 40° od osi północ – południe, przyłożonym do granicy elewacji, nie znajdowały się elementy zacieniające w okresie całorocznym [¹²⁴].

1.4.2 ZYSKI POŚREDNIE

Systemy zysków bezpośrednich polegają na pozyskiwaniu energii przez specjalnie zaprojektowany do tego kolektor mogący stanowić rozwiązanie techniczne lub pełnić funkcję pomieszczenia. Przestrzeń, w której następuje konwersja fototermiczna, nie jest w takim układzie pomieszczeniem przeznaczonym na pobyt stały, ale przestrzenią buforową. Dzięki takiemu systemowi pasywnego pozyskiwania energii słonecznej ciepło dostarczane jest do właściwego pomieszczenia w sposób bardziej równomierny, a intensywność przepływu ogrzanego powietrza może być sterowana. W podrozdziale przedstawiono wybrane systemy wykorzystania pośrednich zysków solarnych.

Systemy pozyskiwania ciepła poprzez zyski pośrednie pozwalają zapobiec wadzie systemów bezpośrednich, jaką jest znaczne wahanie temperatur we wnętrzu, ściśle powiązane z dostarczaną w danym momencie energią. Układy wykorzystujące zyski pośrednie charakteryzują się spłaszczeniem dziennej amplitudy temperatur oraz możliwością opóźnienia emisji pozyskanej energii do wnętrza. Układ taki można zaprojektować w taki sposób, by akumulowana w ciągu dnia energia w została wyemitowana w celu dogrzania pomieszczenia w ciągu nocy, gdy zapotrzebowanie na energię grzewczą wzrasta. Efekt ten uzyskać można poprzez odizolowanie wnętrza od przestrzeni pełniącej funkcję kolektora, na który działają bezpośrednio promienie słoneczne.

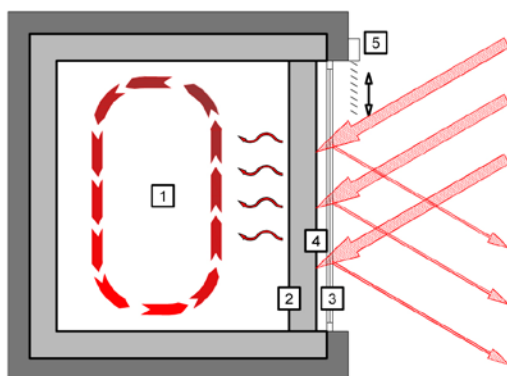
Przykładem takiego rozwiązania jest ściana Trombe'a, stanowiąca przegrodę zewnętrzną o funkcji kolektora i akumulatora energii (RYSUNEK 1.4.2, rys. 1). Rozwiązanie wykorzystuje fakt, że na południowych ścianach suma dziennego promieniowania bezpośredniego osiąga maksimum w okresie wiosennym i jesiennym, nieznacznie malejąc zimą. Najmniejsze wartości osiąga latem [¹²⁵]. Rozważa się modyfikowanie ściany kolektorowo-akumulacyjnej poprzez zastosowanie materiałów zmiennofazowych, co zwiększa sprawność rozwiązania. Wydłuża się czas uwalniania ciepła przez ścianę, ograniczając straty energii podczas dni pochmurnych [¹²⁶].

¹²³ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki*, Warszawa, 1990.

¹²⁴ KOTARSKA K., KOTARSKI Z.: *Ogrzewanie energią słoneczną*. Wydawnictwo czasopism i książek techn. NOT-SIGMA, Warszawa 1989.

¹²⁵ SMOLEC W.: *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*. Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa, 2000.

¹²⁶ LICHOLAI L., KRASOŃ J.: Udział materiału zmiennofazowego w pracy energetycznej przegrody kolektorowo-akumulacyjnej w przejściowych warunkach klimatycznych. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 1: s. 495-504.



RYSUNEK 1.4.2, rys. 1.

Schemat systemu wykorzystania pośrednich zysków słonecznych ze ścianą kolektorowo-akumulacyjną:

- 1 – przestrzeń ogrzewana,
- 2 – masywna ściana magazynująca,
- 3 – przegroda przeźroczysta,
- 4 – absorber,
- 5 – osłona przeciwsłoneczna.

Opracowanie własne na podstawie D. Chwieduk [¹²⁷ s. 233, ¹²⁸].

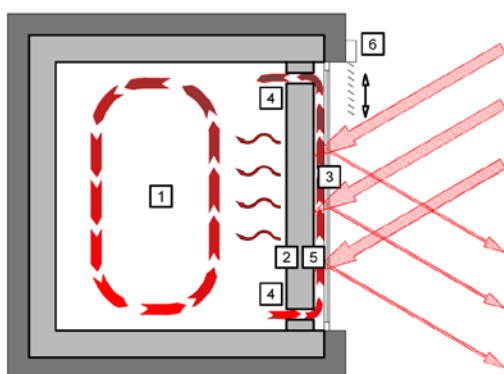
Promieniowanie słoneczne oddziałuje na masywną ścianę znajdującą się za przegrodą przezierną, w wyniku czego następuje konwersja fototermiczna. Skuteczność układu podnosi się poprzez malowanie powierzchni wystawionej na oddziaływanie promieniowania, stanowiącej absorber, na kolor czarny o niskim poziomie albedo lub przez stosowanie powłok selektywnych. Temperatury osiąmane w kolektorze mogą dochodzić od 150 do 250°. Projektując ściany kolektorowe, należy zwrócić szczególną uwagę na trwałość termiczną. Masywna ściana na granicy dwóch ośrodków wypromieniowuje stopniowo zgromadzoną energię do wnętrza, ogrzewając powietrze. Dla zwiększenia prędkości przepływu energii w układzie można zastosować otwory w dolnej i górnej części ściany akumulatorowej. Ciepłe powietrze ze względu na swoją mniejszą gęstość unosi się do góry, chłodniejsze powietrze opada. W przestrzeni między przegrodą przezierną a masywną ścianą powietrze podgrzewane energią zgromadzone w ścianie, pochodzące bezpośrednio z promieniowania słonecznego, będzie się przemieszczać ku górze. Przez otwory w dolnej części ściany do przestrzeni kolektora zasysane będzie powietrze chłodniejsze, zastępując cieplejsze powietrze, które w górnej części otworami będzie się przedostawać do pomieszczenia. Dzięki zamkniętym otworom możliwa jest regulacja przepływu energii. Rozwiązanie takie nazywane jest ścianą Trombe’a-Michela (RYSUNEK 1.4.2, rys. 2). W mało słoneczne dni o niskich temperaturach ściany kolektorowo akumulacyjne generują duże straty ciepła ze względu na brak odpowiedniej izolacyjności przegrody. Cała przegroda w przytoczonych układach nie jest izolowana, dzięki czemu umożliwiony jest przepływ zgromadzonej energii w ścianie poprzez przewodzenie z zewnątrz do wnętrza przegrody.

Rozwinięciem idei ściany kolektorowo-akumulacyjnej jest zastosowanie szczeliny dzielącej ścianę akumulacyjną na część konstrukcyjno-akumulacyjną i akumulacyjno-wymiennikową (RYSUNEK 1.4.2, rys. 3). Zabieg taki pozwala na zwiększenie izolacyjności. Ograniczenie przepływu powietrza przez szczelinę zimą w trakcie nocy oraz latem pozwala na ograniczenie transferu ciepła [¹³¹].

¹²⁷ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹²⁸ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.

¹³¹ SZYSZKA J., LICHOLA L., STARAKIEWICZ A.: *Przegrody słonecznie aktywne – szczelinowa przegroda kolektorowo-akumulacyjna SPKA*. "Izolacje", 2011, R 16, nr 3(153): s. 30-35.

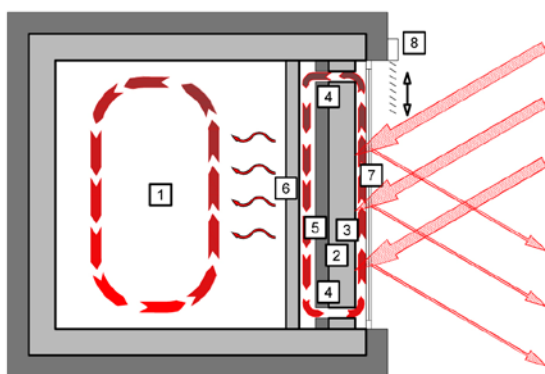


RYSUNEK 1.4.2, rys. 2.

Schemat systemu wykorzystania pośrednich zysków słonecznych z wentylowaną ścianą kolektorowo-akumulacyjną:

- 1 – przestrzeń ogrzewana,
- 2 – masywna ściana magazynująca,
- 3 – przegroda przezroczysta,
- 4 – otwory wentylacyjne z możliwością regulacji przepływu powietrza,
- 5 – absorber,
- 6 – osłony przeciwsłoneczne.

Opracowanie własne na podstawie D. Chwieduk [¹²⁹ s. 233, ¹³⁰].



RYSUNEK 1.4.2, rys. 3.

Schemat systemu wykorzystania pośrednich zysków słonecznych z wentylowaną szczelinową ścianą kolektorowo-akumulacyjną:

- 1 – przestrzeń ogrzewana,
- 2 – masywna ściana konstrukcyjno-akumulacyjna,
- 3 – absorber,
- 4 – otwory wentylacyjne z możliwością regulacji przepływu powietrza,
- 5 – izolacja termiczna,
- 6 – ściana akumulacyjno-wymiennikowa
- 7 – przegroda przezroczysta,
- 8 – osłony przeciwsłoneczne.

Opracowanie własne na podstawie J. Szyszka, L. Lichołai, A. Starakiewicz [¹³²].

Bardziej pożądanym systemem zysków słonecznych pośrednich jest układ, w którym między zewnętrzną przezierną powłoką a przegrodą przylegającą bezpośrednio do właściwego ogrzewanego pomieszczenia występuje przestrzeń buforowa (RYSUNEK 1.4.2, rys. 4).

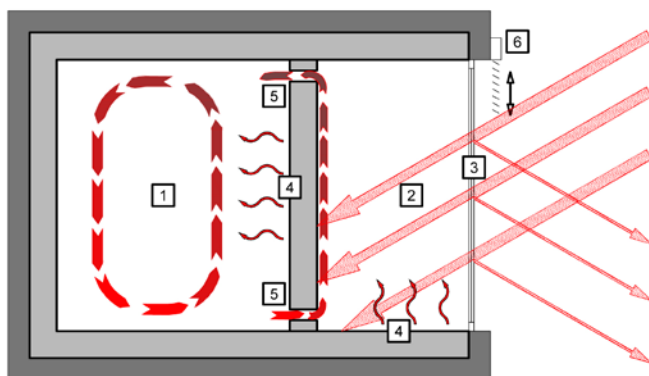
W zależności od konstrukcji pozwala on na zastosowanie większej powierzchni elementów magazynujących i powierzchni, przez którą pozyskiwana jest energia słoneczna [¹³⁵]. Najprostsze tego typu rozwiązania to systemy szklarniowe lub odpowiednio zaprojektowane podwójne, szklane fasady przyległe do zewnętrznej ściany budynku. Te pierwsze tworzą przeważnie układy poziome w formie addytywnej, rzadziej wkomponowanej lub zintegrowanej ze strukturą budynku. Drugie przyjmują często formę wertykalną i są w pełni zintegrowane ze strukturą budynku.

¹²⁹ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹³⁰ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.

¹³² SZYSZKA J., LICHOŁAI L., STARAKIEWICZ A.: *Przegrody słonecznie aktywne – szczelinowa przegroda kolektorowo-akumulacyjna SPKA*. "Izolacje", 2011, R 16, nr 3(153): s. 30-35.

¹³⁵ SMOLEC W.: *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*. Wyd. Naukowe PWN, 2000.



RYSUNEK 1.4.2, rys. 4.

Schemat systemu wykorzystania pośrednich zysków solarnych z przestrzenią buforową oddzieloną masyną ścianą akumulacyjną:

- 1 – przestrzeń ogrzewana,
- 2 – przestrzeń buforowa,
- 3 – przegroda przeźroczysta,
- 4 – elementy pełniące funkcję akumulatora ciepła,
- 5 – otwory wentylacyjne z możliwością regulacji przepływu powietrza,
- 6 – ośłony przeciwsłoneczne.

Opracowanie własne na podstawie D. Chwieduk [¹³³ s. 240,¹³⁴].

Wykorzystanie rozwiązań umożliwiających pośrednie zyski solarne w budynku ma istotny wpływ na dystrybucję energii ze względu na silny związek pomiędzy kształtowaniem formy architektonicznej a sposobem pozyskiwania energii [¹³⁶]. Najlepsze efekty uzyskuje się przy lokalizacji układów buforowych od strony południowej. System zysków pośrednich z przestrzenią buforową pozwala na jednocześnie zachowanie dobrej izolacyjności cieplnej z wydajnym pozyskiwaniem energii słonecznej. Zdecydowaną zaletą tego typu rozwiązań jest niwelacja wysokich skoków temperaturowych zależnych od chwilowego poziomu insolacji. W pomieszczeniu właściwym uzyskującym energię ciepłą z przestrzeni buforowej zagwarantowany jest w ten sposób wyższy komfort użytkowania.

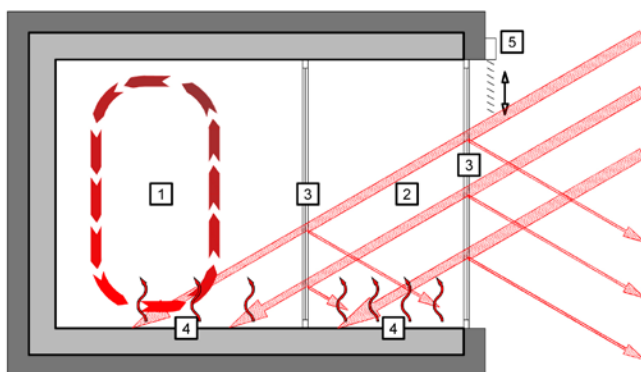
Istnieje bardzo wiele możliwości lokowania przestrzeni buforowej w budynku. Rozwiązania takie spotyka się w postaci form wkomponowanych i dobudowanych do bryły budynku. Daje to również możliwość łatwej implementacji do już istniejących obiektów przy termomodernizacji, przy korzystaniu z form addytywnych. Podstawowy układ składa się z obudowanej szklanymi przegrodami przestrzeni buforowej, oddzielonej od pomieszczenia właściwego masyną ścianą akumulacyjną. Przestrzeń buforowa pozyskuje energię słoneczną bezpośrednio, przez co mogą w niej występować większe wahania temperatury. Do pomieszczenia właściwego ciepło przekazywane jest pośrednio, przez ścianę akumulacyjną. Przepływ powietrza wymuszony różnicą ciśnień przez specjalnie zaprojektowane do tego otwory w dolnej i górnej części ściany pozwala na przekazanie energii cieplnej z przestrzeni buforowej do pomieszczenia właściwego. Rozwiązanie tego typu pozwala na zachowanie dobrej ochrony cieplnej budynku przy jednocześnie dużych zyskach słonecznych. Co ważne, chroni też przed gwałtownymi wahaniami temperatury zależnymi od chwilowych poziomów insolacji [¹³⁷].

¹³³ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹³⁴ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.

¹³⁶ BIEDROŃSKA J.: *Możliwości kształtowania przylegających struktur szklarniowych i ich wpływ na gospodarkę energetyczną budynku*. „Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 9-18.

¹³⁷ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.



RYSUNEK 1.4.2, rys. 5.
Schemat systemu wykorzystania pośrednich zysków solarnych z przestrzenią buforową oddzieloną przegrodą przeźroczystą:
1 – przestrzeń ogrzewana,
2 – przestrzeń buforowa,
3 – przegroda przeźroczysta,
4 – elementy pełniące funkcję akumulatora ciepła,
5 – osłony przeciwsłoneczne.

Opracowanie własne na podstawie D. Chwieduk [¹³⁸ s. 240, ¹³⁹].

Kolejnym rozwiązaniem z jedną przestrzenią buforową jest układ, w którym ściana akumulacyjna zastąpiona zostaje przegrodą szklaną (RYSUNEK 1.4.2, rys. 5). W ten sposób do podstawowego pomieszczenia dociera bezpośrednio część promieniowania słonecznego, przy ograniczeniu strat ciepła dzięki zastosowaniu dwóch przegród przeziernych. Funkcję masy akumulacyjnej pełnią w takim układzie ściany i podłogi w pomieszczeniu. Zaletą takiego rozwiązania jest wizualny kontakt z otoczeniem budynku i przestrzenią buforową, często wykorzystywaną jako cieplarnia lub ogród zimowy.

W budownictwie występują również systemy z dwiema przestrzeniami buforowanymi. Pomieszczenie ogrzewane oddzielone jest od zewnątrz dwiema przestrzeniami, pomiędzy którymi znajduje się przegroda przeźroczysta. Samo pomieszczenie ogrzewane może być oddzielone zarówno masową ścianą akumulacyjną, jak i ścianą szklaną. Układ taki daje wiele możliwości aranżacyjnych. Jest jednak stosunkowo drogi.

Przy systemach szklarniowych należy pamiętać o odpowiednim zaprojektowaniu wentylacji lub możliwości przewietrzania w celu regulacji wilgotności powietrza. Nie należy dopuszczać do utrzymywania się zbyt wysokiego poziomu wilgotności, która powoduje rozwój pleśni szkodliwych dla człowieka. Układy te pozwalają również na stosunkowo łatwe mocowanie wewnętrznych osłon zwiększających izolacyjność.

W warunkach polskich najkorzystniej jest lokować ogród zimowy lub podobne systemy w bryle budynku. Rozwiązanie takie pozwala eliminację poziomej górnej obudowy przestrzeni buforowej, co w okresie letnim ogranicza niepożądane zyski solarne. W okresie zimowym natomiast rezygnacja ze szklanego zadaszenia ułatwia ograniczenie strat ciepła. Powierzchnie poziome i nachylone pod kątem charakteryzują się większą utratą ciepła przez promieniowanie ze względu na to, że bardziej „widzą” nieboskłon poorny. Jednocześnie przy małym kącie padania promieni słonecznych na tafle szklane większa ich część zostaje odbita. Badania potwierdzają również te zalecenia dla systemów addytywnych w postaci balkonów czy wykuszy [¹⁴⁰].

1.4.3 OSŁONY PRZECIWSŁONECZNE

Wpływ na ilość energii docierającej do budynku mają elementy zagospodarowania terenu, powłoki budynku, jego ukształtowanie oraz odpowiednio zaprojektowane osłony

¹³⁸ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹³⁹ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.

¹⁴⁰ GRUDZIŃSKA M.: *Czynniki wpływające na efektywność energetyczną obudowy balkonu*. "Z czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2012, R. 109, z. 2-B: s. 149-157.

przeciwsłoneczne. W zależności od szerokości geograficznej projektuje się mniejszy lub większy dostęp do insolacji słonecznej ze względu na zyski solarne, które mogą wpływać negatywnie lub pozytywnie na bilans energetyczny. W klimacie Polski uważano w połowie ubiegłego wieku, że dostęp do promieniowania słonecznego powinien być jak największy ^[141]. Wraz z rozwojem technologii izolacji budowlanych i wentylacji oraz ze zmianami klimatu wzrasta zagrożenie przegrzewania się wewnątrz w okresie letnim. W skrajnych przypadkach słońce w koncepcjach architektonicznych traktowane jest jako realny czynnik zagrażający komfortowi termicznemu, a jego dostęp jest precyzyjnie ograniczony. Projektowanie osłon przeciwsłonecznych jest współcześnie elementem niezwykle istotnym w zakresie regulacji dostępu promieni słonecznych do wnętrza w celu ogrzewania i oświetlenia.

W pracy przedstawiono problematykę osłon zewnętrznych z uwzględnieniem kierunków świata, a także osłon wewnętrznych oraz osłon w postaci zieleni.

Precyzyjne projektowanie osłon przeciwsłonecznych powinno uwzględniać zarówno pory roku, jak i godziny, w których należy wyeliminować nadmiar insolacji. Od września do końca marca elewacja południowa powinna być otwarta na zyski słoneczne, poza tym okresem winna być zacieniona ^[142]. W godzinach porannych i wieczornych kąt padania promieni słonecznych jest niewielki. W przypadku stosowania osłon stałych preferowane jest więc stosowanie na elewacjach wschodniej i zachodniej pionowych elementów zacieniających. W okresie letnim ściany o orientacji wschodniej i zachodniej uzyskują największy poziom insolacji w ciągu roku ^[143]. Odpowiednie zacienianie okien o tej orientacji jest zatem istotnym zagadnieniem projektowym. W szczególności zacienienie strony zachodniej odgrywa istotną rolę ^[144] ze względu na pozyskiwanie energii pod koniec dnia. Wtedy właśnie po całym dniu oddziaływania słońca na budynek następuje wzrost intensywności użytkowania wnętrza przez mieszkańców. Elementy poziome montowane w płaszczyźnie okna lub poziome i ażurowe elementy montowane ponad otworem dużo lepiej sprawdzają się na elewacjach południowych. W okresie letnim przy odpowiednim wysięgu mogą stanowić skuteczną ochronę. Stałe elementy zacieniające w postaci pełnej płyty lub balkonu powodują jednak redukcję zysków w okresie zimowym, czyniąc okno mniej wydajnym energetycznie ^[145]. Poziome osłony nie stanowią natomiast dostatecznie dobrego zabezpieczenia dla elewacji wschodnich i zachodnich ze względu na niski kąt padania promieniowania słonecznego. Odpowiednio zaprojektowane stałe osłony przeciwsłoneczne pozwalają na precyzyjną regulację napływu światła w zależności od pory roku. Preferowane stosowanie typów osłon przeciwsłonecznych ze względu na orientację przedstawia RYSUNEK 1.4.3, rys. 1.

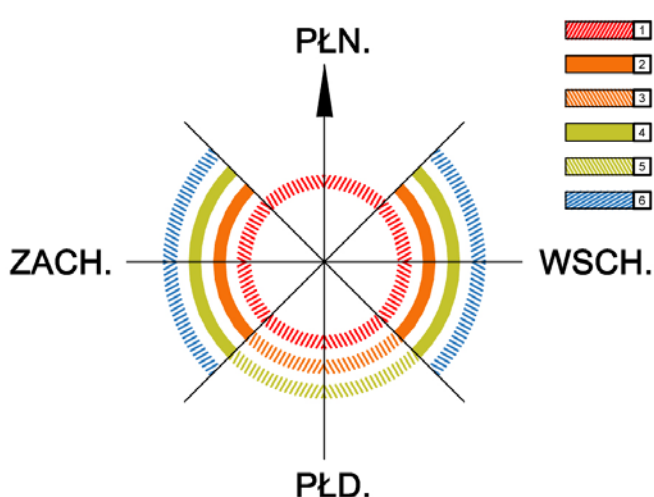
¹⁴¹ TWAROWSKI M.: *Słońce w architekturze*. Arkady, Warszawa, 1960.

¹⁴² CHWIEDUK D.: *Wytyczne tworzenia koncepcji energetycznej budynku*. "Czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2012, R. 109, z. 2-B: s. 45-54.

¹⁴³ KRAUSE C.: *Prefabrykowane ściany zewnętrzne: przykłady rozwiązań, złącza i spoiny, faktury elewacyjne, osłony przeciwsłoneczne*. Arkady, Warszawa, 1974.

¹⁴⁴ CHWIEDUK D.: *Wytyczne tworzenia koncepcji energetycznej budynku*. "Czasopismo Techniczne. Budownictwo", 2012, R. 109, z. 2-B: s. 45-54.

¹⁴⁵ RZEŹNIK I., ŁADECKA B.: *Wpływ usytuowania okna i osłony przeciwsłonecznej w formie balkonu na bilans cieplny okna*. "Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja", 2013, T. 44 nr 9: s. 394-397.



RYСУNEK 1.4.3, rys. 1. Zależność wybranych systemów zaciniania od kierunków świata.

1 – Systemy osłon pełnych (rolety, elementy przesuwne).

Znaczne ograniczenie widoczności.

2 – Poziome elementy zaciniające z możliwością regulacji przy prawie całkowitym zamknięciu lub poziome elementy stałe o dużej gęstości i znacznym wysięgu.

Znaczne ograniczenie widoczności.

3 – Poziome elementy zaciniające z możliwością regulacji, stałe elementy o proporcji wysięgu do odstępu między elementami 1:1 – 0.8:1.

Zachowanie znacznej widoczności.

4 – Elementy pełne w postaci okiennic lub rolet uchylnych.

Znaczne ograniczenie widoczności przy zacinianiu. Widoczność zależna od kąta otwarcia.

5 – Półki zaciniające (balkony, markizy).

Zachowanie pełnej widoczności.

6 – Pionowe elementy zaciniające stałe i ruchome.

Zachowanie pełnej widoczności.

Opracowanie własne w na podstawie: J. Marchwiński, K. Zielonko-Jung [¹⁴⁶, str. 156].

Stale osłony przeciwsłoneczne są często elementami pełniącymi inne funkcje w budynku. Najczęściej to okapy dachu, zadaszenia tarasów lub balkony – zatem elementy o wysokim poziomie integracji z bryłą budynku i wpływie na jego formę.

Osłony ruchome, choć obciążone większym potencjałem awaryjności, są rozwiązaniami dużo bardziej elastycznymi i wydajniejszymi [¹⁴⁷]. W zależności od sposobu wykończenia elementów zaciniających mogą one pełnić ochronę przed bezpośrednim promieniowaniem słonecznym przy zapewnieniu oświetlenia światłem odbitym. Na redukcję promieniowania przez osłony przeciwsłoneczne wpływa typ osłony, jej kolor, perforacja oraz materiał, z którego jest wykonana. Istotną zmienną dotyczącą ruchomych osłon przeciwsłonecznych jest również sposób sterowania. Sterowanie mechaniczne z wykorzystaniem czujników mierzących wybrane parametry środowiska zewnętrznego i wewnętrznego pozwala na precyzyjniejsze zarządzanie zyskami z insolacji. Samo sterowanie w zakresie godzinowym w przypadku rolet zewnętrznych zamykanych w ciągu dnia (8–18) skutecznie redukuje nadmierne zyski solarne w okresie letnim, jednak w okresie zimowym ogranicza pasywne zyski solarne. W przypadku sterowania automatycznego, gdzie zamknięcie osłon następuje w przypadku przekroczenia określonej temperatury we wnętrzu, roczny bilans energetyczny jest lepszy. W rozwiązaniu takim ograniczone zostaje zapotrzebowanie na energię grzewczą [¹⁴⁸]. Warto zauważyć jednak, że wpływ zewnętrznych osłon sterowanych ręcznie może być korzystniejszy niż automatycznych wewnętrznych [¹⁴⁹]. Osłony wewnętrzne o wysokim parametrze odbicia promieniowania mogą wpłynąć korzystnie na redukcję liczby godzin

¹⁴⁶ MARCHWIŃSKI J., ZIELONKO-JUNG K.: Współczesna architektura proekologiczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.

¹⁴⁷ ZIELONKO-JUNG K.: *Kształtowanie elewacji budynku z uwzględnieniem optymalnego nasłonecznienia przeszkleń*. „Świat Szkła”, 2014, R. 19, nr 4: s. 19-21.

¹⁴⁸ JADWISZCZAK P. *Całoroczny bilans cieplny budynku energooszczędnego*. „Rynek Instalacyjny”, 2013, nr 4: s. 29-32.

¹⁴⁹ ŻURAWSKI J.: *Wpływ osłon przeciwsłonecznych na bilans energetyczny budynku*. „Świat Szkła”, 2015, R. 20, nr 11: s. 17-23.

obniżonym komforcie termicznym w wyniku przegrzania [¹⁵⁰], są jednak mniej efektywnym rozwiązaniem niż osłony zewnętrzne.

Schematy osłon przeciwsłonecznych oraz ich charakterystykę przedstawia TABELA 1.4.3, nr 1.

Ze względu na częściowe pochłonięcie energii słonecznej i konwersję jej na energię ciepłą osłony przeciwsłoneczne powinny być projektowane jako zewnętrzne. Osłony wewnętrzne mogą stanowić funkcję dodatkowej osłony przed lśnieniem. W celu poprawienia ochrony budynku przed przegrzewaniem osłony wewnętrzne winny charakteryzować się wysoką refleksyjnością w celu odbicia jak największej ilości energii słonecznej. Osłony wewnętrzne w postaci materiałów o wyższej izolacyjności mogą stanowić warstwę dodatkowej izolacji termicznej wpływającej na komfort użytkowania zimą.

Izolacyjność termiczna może być dodatkowym parametrem przemawiającym za wykorzystaniem osłon w koncepcji budynku energooszczędnego. Dla osłon tworzących po zamknięciu pełną, szczelną powłokę otworu okiennego można zauważyć wzrost izolacyjności całej przegrody (zestaw okienny i osłona). Takie rozwiązanie pozwala latem na ograniczenie nadmiernych zysków słonecznych poprzez całkowite zamknięcie osłon w momencie występowania wysokiego poziomu insolacji i otwarcie ich w czasie, kiedy insolacja przestaje mieć wpływ na przegrzewanie. W okresie grzewczym przesunięcie cyklu może ograniczyć straty ciepła. Otworzenie osłon w ciągu dnia pozwala osiągnąć zyski solarne. Zamknięcie po zmierzchu ogranicza straty ciepła. Warto, by cykl ten był skorelowany również ze sposobem użytkowania pomieszczeń ze względu na ograniczenie oświetlenia światłem dziennym i widoku przez okna. Największą izolacyjnością cieplną charakteryzują się osłony o dużej szczelności na przenikanie powietrza z wypełnieniem w postaci materiału termoizolacyjnego [^{151,152}].

Systemy architektoniczno-roślinne osłon przeciwsłonecznych są reprezentowane przez rozmaite rozwiązania w formie zespolonej lub zintegrowanej z budynkiem. Rozwiązania zespolone oparte są na bezpośredniej inwazji roślin na strukturę budynku bez specjalnie zaprojektowanych konstrukcji. W przypadku rozwiązań zespolonych w budynku występują dedykowane elementy ułatwiające roślinności rozrastanie się w określonym kierunku [¹⁵³]. Roślinność gubiąca liście na zimę ma zdolność samoregulacji w zakresie dopływu światła do wnętrza. Drzewa gubiące liście, rosnące przy budynku mogą ograniczyć całkowite dzienne napromieniowanie w okresie letnim przy znacznie mniejszym wpływie na zacienianie w okresie zimowym [¹⁵⁴]. Drzewa zimozielone powodują zacienienie całoroczne. Ich oddziaływanie na budynek może być jednak zmienne w cyklu rocznym ze względu na wysokość korony nad ziemią i jej wielkość.

Wykorzystanie zieleni ma wpływ również na regulację wilgotności, czystość powietrza, ochronę przed wychładzaniem przez wiatr oraz redukcję śladu węglowego [^{155,156}]. W niektórych

¹⁵⁰ FIRLAĞ S.: *Ograniczenie ryzyka przegrzewania budynków pasywnych*. "Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja", 2013, 44 nr 3: s. 111-116.

¹⁵¹ GERYŁO R.: *Współdziałanie osłon przeziernych i osłon przeciwsłonecznych w zapewnieniu komfortu cieplnego*. „Świat Szkła” 2015, R. 20, nr 4(195): s. 24-27.

¹⁵² ŻURAWSKI J.: *Wpływ osłon przeciwsłonecznych na bilans energetyczny budynku*. „Izolacje”, 2015, 20.

¹⁵³ CELADYN W.: *Architektura a systemy roślinne. Studium relacji między elementami architektonicznymi a roślinnymi*. Wydawnictwo PK, Kraków, 1992.

¹⁵⁴ CHILICKA E., MIJAKOWSKI M.: *Zacienienie budynku przez koronę drzewa – całoroczne natężenie promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni fasady*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2010, T. 41, nr 4: s. 135-140.

¹⁵⁵ BŁASZCZYŃSKI T.: *Ecological construction and new technology. Discussion of some technological innovations while improving the building's performance*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2014, z. 2-B, nr 6: s. 173-182.

¹⁵⁶ TRZASKOWSKA E.: *Wykorzystanie roślin w projektowaniu architektonicznym (pnącza, ogrody wertykalne)*. „Teka. Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr.”, 2010, T. 6: s. 110-121.

przypadkach także na izolacyjność czy akumulacyjność przegród [¹⁵⁷]. Gęsta warstwa liści stanowi ochronę przed wiatrem. Dodatkowe warstwy powietrza między roślinnością pnącą tworzą osłonę redukującą wahania temperatury przy elewacji nawet o 50%. Poduszka powietrzna utrzymana w okresie zimowym pozwala na ograniczenie strat ciepła. Zgodnie z badaniami bardzo dobre warunki zapewnia zimozielony bluszcz tworzący powłokę o grubości 20–40 cm [¹⁵⁸]. Warunki między ścianą a warstwą liści mogą mieć temperaturę korzystniejszą o 2–3°C względem powietrza otaczającego. Osłony przeciwsłoneczne wykorzystujące roślinność mogą stanowić ochronę całej obudowy obiektu przed nadmiernym działaniem insolacji. Korzystnym rozwiązaniem dla dachów płaskich jako elementów budynku najbardziej narażonych na bezpośrednie działanie insolacji w okresie letnim jest stosowanie zielonych dachów. Roślinność, grubość substratu oraz sposób nawadniania są czynnikami wpływającymi na ochronę tej przegrody przed przegrzewaniem.

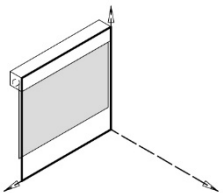
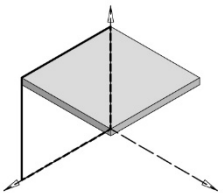
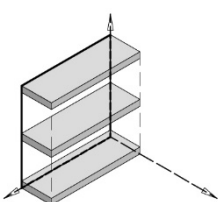
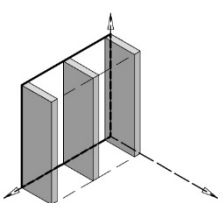
Zielone dachy w ubiegłym wieku uważane były również za rozwiązanie wpływające na ograniczanie strat energii cieplnej w budynku. Znaczenie to przy dzisiejszym rozwoju technik izolacji jest niewielkie. Wykazuje się wręcz, że w przypadku nowych, dobrze zaizolowanych budynków może być to efekt pomijalny. Wpływa jednak istotnie przy słabiej docieplonych budynkach, może więc brać udział w modernizacji energetycznej. Niestety jest to rozwiązanie mało ekonomiczne. Efekt izolacyjny zielonych dachów w dużym stopniu zależy od parametrów substratu i jego grubości [¹⁵⁹].

¹⁵⁷ CELADYN W.: *Architektura a systemy roślinne. Studium relacji między elementami architektonicznymi a roślinnymi*. Warszawa, 1992.

¹⁵⁸ DUNNETT N., KINGSBURY N.: *Planting green roofs and living walls*. Timber press, Portland, 2008.

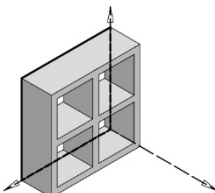
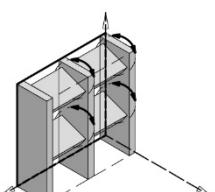
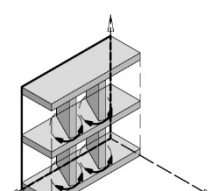
¹⁵⁹ FIUK P., KOCZYK H.: *Przegrody zielone – wpływ na ochronę ciepłą budynku i jego otoczenie, Cz. 1. Analiza rozwiązań*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2014, T. 45, nr 3: s. 99-105.

TABELA 1.4.3, nr 1. Schematy typów osłon przeciwsłonecznych. Opracowanie własne w na podstawie: V. Olgyay [¹⁶⁰ s. 81–83], , M. Twarowski [¹⁶¹].

WEWNĘTRZNE ELEMENTY ZACIENIAJĄCE	
TYP OSŁONY PRZECIWSŁONECZNEJ	
	UWAGI: Dla osłon wewnętrznych o zmiennym poziomie przesłaniania możliwe jest całkowite ograniczenie dostępu promieni słonecznych wraz z ograniczeniem widoczności. Montaż wewnątrz powoduje częściowe zatrzymanie energii cieplnej we wnętrzu. Systemy skuteczne dla wszystkich kierunków świata.
POZIOME ELEMENTY ZACIENIAJĄCE ZEWNĘTRZNE	
TYP OSŁONY PRZECIWSŁONECZNEJ	
	UWAGI: Skuteczność osłony w postaci półki pełnej lub ażurowej zależy od jej wysięgu i zakresu wysunięcia na boki poza obrys otworu.
	UWAGI: Dla osłon przeciwsłonecznych poziomych, stałych istotny jest stosunek wysięgu osłony do odległości między jej elementami. Skuteczność w mniejszym stopniu zależy od wysięgu na boki ze względu na umieszczenie elementów zacieniających w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny otworu okiennego. Zmiana kąta nachylenia wpływa na poziom przepuszczania promieni słonecznych wraz z poziomem widoczności.
PIONOWE ELEMENTY ZACIENIAJĄCE ZEWNĘTRZNE	
TYP OSŁONY PRZECIWSŁONECZNEJ	
	UWAGI: Pionowe stałe osłony przeciwsłoneczne działają w zakresie ograniczenia godzin dostępu promieniowania słonecznego. Na zakres dostępu promieniowania słonecznego wpływa stosunek wysięgu osłon do odległości pomiędzy nimi. Osłony przepuszczają najwięcej promieniowania w zakresie godzin przy azymucie Słońca zgodnym z kierunkiem ustawienia elementu zacieniającego. Zmiana kąta nachylenia wpływa na godziny dostępu promieniowania słonecznego oraz na kierunek widoczności. Przy wysokim kącie odchylenia następuje znaczne zmniejszenie widoczności. Dla elementów ruchomych możliwe jest ograniczenie promieniowania z zachowaniem dobrej widoczności.

¹⁶⁰ OLGYAY V.: *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, Princeton-Oxford, 2015.

¹⁶¹ TWAROWSKI M.: *Słońce w architekturze*. Arkady, Warszawa, 1960.

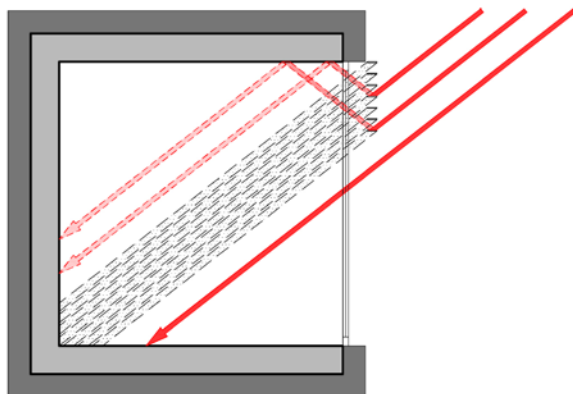
JEDNOCZESNE STOSOWANIE OSŁON PIONOWYCH I POZIOMYCH	
TYP OSŁONY PRZECIWSŁONECZNEJ	
	UWAGI: Pionowe i poziome stałe osłony przeciwsłoneczne działają w zakresie ograniczenia godzin dostępu promieniowania słonecznego i zacierania w zależności od kąta padania promieni słonecznych. Osłony przepuszczają najwięcej promieniowania w zakresie godzin przy azymucie Słońca zgodnym z kierunkiem ustawienia elementu zacierającego.
	UWAGI: Układ z ruchomymi elementami poziomymi pozwala na regulację dostępu promieniowania wynikającego z kąta padania promieni słonecznych dla stałego przedziału godzin dostępnego promieniowania ustalonego przez elementy pionowe.
	UWAGI: Układ z ruchomymi elementami pionowymi pozwala na regulację zakresu godzinowego dostępu promieniowania słonecznego.

1.5 OŚWIETLENIE

Technologie związane z zarządzaniem oświetleniem dziennym są jednymi z bardziej innowacyjnych trendów w architekturze światowej. W architekturze krajowej wciąż są rozwiązaniami mało rozpowszechnionymi [¹⁶²].

Światło słoneczne oświetla pomieszczenia w sposób satysfakcjonujący do głębokości wynoszącej dwu i półkrotność wysokości tworu okiennego, przez który wpadają promienie słoneczne [¹⁶³]. Dla zapewnienia głębszej penetracji światłem dziennym i bardziej równomiernego poziomu oświetlenia w pomieszczeniu można wykorzystać metody oparte na załamaniu, odbiciu i rozproszeniu promieniowania słonecznego. Metody związane ze stosowaniem powierzchni refleksyjnych są możliwe do łatwej implementacji na każdym etapie, od nowo powstających budynków do tych modernizowanych. Rozwiązania takie stanowią często również funkcję zacieniająca, ze względu na występowanie półek lub żaluzji.

W pracy przedstawiono siedem wybranych wariantów zarządzania oświetleniem poprzez elementy architektoniczne.



RYSUNEK 1.5, rys. 1.
Schemat zwiększenia penetracji światłem dziennym z wykorzystaniem zewnętrznych żaluzji z powierzchnią refleksyjną.

Opracowanie własne.

Jedną z podstawowych technik jest stosowanie żaluzji o zmiennych kątach nachylenia z odpowiednio dobranymi powierzchniami refleksyjnymi (RYSUNEK 1.5, rys. 1). Żaluzje ustawione poziomo pozwalają na odbicie promieniowania słonecznego, promieniowania nieboskładu i odbitego, w tym odbitego od ziemi. Dla obróconych lameli płaszczyzną w górę zapewnia się możliwość odbicia promieniowania nieboskładu i promieni słonecznych. Dla ustawienia w przeciwnym kierunku zapewnia się odbicie promieniowania odbitego od gruntu. Stosowanie żaluzji o powierzchni refleksyjnej pozwala na uniknięcie olśnienia i bardziej równomierne rozłożenie oświetlenia dziennego w pomieszczeniu. Żaluzje mogą być montowane wewnątrz, co nie wpływa znacząco na wyraz architektoniczny budynku, wpływa jednak niekorzystnie na przyjmowanie energii cieplnej w okresach niepożądanych. Podobny wpływ mają żaluzje montowane w przestrzeni międzyszybowej. Zaletą montażu wewnętrznego i międzyszybowego jest natomiast mniejsze ryzyko zabrudzenia lub zniszczenia powierzchni refleksyjnych.

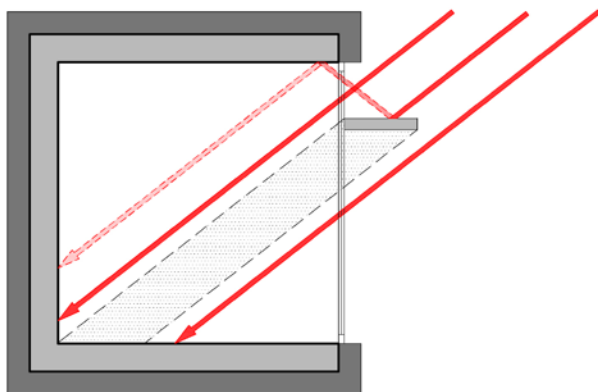
¹⁶² CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011.

¹⁶³ CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.

Rozwiązaniem, które ze względu na ochronę przed przegrzewaniem wypada korzystniej, są żaluzje zewnętrzne chroniące jednocześnie przed przegrzewaniem wnętrza. Zaletą i zarazem wadą tego systemu jest możliwość regulacji kąta nachylenia lameli. Mechanizmy regulujące wymagają bowiem konserwacji i mogą ulec uszkodzeniu. Jest to rozwiązanie, które również wpływa na widoczność. Żaluzje powinny być projektowane tak, by szerokość lameli była większa niż odstęp pomiędzy nimi. Pozwala to na całkowite zamknięcie i ograniczenie widoczności oraz dostępu promieniowania słonecznego. W większości systemów wykorzystujących odbicie dla lepszego doświetlenia istotnym elementem jest sufit, na który nakierowywane jest odbite promieniowanie. W zależności od sposobu jego wykończenia, koloru, możliwości pochłaniania, odbicia i faktury uzyskać można różny efekt i wydajność. Sufity o wysokim poziomie odbicia z lustrzaną powierzchnią mogą co prawda wydajniej przekazywać energię, jednak mogą także powodować olśnienie.

Półki świetlne są natomiast rozwiązaniami, które w większości przypadków nie wpływają na ograniczanie widoczności. Są to elementy mocowane poniżej górnej krawędzi otworu okiennego, umożliwiając w ten sposób odbicie promieni słonecznych na płaszczyznę sufitu, by głębiej i równomierniej doświetlić pomieszczenie. Półki mogą być montowane wewnątrz, na zewnątrz i po obu stronach przegrody przezroczystej (RYSUNEK 1.5, rys. 3.). Rozwiązanie wewnętrzne, choć łatwiejsze w konserwacji powierzchni refleksyjnej, powoduje powstanie elementu pochłaniającego ciepło w pomieszczeniu. Półki świetlne montowane zewnętrznie nie przekazują pozyskanej energii cieplnej do wnętrza, lecz wymagają dużo większej dbałości o czystość, gdyż są bardziej narażone na czynniki atmosferyczne i zabrudzenia związane np. z bytowaniem ptaków (RYSUNEK 1.5, rys. 2.).

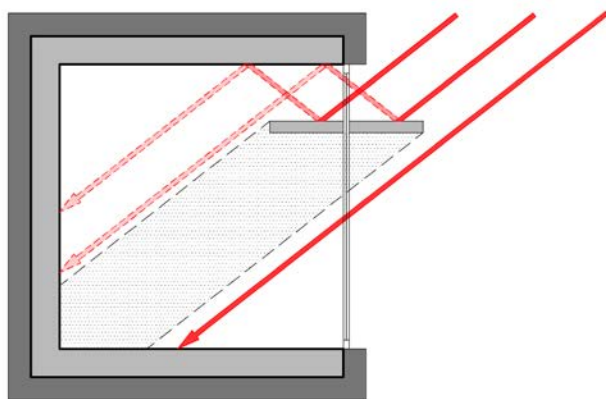
Półki świetlne tworzą jednocześnie element zacinający, ograniczając promieniowanie słoneczne w przestrzeni bliżej okna. Wysięg elementu odbijającego nie powinien być większy niż wysokość otworu okiennego powyżej jego płaszczyzny. Zmiana kąta nachylenia wpływa na ilość docierającego promieniowania do wnętrza.



RYSUNEK 1.5, rys. 2.
Schemat zwiększenia penetracji światłem dziennym z wykorzystaniem zewnętrznej półki świetlnej.

Opracowanie własne.

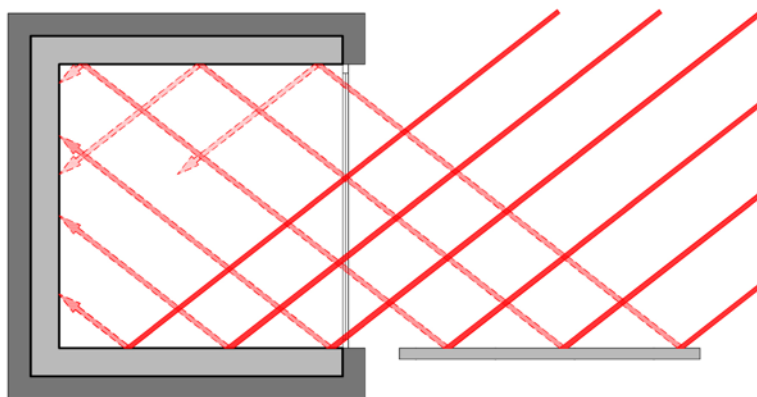
Szczególnym przypadkiem półek mogą być parapety z powierzchnią refleksyjną o różnym wysięgu lub elementy przesuwne i obrotowe okiennic z powierzchnią umożliwiającą odbicie promieniowania do wnętrza. Rozwiązania takie nie stanowią elementów zacinających i powodują wyłącznie zwiększenie ilości docierającego promieniowania do wnętrza, w tym energii cieplnej. Na podobnej zasadzie działają powierzchnie o wysokiej refleksyjności, niezwiązane z samą strukturą budynku (RYSUNEK 1.5, rys. 4). Odpowiednie zagospodarowanie terenu



RYSUNEK 1.5, rys. 3. Schemat zwiększenia penetracji światłem dziennym z wykorzystaniem zewnętrznej i wewnętrznej półki świetlnej.

Opracowanie własne.

z wykorzystaniem jasnego wykończenia posadzki lub stosowanie zbiorników wodnych może wpłynąć na ilość docierającego promieniowania słonecznego, jednocześnie powodując jednak większe zagrożenie olśnieniem. Elementy takie, rozpatrywane jako typ zagospodarowania terenu dla maksymalnego pozyskiwania promieniowania w okresie zimowym, nie powinny być oddalone od budynku bardziej niż 2,7-krotność wysokości od podłoża do górnej krawędzi otworu okiennego. Zbiorniki wodne mają zmienny poziom albedo zależny od kąta padania promieniowania, który jest odwrotnie proporcjonalny do kąta nachylenia promieni padających. Niewzburzona tafla wody odbija więcej promieniowania zimą niż latem. Udział promieniowania odbitego od typowej powierzchni otoczenia może stanowić do kilkunastu procent docierającego do wnętrza promieniowania. Odpowiednie zaprojektowanie powierzchni może znacząco wpłynąć na poziom dostępnej insolacji [¹⁶⁴].



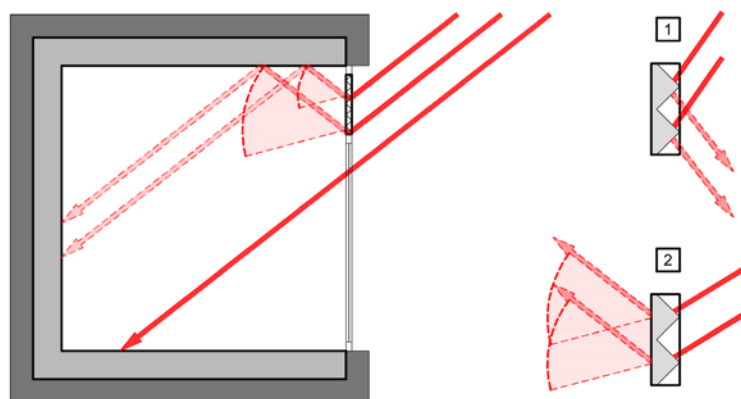
RYSUNEK 1.5, rys. 4. Schemat zwiększenia penetracji światłem dziennym z wykorzystaniem elementu zagospodarowania terenu. Do zwiększenia ilości światła docierającego do wnętrza należy wykorzystywać materiały o wysokim współczynniku odbicia promieni słonecznych. Do odbicia promieni może służyć również tafla wody.

Opracowanie własne.

Rozwiązaniem bardziej zaawansowanym technologicznie ze względu na zastosowane materiały są systemy oparte na panelach pryzmatycznych i ciętych laserowo (RYSUNEK 1.5, rys. 5). Panele pryzmatyczne projektowane są w oparciu o odbicie i załamanie zachodzące w materiale. Odpowiednio dobrane powierzchnie pryzm pozwalają na precyzyjne wybieranie promieniowania docierającego do wnętrza. Dokładnie wytrawione powierzchnie refleksyjne w odpowiednie płaszczyzny pryzm zwiększają wydajność paneli. Rozwiązanie takie

¹⁶⁴ CHWIEDUK D.: *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*. IPPT, Warszawa, 2006.

stosowane jest głównie w górnych partiach otworu okiennego. System ten ogranicza w znaczącym stopniu widoczność. Panele pryzmatyczne wykonywane są głównie z tworzyw sztucznych i ze względu na wrażliwość powierzchni na uszkodzenia umieszczane są w przestrzeni międzyszybowej. Istnieją rozwiązania częściowo aktywne, które wykorzystują całkowicie odbite promieniowanie do produkcji elektrycznej. Skupiona wiązka odbitego światła wewnątrz panelu pryzmatycznego skierowana jest na poziomo ustawione ogniwa w przestrzeni międzyszybowej [165].



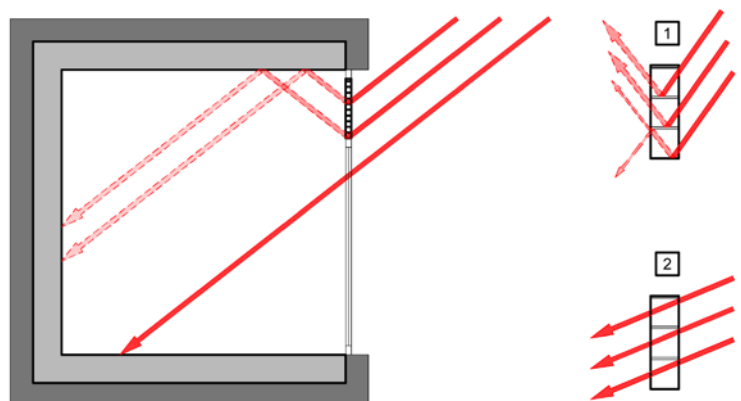
RYSUNEK 1.5, rys. 5. Schemat zwiększenia penetracji światłem dziennym z wykorzystaniem panelu pryzmatycznego.

1. Dla dużego kąta padania promieni słonecznych można zaprojektować odbicie promieni słonecznych.

2. Dla małego kąta padania promieni słonecznych panel może załamywać promienie, przepuszczając je do wnętrza.

Opracowanie własne.

Alternatywą jest stosowanie paneli ciętych laserowo (RYSUNEK 1.5, rys. 6), przyjmującej postać rastra o wielkości otworów pozwalających na przedostanie się promieniowania bezpośrednio dla wybranych kątów padania. Dla kątów pozostałych wielkość i głębokość rastra powoduje, że promienie zostają obite od wewnętrznych powierzchni otworu. Panel taki jest częściowo przezierny i ogranicza widoczność w mniejszym stopniu niż panel pryzmatyczny. Montowany jest również w przestrzeni międzyszybowej ze względu na wrażliwość powierzchni na zniszczenie.



RYSUNEK 1.5, rys. 6. Schemat zwiększenia penetracji światłem dziennym z wykorzystaniem panelu ciętego laserowo.

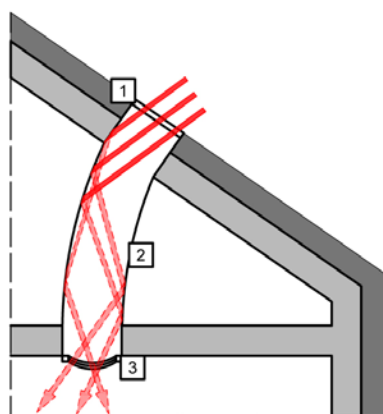
1. Dla dużego kąta padania promieni słonecznych następuje rozproszenie promieni słonecznych na skutek odbicia wewnątrz panelu.

2. Dla małego kąta padania promieni słonecznych część promieni słonecznych przepływa przez panel bez wewnętrznego odbicia.

Opracowanie własne.

¹⁶⁵ MATRIUK G.: *Szkló SunGuard PVGU z ogniwami fotowoltaicznymi*. „Świat Szklá”, 2012, nr 11(168): s. 32.

W budynkach o głębokich traktach w celu zapewnienia odpowiedniego oświetlenia wszystkich przestrzeni stosuje się przeszklone patia i atria umożliwiające łatwiejsze doświetlenie wnętrza. Przestrzenie te pełnią również funkcje związane z dystrybucją energii i wentylacją. Spotyka się też rozwiązania, które pełnią wyżej wymienione funkcje z wyłączeniem użytkowania przestrzeni przez użytkownika. Odpowiednio rozmieszczone powierzchnie refleksyjne w wieżach wiatrowych czy kominach słonecznych mogą stanowić również element doświetlający, stosowany nawet przy głębokości kilku kondygnacji. Podobną zasadę wykorzystują świetliki tunelowe umożliwiające doświetlanie pomieszczeń w oddaleniu od okien (RYSUNEK 1.5, rys. 7). Rozwiązanie takie wykorzystuje odbicie promieni słonecznych wewnątrz elastycznego tunelu łączącego kopułkę na dachu i element wewnątrz pomieszczenia. Może w skuteczny sposób poprawić parametry oświetlenia światłem dziennym pomieszczeń o większej głębokości oraz tych zlokalizowanych we wnętrzu rzutu bez możliwości zastosowania tradycyjnych okien [¹⁶⁶]. Świetliki tunelowe dają mały efekt przy bliskiej lokalizacji dużych okien zewnętrznych stanowiących więcej niż 30% ściany zewnętrznej oraz przy oknach o wysokim wskaźniku transmisyjności światła widzialnego. Dla lepszego i bardziej równomiernego oświetlenia stosowane są matowe powłoki na elemencie wprowadzającym światło do pomieszczenia [¹⁶⁷].



RYSUNEK 1.5, rys. 7. Schemat działania świetlika tunelowego.

1. Osłona przezroczysta świetlika umieszczona w połaci dachu.
2. Giętka rura światłonośna.
3. Osłona wewnętrzna przezroczysta lub matowa doprowadzająca światło do wnętrza.

Opracowanie własne.

1.6 WENTYLACJA

Jednym z czynników, jakie istotnie mogą wpłynąć na bilans energetyczny budynku jednorodzinne, który bazuje na rozwiązaniach pasywnych, jest wentylacja naturalna. Wraz ze wzrostem izolacyjności przegród zewnętrznych budynku rośnie procentowy udział wentylacji w stratach energii. Prawdłowo zaprojektowana wentylacja naturalna może wpłynąć pozytywnie na oszczędności związane z chłodzeniem w okresie letnim, a zimą – na ograniczenie strat energii. Ponadto dobrze rozwiązana wentylacja odpowiada za jakość powietrza oraz samopoczucie mieszkańców. Odpowiednia krotność wymiany powietrza zapewnia usunięcie szkodliwych substancji oraz mikroustrojów czy jonizację.

Mikroklimat wnętrza budynku określają parametry fizyczne, chemiczne i mikrobiologiczne. Jest to stan, który występuje we wnętrzu zawsze, niezależnie od poziomu poszczególnych jego składowych. Może być zróżnicowany zarówno w obrębie samego budynku, jak i poszczególnych miejsc w pomieszczeniu ze względu na występujące czynniki zmieniające poszczególne parametry. Odpowiednie parametry mikroklimatu dla przebywających we wnętrzu ludzi mogą być

¹⁶⁶ <https://www.velux.pl/produkty/dachowe-swietliki-tunelowe>, dostęp 29.05.2018.

¹⁶⁷ KNERA D., SZCZEPAŃSKA-ROSIK E., HEIM D.: *Providing an interior daylight environment through the use of light pipes*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2015, R.111, z. 3-B: s. 195-203.

zapewnione w dużym stopniu przez poprawnie zaprojektowaną wentylację. Ma ona wpływ na większość parametrów wskazanych poniżej [¹⁶⁸]:

- temperatura powietrza,
- wilgotność względna powietrza,
- prędkość powietrza,
- średnia temperatura powierzchni otaczającej,
- poziom oświetlenia,
- poziom hałasu,
- koncentracja zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych.

W architekturze zauważalny jest trend, w którym rezygnuje się z bezwzględnego korzystania z wentylacji mechanicznej i klimatyzacji na rzecz rozwiązań bazujących na naturalnym przepływie powietrza. Podejście takie reprezentują między innymi budynki modelowe zaprojektowane w ramach programu Model Home 2020. Korzystanie z naturalnego i darmowego źródła transportu energii cieplnej i zmiany jakości powietrza za pomocą rozwiązań pasywnych zdaje się być rozwiązaniem zyskującym coraz większą popularność. Inżynierowie i architekci coraz częściej sięgają po tego typu rozwiązania, które sprawdzają się w klimatach umiarkowanych jako główne rozwiązanie wentylacji lub w połączeniu z wentylacją mechaniczną. W budynkach, w których jedną z równorzędnych idei podczas procesu projektowego było zastosowanie wentylacji naturalnej, często można zauważyć odzwierciedlenie tych założeń w formie i rozwiązaniach funkcjonalno-przestrzennych. Tak więc obieg energii w budynku, czyli energetyczny aspekt architektury, znajduje swe odzwierciedlenie w wizualnym i funkcjonalnym aspekcie. W ten sposób tworzy się język architektury oparty na rozwiązaniach wpływających na bilans energetyczny budynku. Narracja taka nie jest jednak czytelna dla każdego odbiorcy, wymaga bowiem pewnej wiedzy specjalistycznej [¹⁶⁹].

W rozdziale przedstawiono zagadnienia związane z wentylacją naturalną oraz jej typami. Opisano dwa rodzaje instalacji intensyfikujących wymianę powietrza w budynku – kominy słoneczne i wieże wiatrowe. Jako osobne zagadnienie wyodrębniono chłodzenie oparte na przepływie powietrza w budynku.

1.6.1 TRANSPORT ENERGII W BUDYNKU

Istotnym zagadnieniem dla zrozumienia zasady działania poszczególnych rozwiązań pasywnych wydają się być sposoby przekazywania energii cieplnej w budynku. W zależności od analizowanego rozwiązania występuje jeden lub więcej z trzech sposobów wymiany energii: przewodzenie, konwekcja, promieniowanie. Dla celów niniejszej pracy problematyka ta zostaje ujęta w sposób ogólny, umożliwiający zrozumienie zasady działania poszczególnych rozwiązań, bez zagłębiania się szczegółowo w procesy fizyczne, których opisaniem zajmują się między innymi takie dziedziny jak fizyka budowli i energetyka. Zjawiska fizyczne związane z ciepłem w budynku mają złożony charakter i wymagają skomplikowanych modeli matematycznych dla dokładnego ich opisanie.

Dystrybucja energii w budynku odbywa się głównie za pomocą nośnika, jakim jest powietrze. W pasywnym ujęciu czynnik ten przepływa przez wnętrze samoistnie, zgodnie z prawami fizyki,

¹⁶⁸ KLEMM P.: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli*. Arkady, Warszawa, 2005.

¹⁶⁹ NIEZABITOWSKI A.: *Narracja architektoniczna – interpretacje, spekulacje czy fakty empiryczne?* „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, 2016, T. 61, z. 1: s. 5-30.

bez wymuszenia ruchu w sposób mechaniczny. Energia cieplna w budynku transportowana jest również przez elementy stałe, np. w ścianach kolektorowych oraz przez inne przegrody budowlane i obudowę zewnętrzną budynku.

Przewodzenie jest procesem wymiany ciepła między dwoma bezpośrednio ze sobą kontaktującymi się ośrodkami o różnej temperaturze lub wewnątrz jednego ciała stałego, w którym występuje różnica temperatur. Proces prowadzi do wyrównania się temperatur poprzez przekazywanie energii kinetycznej przez cząsteczki. Energia przekazywana jest od części układu o temperaturze wyższej do części o temperaturze niższej [¹⁷⁰]. W budownictwie przewodność cieplna materiałów oznaczana jest jako λ , dla zadanej grubości materiału pozwala ona na określenie oporu cieplnego R [¹⁷¹].

Konwekcja swobodna jest zjawiskiem występującym głównie w gazach i płynach. Prowadzi do przemieszczania się mas substancji oraz wymiany energii cieplnej. Może też prowadzić wyłącznie do powstania prądów konwekcyjnych, czyli przemieszczania się mas substancji ze względu na różnicę temperatur. Konwekcja jest jednym z podstawowych sposobów wpływających na wymianę energii przez powietrze we wnętrzu budynku. Przemieszczanie się powietrza zależy od różnicy ciśnień pomiędzy warstwami powietrza o różnej temperaturze. Powietrze o większej temperaturze i jednocześnie mniejszej gęstości przemieszcza się ku górze względem mas chłodniejszych. Prędkość powietrza w pomieszczeniu przy występowaniu konwekcji swobodnej może osiągać od kilku do kilkunastu centymetrów na sekundę. Tak poruszające się powietrze w pomieszczeniu w bliskim obszarze powierzchni ściany osiąga prędkość bliską zeru. Między stojącą warstwą powietrza a ścianą następuje wymiana ciepła przez przewodzenie. Jest to cecha wspólna dla konwekcji swobodnej występującej głównie we wnętrzu budynku, jak i dla konwekcji wymuszonej. Konwekcja wymuszona wewnątrz budynku może następować na skutek działania wentylatora lub przewietrzania. Na zewnątrz budynku głównym czynnikiem jest wiatr [¹⁷²].

Promieniowanie jest sposobem przekazywania energii za pomocą fal elektromagnetycznych emitowanych przez cząsteczki w wyniku ich ruchu termicznego. Ciała o temperaturze pokojowej oraz w temperaturach z dość szerokiego zakresu powyżej i poniżej niej emitują fale podczerwone. Potocznie nazywane promieniowaniem cieplnym. Przy wymianie ciepła w praktyce zwraca się uwagę głównie na dwa zakresy promieniowania: wysokotemperaturowe promieniowanie słoneczne oraz niskotemperaturowe promieniowanie emitowane przez przegrody i urządzenia grzewcze. Dla różnych materiałów obserwuje się różne współczynniki pochłaniania fal w zależności od ich długości. Istotny jest również kąt odbicia wpływający na ilość odbitych fal od powierzchni materiału, które nie zostają przez niego zaabsorbowane [^{173,174}].

1.6.2 WENTYLACJA NATURALNA

Wentylacja w budynku stanowi istotne zagadnienie wpływające na komfort użytkowania pomieszczeń. Odpowiada za poprawne z punktu higieny i komfortu termicznego parametry powietrza, którym oddychają użytkownicy i wpływa bezpośrednio na jakość zamieszkania. Brak odpowiedniej wymiany powietrza może być przyczyną wzrostu zanieczyszczenia powietrza wpływającego na zdrowie człowieka. W powietrzu złej jakości występują zanieczyszczenia pyłowe i mikrobiologiczne [¹⁷⁵]. Odpowiednia krotność wymiany powietrza wpływa również na

¹⁷⁰ KLEMM P.: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli*. Arkady, Warszawa, 2005.

¹⁷¹ PN-EN ISO 6946:2008

¹⁷² KLEMM P.: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli*. Arkady, Warszawa, 2005.

¹⁷³ CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*, Arkady, Warszawa 2011

¹⁷⁴ KLEMM P.: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli*. Arkady, Warszawa, 2005.

¹⁷⁵ BASIŃSKA M., MICHAŁKIEWICZ M.: *Mikrobiologiczna jakość powietrza w budynku pasywnym w czasie jego eksploatacji*. „Instal”, 2011, nr 10: s. 36-39.

odprowadzanie nadmiaru wilgoci z powietrza, zapobiegając powstawaniu pleśni. Przemieszczanie się powietrza w obrębie budynku jest także jednym z podstawowych sposobów transportu energii cieplnej wewnątrz budynku oraz w obrębie samego pomieszczenia. Masy powietrza przepływają wewnątrz budynku, co odbywa się głównie dzięki różnicom gęstości mas powietrza. Powietrze cieplejsze ma mniejszą gęstość od powietrza chłodniejszego, w związku z czym jako lżejsze wypierane jest ku górze. W ten sposób następuje samoistne przemieszczanie się mas powietrza w obrębie pomieszczeń czy całego budynku. Cięższe – zimniejsze powietrze opada, lżejsze, cieplejsze, wypierane jest ku górze. W zakresie wymiany powietrza między budynkiem a otoczeniem to różnice ciśnień wynikające z temperatur wewnętrznych i zewnętrznych mają istotny wpływ na przepływ powietrza. Taka zależność powoduje, że najprostsze systemy wentylacji grawitacyjnej są w dużym stopniu nieprzewidywalne, a w niekorzystnych warunkach pogodowych działają wadliwie. Kierunek przepływu powietrza następuje ze stref o mniejszej gęstości gazu do stref o jego większej gęstości. Ciąg kominowy powstaje więc, gdy powietrze zewnętrzne jest chłodniejsze niż wewnętrzne. W okresie letnim, gdy temperatura powietrza atmosferycznego jest wyższa niż komfortowa temperatura utrzymywana we wnętrzach, można często zaobserwować wsteczny ciąg powietrza w kanałach wentylacji grawitacyjnej [176]. Na przepływ powietrza przez wnętrze duży wpływ ma jego ukształtowanie. Przeszkody w postaci licznych ścian, mebli oraz nieodpowiednie rozmieszczenie otworów w ścianach wysokich pomieszczeń mogą prowadzić do powstawania martwych stref. Brak możliwości usunięcia powietrza z górnych partii pomieszczeń eliminuje możliwość lokalizacji antresol lub wysoko usytuowanych przestrzeni do pracy i snu [177].

Wentylacja naturalna w budynku to proces samoczynnej wymiany powietrza zachodzący na skutek wytworzenia się różnicy ciśnień pomiędzy wnętrzem a zewnątrz budynku [178]. Na różnice te mogą mieć wpływ temperatura oraz wiatr, wskutek oddziaływania, którego wytwarzane jest podciśnienie lub nadciśnienie w strefach powłoki zewnętrznej obiektu [179]. Wentylacja naturalna stanowiąca system stałej wentylacji powinna zapewnić wymaganą intensywność wymiany powietrza niezależnie od warunków zewnętrznych, umożliwić regulację przepływu powietrza oraz uniemożliwić wsteczny przepływ powietrza w kanałach wentylacji grawitacyjnej [180]. Wentylacja naturalna oparta jest na zjawiskach fizycznych w dużym stopniu zależnych od warunków atmosferycznych. Może przybierać formę infiltracji, przewietrzania, aeracji i wentylacji grawitacyjnej. Osobnym zagadnieniem związanym z przepływem powietrza w budynku jest pasywne chłodzenie.

Infiltracja jest samoczynną wymianą powietrza przez powłokę zewnętrzną budynku, która zachodzi poprzez przenikanie powietrza przez materiały o różnym stopniu porowatości (RYSUNEK 1.6.2, rys. 1.). Wymiana zachodzi, ze względu na rozkład ciśnień, z zewnątrz do wewnątrz. Gdy wymiana ta zachodzi w przeciwnym kierunku, nazywana jest eksfiltracją. Proces ten w zakresie przenikania przez przegrody ma mały udział w całościowej wymianie powietrza w budynku, wpływa jednak na zawartość wilgoci w przegrodach budowlanych. Stanowiąc jednak niekontrolowane przenikanie powietrza przez wadliwie wykonaną powłokę zewnętrzną, w której znajdują się nieszczelności wynikające głównie z błędnie wykonanych połączeń materiałów, jest zjawiskiem niekorzystnym. Wiele z państw europejskich zawarło w przepisach wymagania dotyczące szczelności powietrznej budynków. W większości przypadków nie ma jednak obowiązku badań w tym zakresie po wykonaniu budynku, więc są to przepisy nieweryfikowalne. Infiltracja jest zjawiskiem niepożądanym w zakresie niekontrolowanego przenikania mas powietrza

¹⁷⁶ GACZOŁ T.: *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego: praca doktorska*. 2002.

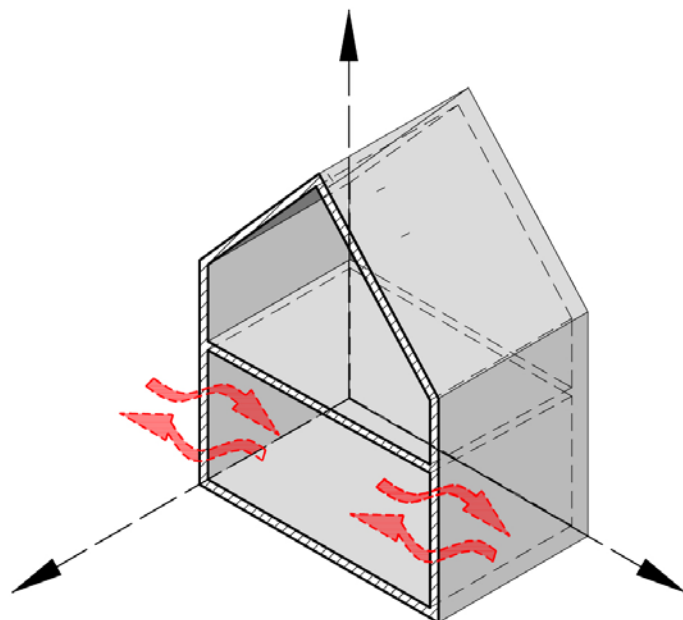
¹⁷⁷ GACZOŁ T.: *Wentylacja grawitacyjna w budynkach mieszkalnych – wybrane zagadnienia*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 81-88.

¹⁷⁸ PEŁECH A.: *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, OW Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 2013.

¹⁷⁹ NANTKA M.B.: *Wentylacja z elementami klimatyzacji*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015.

¹⁸⁰ PEŁECH A.: *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, OW Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 2013.

przez obudowę budynku i w skrajnych wypadkach może prowadzić do znacznych strat energii [¹⁸¹]. W przypadku wentylacji naturalnej mianem tym określa się również wnikanie do budynku świeżego powietrza przez specjalnie zaprojektowane w tym celu otwory, tak zwane nawiewniki. Strumień doprowadzanego w ten sposób powietrza może być sterowany automatycznie – w zależności od wilgotności powietrza – lub poprzez ręczne zmniejszenie przepustowości otworu.



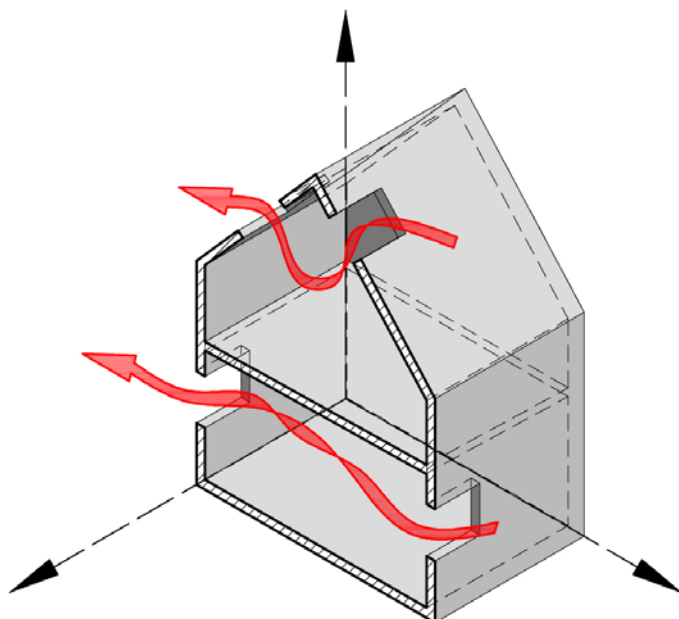
RYSUNEK 1.6.2, rys. 1. Infiltracja przez przegrody pełne budynku – przekrój 3D.

Opracowanie własne.

Przewietrzanie jest wymianą powietrza poprzez okresowe otwieranie okien i drzwi (RYSUNEK 1.6.2, rys. 2.). Przy braku różnicy ciśnień spowodowanych naporem wiatru ciepłe powietrze będzie uchodziło wyżej usytuowanymi otworami, zimne będzie napływało w strefach niższych. Przewietrzanie może być wywołane również różnicą ciśnień wytworzoną przez wiatr w okolicy otworów okiennych. Wentylacja taka może prowadzić do przeciągów, co nie jest korzystne dla użytkowników, w szczególności w okresie zimowym. Latem nocne przewietrzanie może skutecznie prowadzić do obniżenia temperatury w budynku poprzez usunięcie nadwyżek ciepła. Na poprawne przewietrzanie może wpływać zarówno rozmieszczenie przegród i otwartych przestrzeni wewnątrz budynku, jak i rozmieszczenie okien w jego zewnętrznej powłoce [¹⁸²].

¹⁸¹ FIRLAĞ S.: *Szczelność powietrzna budynków pasywnych i energooszczędnych – wyniki badań*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, R. 109, z. 2-B: s. 105-113.

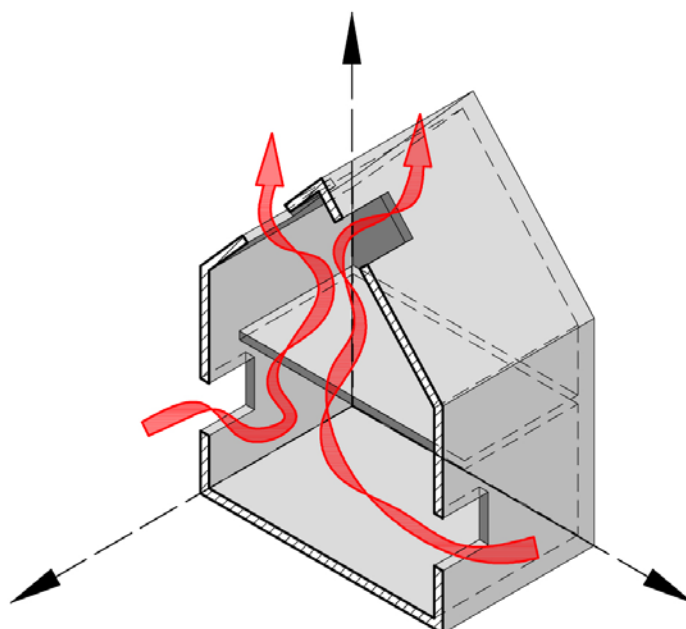
¹⁸² https://www.archdaily.com/887460/cross-ventilation-the-chimney-effect-and-other-concepts-of-natural-ventilation?ad_medium=widget&ad_name=chrome-extension, dostęp 04.07.2018.



RYSUNEK 1.6.2, rys. 2. Schemat wentylacji poprzez przewietrzanie przy okresowo otwieranych drzwiach i oknach – przekrój 3D.

Opracowanie własne.

Aeracja jest zorganizowaną w budynku wymianą powietrza opartą na różnicy ciśnień wynikającej z temperatury lub naporu wiatru (RYSUNEK 1.6.2, rys. 3). Odbywa się poprzez specjalnie do tego zaprojektowane, odpowiednio zlokalizowane otwory. Wylot powietrza w płaszczyźnie dachu lub możliwie wysoko, napływ powietrza przez otwory ułożone możliwie nisko [¹⁸³]. Przelotowość otworów powinna mieć możliwość regulacji przepływu strumienia powietrza. Odpowiednio zaprojektowane otwory w strefie dachu mogą pełnić również funkcję świetlików i stanowić indywidualny detal architektoniczny. Dolne otwory stanowiące element systemu powinny znajdować się od strony północnej lub w strefie zacienionej, co ma istotny wpływ na wydajność systemu oraz temperaturę dostarczanego powietrza.

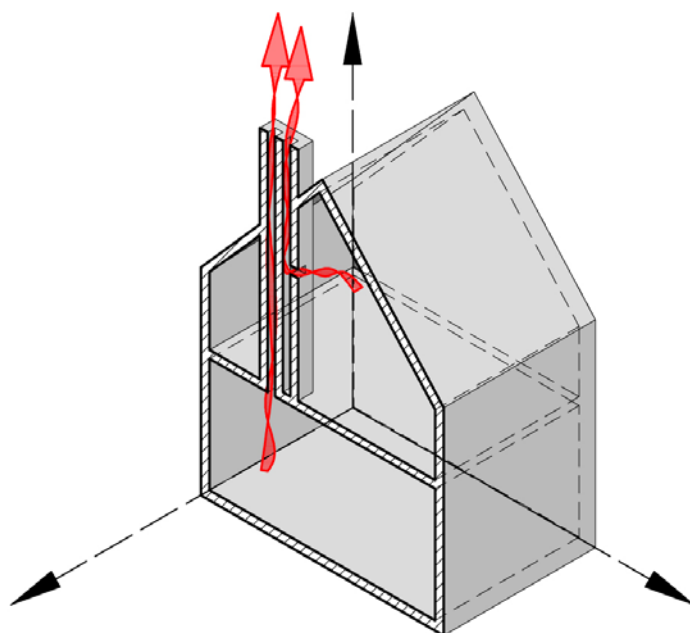


RYSUNEK 1.6.2, rys. 3. Schemat wentylacji poprzez aerację odpowiednio zaprojektowanymi otworami, sposób przepływu powietrza przez wnętrze może być regulowany poprzez stosowanie różnych konfiguracji otwartych otworów – przekrój 3D.

Opracowanie własne.

¹⁸³ DABINIAK G.H.: *Wentylacja*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2017.

Wentylacja grawitacyjna (RYSUNEK 1.6.2, rys. 4) jest oparta na wymianie powietrza poprzez specjalnie zaprojektowane kanały wentylacyjne. Intensywność wymiany powietrza w tym przypadku zależy w dużym stopniu od różnicy temperatur we wnętrzu i na zewnątrz budynku, od długości kanału wentylacyjnego i jego przekroju oraz warunków zewnętrznych, w tym wiatru. Rozwiązanie to dużo skuteczniej działa zimą niż latem [^{184,185}].



RYSUNEK 1.6.2, rys. 4. Schemat wentylacji grawitacyjnej przez kanały wentylacyjne – przekrój 3D.

Opracowanie własne.

Wentylacja grawitacyjna – choć jest rozwiązaniem popularnym – nie jest pozbawiona wad ze względu na dużą zależność od warunków atmosferycznych. Nadmierna wymiana powietrza w budynku prowadzi do zwiększenia strat ciepła. Wraz ze wzrostem izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych oraz wydajności energetycznej budynku udział wentylacji grawitacyjnej w stratach ciepła rośnie [¹⁸⁶]. Kontrolowanie ilości wydalanego z budynku powietrza może istotnie zmniejszyć zapotrzebowanie na energię do ogrzewania [¹⁸⁷]. Na pogorszenie wydajności wentylacji grawitacyjnej wpływają często błędy wykonawcze, takie jak nienormowe usytuowanie kominów względem elementów przesłaniających czy znaczny opór przepływu powietrza spowodowany nierównościami w przewodzie wentylacyjnym [¹⁸⁸].

Często na niepoprawne działanie wentylacji wpływa niepoprawne użytkowanie. Podpinanie pod jedyny kanał w pomieszczeniu włączanych okresowo okapu czy wentylatora znacząco obniża drożność przewodu wentylacyjnego poza okresem użytkowania tych urządzeń. Problemem jest również brak zapewnienia odpowiedniego napływu powietrza na etapie projektu, ograniczenie

¹⁸⁴ FERENCOWICZ J.: *Wentylacja i klimatyzacja*, Arkady, Warszawa, 1964.

¹⁸⁵ GACZOŁ T.: *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego*: praca doktorska., Kraków 2002.

¹⁸⁶ SZCZEPANIAK P., WESOŁOWSKA M.: *Wentylacja grawitacyjna budynku jako element jego charakterystyki energetycznej*. „Izolacje”, 2009, R. 14, nr 10(140): s. 32-35.

¹⁸⁷ KASPERKIEWICZ K.: *Wybrane zagadnienia oceny i projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych*. Prace Instytutu Techniki Budowlanej, 2005, 34.2: 23-37.

¹⁸⁸ NOWAKOWSKI E.: *Kominy wentylacyjne w budownictwie*, BIT 2000, 5.

napływu powietrza przez użytkowników oraz zaniedbanie czystości kratki wentylacyjnych z siatkami [^{189,190}].

Napływ powietrza dla wentylacji grawitacyjnej realizowany jest aktualnie głównie przez nawiewniki, często higrosterowalne, zapewniające samoregulację strumienia powietrza w zależności od wilgotności powietrza [¹⁹¹]. Ze względu na odczuwalny napływ chłodniejszego powietrza w okresie zimowym nawiewniki często jednak są zamykane przez użytkowników, co prowadzi do zamknięcia dopływu świeżego powietrza do wnętrza.

1.6.3 KOMINY SŁONECZNE

Jednym ze skutecznych pasywnych sposobów intensyfikacji przepływu powietrza w naturalnych systemach wentylacyjnych jest stosowanie kominów słonecznych. Jest to rozwiązanie, które ponownie we współczesnej architekturze pojawiło się stosunkowo niedawno [¹⁹²]. Wywodzi się jednak z rozwiązań stosowanych tradycyjnie w regionach gorących i suchych [¹⁹³]. Dzięki specjalnie ukształtowanym kominom lub nadbudowom, przez które powietrze opuszcza budynek, można podnieść wydajność układu wentylacji naturalnej [¹⁹⁴]. Powietrze jest w nich nagrzewane za pomocą promieniowania słonecznego, co zwiększa efekt stratyfikacji powietrza w układzie. W ten sposób wytwarza się różnica ciśnień podnosząca prędkość przepływu powietrza. Zwiększa się tak zwany efekt kominowy, dzięki efektowi szklarniowemu [¹⁹⁵] (RYSUNEK 1.6.3, rys. 1). Na miejsce usuwanego z budynku powietrza zasysane jest nowe, chłodniejsze, np. przez nawiewniki okienne lub inne rozwiązania techniczne skojarzone z systemem wentylacji.

Kominy solarne to typ kolektora, często stanowiący końcówkę układu wentylacyjnego. Do rozwiązań tego typu zalicza się również ściany kolektorowe w przypadku, gdy są dostosowane do wymiany powietrza w pomieszczeniach. Przez przezroczystą część obudowy komina, skierowaną w kierunku południowym, przenika promieniowanie słoneczne nakierowane na absorber umieszczony naprzeciwko. Jest to przeważnie powierzchnia w czarnym kolorze lub z powłoką selektywną pozwalającą pozyskać jak największą ilość energii cieplnej. Jako powłokę przezierną dobiera się materiał o wysokim stopniu transmisyjności promieniowania z zakresu $\lambda < 3 \mu\text{m}$. Jest to zakres fal emitowany przez światło dzienne. Absorber doskonale pochłania fale tej gęstości i emituje fale z maksymalną gęstością monochromatyczną $\lambda < 7-9 \mu\text{m}$ [¹⁹⁶]. Takie dobranie parametrów powoduje, że energia cieplna zostaje w dużym stopniu zachowana w kolektorze. Oddana do powietrza, zwiększa jego temperaturę. Obudowa komina przeważnie jest zaizolowana termicznie, zapobiegając przed utratą ciepła przez przegrody nieprzezierne. Natomiast konstrukcja wykonana z materiałów o dużej pojemności cieplnej pozwala na przedłużenie działania

¹⁸⁹ NOWAKOWSKI E.: *Kaprysy działania wentylacji naturalnej pomieszczeń*. „Rynek Instalacyjny”, 2012, nr 6: s. 77-79.

¹⁹⁰ FIRLAĞ S., MISZCZUK A.: *Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia*. „Rynek Instalacyjny”, 2016, nr 6: s. 68-72.

¹⁹¹ Oprac. red.: *Co warto wiedzieć o wentylacji higrosterowalnej*, „Rynek Instalacyjny”, 2012, 5, s. 74.

¹⁹² ZIELONKO-JUNG K., MARCHWIŃSKI J.: *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2012.

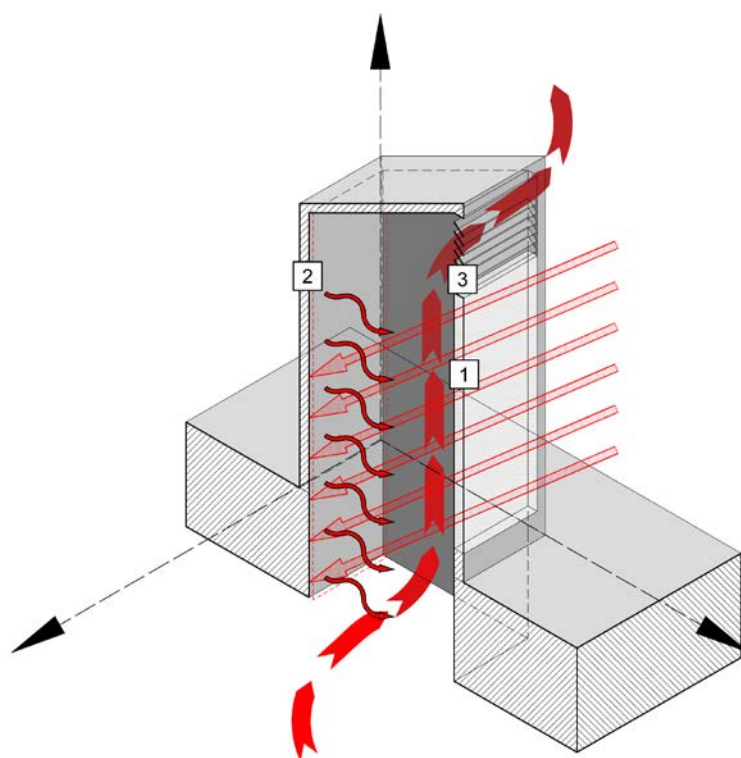
¹⁹³ GACZOŁ T.: *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego: praca doktorska*. 2002.

¹⁹⁴ GACZOŁ T.: *Kominy słoneczne – wybrane przykłady*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2010, R. 107, z. 8-A: s. 129-136.

¹⁹⁵ NAKIELSKA M., PAWŁOWSKI K.: *Komin słoneczny jako przykład pasywnego systemu chłodzenia budynku*. „Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, 2016, v. 7, nr 3: s. 149-152.

¹⁹⁶ PLUTA Z.: *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013.

na godziny nocne [197]. Procesy, które zachodzą w kominach słonecznych stosowanych w budownictwie, są w dużym stopniu zbliżone do tych w kolektorach powietrznych.



RYSUNEK 1.6.3, rys. 1. Schemat komina słonecznego – przekrój 3D: 1 – Obudowa przezroczysta kolektora, 2 – Absorber na tylnej ścianie komina słonecznego, 3 – Kratka wywiewna zabezpieczająca przed opadami atmosferycznymi.

Opracowanie własne.

Komin słoneczny może stanowić rozbudowaną formę tradycyjnego komina wyprowadzonego ponad połacie dachu, ale również ściany kolektorowej, często wyniesionej ponad poziom dachu lub stanowiącej część dobudowaną do budynku. W tej roli w wyższych budynkach sprawdzają się też specjalnie zaprojektowane atria czy otwarte przestrzenie biegnące przez wszystkie kondygnacje, tzw. studnie [198]. Ciekawym rozwiązaniem jest również integracja z połacią dachu, pozwalająca na zachowanie niezakłóconej płaszczyzny połaci. Komin słoneczny przyjmuje w takim przypadku formę płaskiego, płytowego kolektora zintegrowanego z połacią dachu. W układzie takim pojawiają się rozwiązania z dwiema przestrzeniami między zewnętrzną powłoką przezierną a absorberem. Rozwiązanie takie zwiększa wydajność pozyskiwania energii cieplnej przy mniejszej powierzchni kolektora. Wiąże się jednak ze zwiększeniem oporów przepływu czynnika, którym jest powietrze. Zwiększenie wydajności wentylacji naturalnej przez zastosowanie komina słonecznego lub powietrznego kolektora pozwala na zastosowanie odzysku ciepła w regeneracyjnym wymienniku ciepła [199] lub zastosowanie w pasywnym systemie wentylacji gruntowego wymiennika ciepła.

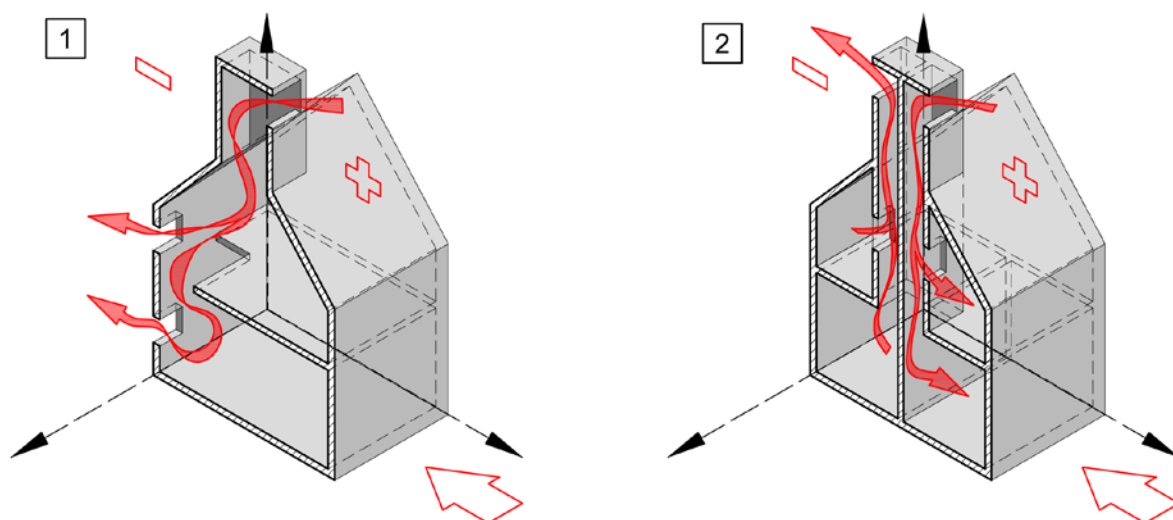
¹⁹⁷ NAKIELSKA M.: *Komin słoneczny – studium przypadku*. „Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska/Uniwersytet Zielonogórski”, 2015, nr 160(40): s. 88-95.

¹⁹⁸ GACZOŁ T.: *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego: praca doktorska*. 2002.

¹⁹⁹ LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku, zastosowanie izolacji transparentnych (cz. 2)*. „Rynek Instalacyjny”, 2011, nr 1-2: s. 34-36.

1.6.4 WIEŻA WIATROWA

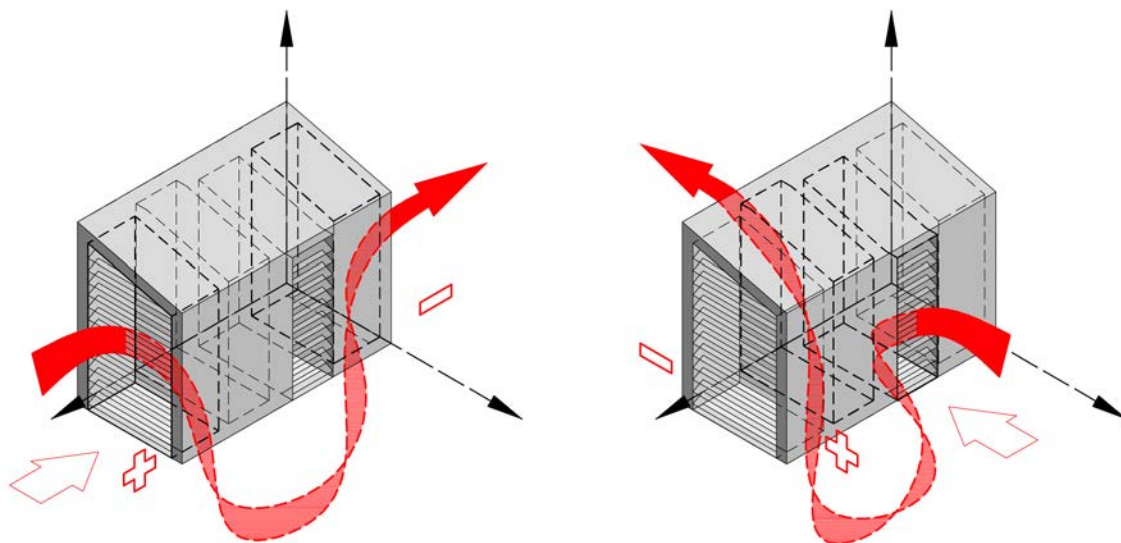
Wieże wiatrowe są rozwiązaniem występującym już w budownictwie antycznym. Historyczne formy tego rozwiązania występują na terenie Środkowego Wschodu, w Azji. Specjalnie zaprojektowany pionowy kanał przybierający często formę wieży ma otwór wlotowy ukierunkowany w stronę najczęściej występujących wiatrów w danym rejonie (RYSUNEK 1.6.4, rys. 1). W ten sposób napór powietrza na otwór wlotowy powoduje wtłoczenie powietrza do kanału wentylacyjnego. Odprowadzenie powietrza następuje przez kanały wentylacji grawitacyjnej lub inne otwory stanowiące część układu wentylacji. Często są to rozwiązania wyraźnie widoczne w bryle budynku.



RYSUNEK 1.6.4, rys. 1. Schematy łapacza wiatru – wieży wiatrowej: **1.** – Nadbudowa tylko z wlotem powietrza ukierunkowanym na najczęściej wiejące wiatry, **2.** – Nasada z wlotem i wylotem powietrza oraz kanałami rozprowadzającymi powietrze we wnętrzu. Wiejący wiatr wytwarza nadciśnienie (oznaczone na rysunku jako „+”) i podciśnienie (oznaczone na rysunku jako „-”) powodujące wtłoczenie powietrza kanałem od strony nawietrznej i usuwanie powietrza z wnętrza kanałem od strony zawietrznej.

Współcześnie są to rozwiązania bardziej zaawansowane stanowiące układ kanałów wywiewnych i nawiewnych sprzężonych z odpowiednią nasadą dachową, w której zintegrowana została czerpnia i wyrzutnia powietrza (RYSUNEK 1.6.4, rys. 2). Nасада o stałym ukierunkowaniu czerpni i wyrzutni powinna być zlokalizowana z uwzględnieniem najczęściej występujących kierunków wiatru. Czerpnia powinna zostać usytuowana prostopadle do kierunku tych najczęściej występujących. Możliwe jest również stosowanie nasad umożliwiających jednoczesny obrót czerpni i wyrzutni dostosowujących się do kierunku przepływu powietrza [200]. Oba rozwiązania korzystają z powstającego nadciśnienia od strony nawietrznej i podciśnienia powstałego po stronie zawietrznej nasady. Pozwala to jednocześnie zarówno na wtłaczanie, jak i na wyciąganie z wnętrza powietrza dzięki energii wiatru.

²⁰⁰ GUZOWSKI M.: *Towards zero-energy architecture: new solar design*. Laurence King, London, 2010.



RYСУNEK 1.6.4, rys. 2. Schemat działania łapacza wiatru o stałym ustawieniu względem stron świata. Przepływ powietrza przez nasadę w dwóch kierunkach.

Nadbudowa ma cztery niezależne kanały z usytuowanymi wlotami z różnych stron. Wiejący wiatr wytwarza nadciśnienie (oznaczone na rysunku jako „+”) i podciśnienie (oznaczone na rysunku jako „-”) powodujące wtłoczenie powietrza kanałem od strony nawietrznej i usuwanie powietrza z wnętrza kanałem od strony zawietrznej.

Opracowanie własne.

1.6.5 PASYWNE CHŁODZENIE

Chłodzenie budynku konwencjonalnymi metodami stanowi duży udział w konsumpcji energii przez budynek, który tego wymaga. W zależności od przypadku może stanowić znaczny udział w zużywanej energii [201]. Dla budynków zagrożonych obecnie przegrzewaniem i tych zaprojektowanych na granicy komfortu wraz z postępującymi zmianami klimatycznymi może nastąpić wzrost temperatury wewnętrznej, a co za tym idzie – zapotrzebowania na energię do chłodzenia [202]. Zapewnienie komfortu cieplnego w okresie letnim odbywa się głównie poprzez odpowiednie zabezpieczanie przed nadmiernym przegrzaniem w wyniku zysków słonecznych. Istnieje również baza dostępnych rozwiązań służących do pasywnego chłodzenia poprzez usuwanie nadmiaru ciepła z budynku i dostarczanie schłodzonego powietrza do wnętrza.

W podrozdziale przedstawione są zagadnienia związane z chłodzeniem budynku opartym na wykorzystywaniu wentylacji do odprowadzenia ciepła lub dostarczania chłodu. Szczególną uwagę zwrócono na systemy oparte na odparowywaniu wilgoci z powietrza. Dodatkowo przybliżone zostało zagadnienie instalacyjne wymienników gruntowych jako instalacji o potencjale zastosowania w sposób pasywny. Opisana została także metoda działania wymienników bezprzeponowych żwirowych i płytowych oraz przeponowych rurowych. Wymienniki gruntowe mają niski potencjał wpływu na formę architektoniczną. Zasada ich działania może zostać jednak

²⁰¹ LAL S., KAUSHIK S.C., BHARGAV P.K.: *Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning*. „International Journal of Development and Sustainability”, 2013, 2.1: s. 277-279.

²⁰² BZOWSKA D.: *Wpływ zmian klimatycznych na temperaturę wewnętrzną budynku*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, z. 2-B, nr 109: s. 37-44.

zreinterpretowana i wykorzystana w innej formie o widocznych konsekwencjach architektonicznych.

Znaczna część strategii pasywnego chłodzenia opiera się na sprzężeniu ze sobą kilku naturalnych procesów zachodzących w budynku. Obniżanie temperatury we wnętrzu bazuje głównie na usunięciu nadmiaru zakumulowanego we wnętrzu ciepła lub dostarczeniu schłodzonego wstępnie powietrza do budynku. Operowanie powietrzem jako nośnikiem energii jest najbardziej odczuwalne dla użytkownika i ma duży potencjał w przypadku rozwiązań pasywnego chłodzenia.

Zagadnieniem, które bardzo często opisuje się w układach służących do chłodzenia budynku, jest ciepło właściwe stosowanych materiałów. Wykorzystanie pojemności cieplnej materiałów budowlanych ma znaczenie zarówno w szczegółowym rozwiązaniu instalacji, takich jak kolektory czy kominy słoneczne, ale również jako parametr przegród budowlanych. Zagadnienie to omówione zostało w rozdziale 1.3.3. Pasywne chłodzenie z wykorzystaniem masy termicznej opiera się często na nocnym przewietrzaniu wnętrza w celu usunięcia nadmiaru ciepła zgromadzonego za dnia np. w masywnej konstrukcji budynku. Podejście takie w literaturze odnaleźć można pod hasłami: chłodzenie nocne lub *freecooling*. Efektywność procesu zależy od wielu czynników. Zwielokrotniona wymiana powietrza w okresie obniżonej temperatury środowiska zewnętrznego w sposób znaczący ogranicza ryzyko przegrzewania. Nocne chłodzenie ogranicza liczbę godzin dyskomfortu cieplnego [203]. Dla zachowania odpowiedniego klimatu wnętrza należy jednak kontrolować, by temperatura nie spadła do zbyt niskiego poziomu. W zależności od warunków zewnętrznych występuje możliwość obniżenia temperatury poniżej komfortu termicznego użytkowników. Istotny wpływ poza kontrolowaniem otwierania okien w celu nocnego przewietrzania ma również poprawne zabezpieczanie przed niekontrolowanymi zyskami solarnymi m.in. poprzez stosowanie osłon przeciwsłonecznych [204,205], co opisane zostało w podrozdziale 1.4.3.

Jedną z metod dostarczania do wnętrza schłodzonego powietrza jest obniżenie jego temperatury przez odparowanie. To tak zwane chłodzenie poprzez ewaporację lub chłodzenie wyparne. Pod tymi nazwami w literaturze określane są metody chłodzenia poprzez wykorzystanie ciepła jawnego powietrza do odparowania wody. Przepływający strumień powietrza w pobliżu płynu oddaje energię potrzebną do jego zmiany stanu skupienia i odparowania. Ciepło jawne powietrza zamieniane jest na ciepło utajone odparowanej wody. Chłodzenie wyparne powoduje podwyższenie wilgotności powietrza, zaleca się, by było stosowane przy napływającym suchym powietrzu [206]. Wydajność procesu wzrasta wraz ze wzrostem powierzchni, na której odbywa się kontakt czynników. Zależy również od wilgotności powietrza wprowadzanego do układu. Mechanizm ten ma charakter bezpośredni wynikający z braku oddzielenia czynników. Skutkiem takiego rozwiązania jest wzrost wilgotności powietrza wprowadzonego do budynku. W klimacie suchym jest to efekt pożądaný, jednak w klimatach wilgotnych może prowadzić do złej jakości klimatu wewnętrznego. Długotrwałe utrzymywanie się wysokiego poziomu wilgoci w pomieszczeniach prowadzi do rozwoju pleśni i drobnoustrojów, co niekorzystnie wpływa na zdrowie i samopoczucie użytkowników. Schładzanie powietrza poprzez odparowanie poza wentylacją naturalną jest jedną z najwcześniejszych metod służących do utrzymania komfortowej

²⁰³ KISILEWICZ T.: *Pasywne możliwości kształtowania komfortu cieplnego w budynkach energooszczędnych*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2014, nr 12(45): s. 463-468.

²⁰⁴ NOWAK-DZIESZKO K., ROJEWSKA-WARCHAŁ M.: Simulation of night cooling in a single dwellings of large-panel building. „Czasopismo Techniczne, Budownictwo”, 2016, z. 1-B, nr 6: 2016: s. 73-78.

²⁰⁵ NOWAK-DZIESZKO K., ROJEWSKA-WARCHAŁ M.: Simulation of night cooling in a single dwellings of large-panel building. „Czasopismo Techniczne, Budownictwo”, 2015, z. 4-B: s. 15-20.

²⁰⁶ GÓRKA A., GÓRZAŃSKI R.: *Bezpośrednie chłodzenie wyparne budynków*. „Rynek Instalacyjny”, 2014, nr 7-8: s. 69-73.

temperatury we wnętrzu budynku. Stosowane było już w budownictwie starożytnego Egiptu i Persji.

Schłodzenie doprowadzanego powietrza z wykorzystaniem odparowania do pomieszczeń odbywa się współcześnie przez system określany w literaturze jako PDEC (ang. *passive downdraft evaporative cooling*). Przeważnie przyjmuje on postać wieży, w której umieszczony został materiał o dużej porowatości zwilżony wodą. Wkładki takie umieszczane są wzdłuż kanału. Powietrze i woda wymieniają energię cieplną, powodując obniżenie temperatury powietrza, które spływa w dół, zgodnie z wytworzonymi ciśnieniami na wlocie do wieży i u jej dołu. Wilgoć do układu może być również wprowadzana bezpośrednio poprzez rozpylenie wody na szczycie wieży. Nadmiar wody spływa swobodnie po ścianach wieży [207]. W obu przypadkach należy przewidzieć możliwość odprowadzenia zbierającej się wody u podstawy wieży. Może zostać ona ponownie wpompowana na szczyt i wprowadzona do układu. Rozwiązania z bezpośrednim kontaktem wody z powietrzem przeznaczone są dla klimatu suchego. W klimacie wilgotnym wodę wprowadza się w węzownikach położonych w kanale, zmniejsza to również ubytek wody z układu. Zwiększenie gęstości węzownic tworzących wymiennik zwiększa skuteczność wymiany energii, powoduje jednak wzrost oporu przepływu powietrza, mogąc doprowadzić do wadliwego działania. Choć woda zamknięta jest w węzownicy, wilgoć może pojawić się w postaci rosy na jej powierzchni w zależności od temperatury powietrza. Należy więc zapewnić odpowiedni system odprowadzania skroplin.

Dużo popularniejszymi systemami dostarczania schłodzonego powietrza są gruntowe wymienniki ciepła (GWC). Powietrze przepływające pod ziemią czerpie z termodynamicznego potencjału gruntu. Do budynku doprowadzane jest przez podziemną instalację, z jednej strony zakończoną wlotem powietrza do pomieszczeń lub układu wentylacji, z drugiej – czerpnią terenową. W wymienniku znajdującym się w gruncie latem następuje schłodzenie, zimą ogrzanie przepływającego powietrza. Przekazanie energii może nastąpić w sposób bezpośredni od gruntu. W wymiennikach bezprzeponowych powietrze przepływa przez złoża i nie jest fizycznie od niego oddzielone. W wymiennikach przeponowych przepływające powietrze nie ma bezpośrednio kontaktu z gruntem. Energia do powietrza przekazywana jest przez materiał oddzielający je od gruntu. Wymienniki gruntowe są rozwiązaniami, dzięki którym pozyskiwanie energii odbywa się w sposób neutralny dla środowiska. Zasoby energii zmagazynowanej w gruncie przy odpowiednim ich pozyskiwaniu są praktycznie niewyczerpalne [208].

Wymienniki bezprzeponowe skonstruowane są głównie z wykorzystaniem złóż zwirowych, przez które przepływa powietrze dostające się do układu wentylacyjnego budynku [209]. Wymiennik osiąga najwyższą skuteczność dla głębokości od 8 m do 10 m, gdzie temperatura stabilizuje się na poziomie 9–11°C. Taka głębokość wymaga jednak wysokich nakładów finansowych związanych z pracami ziemnymi. Podobny efekt uzyskuje się przy izolacji termicznej złoża od góry, umożliwiając lokalizację wymiennika o wiele płycej. Termoizolacja przykrywająca wymiennik projektowana jest zwykle w zakresie szerszym po obwodzie o 1 m. Odpowiednie zabezpieczenie symuluje warunki temperaturowe osiągane na większych głębokościach. Wlot powietrza do układu odbywa się przeważnie czerpnią terenową zabezpieczoną przed opadami atmosferycznymi. W wymienniku bezprzeponowym nadmiar wilgoci absorbowany jest przez żwir, a naturalna flora bakteryjna zapobiega rozwojowi szkodliwych mikroustrojów. Brak odizolowania od otaczającej gleby stwarza jednak zagrożenia związane z dostawianiem się do przepływającego

²⁰⁷ KAMAL M.A.: *An overview of passive cooling techniques in buildings: design concepts and architectural interventions*. „Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture”, 2012, 55.1: s. 84-97.

²⁰⁸ BESLER G.J., BURZYŃSKI Z., MAŁECKI W.: *Efekty pozyskiwania naturalnej energii gruntu. Badania systemów w ogrzewnictwie wentylacji, klimatyzacji i ciepłownictwie*. Wrocław 1986: 205-212.

²⁰⁹ CEPIŃSKI M., BESLER M., BESLER G.J.: *Bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2011, T. 42, nr 3: s. 98-101.

powietrza szkodliwych substancji przenikających przez glebę^[210]. Rozwiązanie takie podatne jest na podnoszący się poziom zwierciadła wód gruntowych i nadmiar wilgoci wynikający z lokalnych warunków. Odpowiednio zaprojektowane wymienniki gruntowe ze złożem żwirowym cechuje stabilna temperatura, uniezależniona od chwilowych warunków pogodowych. Duża bezwładność cieplna powoduje, że reakcja na zmianę temperatury otoczenia widoczna jest dopiero na przestrzeni kilku miesięcy. Przesunięcie ekstremów wykresu temperatur złoża względem temperatury powietrza atmosferycznego w ciągu roku wypada korzystnie dla zapotrzebowania na energię zimą i latem. W okresie letnim przy temperaturze powietrza +24°C, temperatura na wylocie z wymiennika może zostać zredukowana o 8–12°C. W okresie zimowym przy spadku temperatury do –20°C powietrze dostarczane do budynku może osiągać nawet 0°C^[211]. Problematyczne mogą być natomiast okresy przejściowe, w których temperatura złoża jest niższa od powietrza atmosferycznego. W sytuacji, gdy schładzanie powietrza jest niepotrzebne, występują straty energii spowodowane przez wymiennik. W okresie wiosny i lata ze względów energetycznych korzystniejsze jest pominięcie w układzie wentylacji wymiennika na rzecz bezpośredniego doprowadzania powietrza atmosferycznego^[212].

Zaletą i wadą równocześnie w wymienniku ze złożem żwirowym jest jego kształt. Z jednej strony zajmuje stosunkowo niewiele miejsca na działce. Z drugiej strony jego stosunkowo ograniczona powierzchnia styku z gruntem powoduje mało wydajną regenerację. Przepływające powietrze odbiera ze żwiru więcej energii niż otaczający grunt jest w stanie do niego oddać. Wymiennik z jedną sekcją żwiru działa więc cyklicznie. Wymagany jest okres relaksacji źródła. W tym czasie dostarczanie powietrza do systemu wentylacji musi odbywać się inną drogą. Rozwiązaniem pozwalającym na całodobowe działanie wymiennika jest zaprojektowanie dwóch sekcji działających w cyklach 12 godzin pracy i 12 godzin regeneracji^[213,214].

Ciekawym zagadnieniem jest zależność rocznego wykresu temperatury gleby od głębokości. Na poziomie około 5–6 m bezwładność cieplna gruntu zapewnia temperaturę około 11°C w lutym i 9°C w sierpniu. Na głębokości tej ekstremum wykresu temperatury gruntu pokrywa się mniej więcej z minimum wykresu temperatury powietrza. Taki układ temperatur wydaje się być najkorzystniejszy w cyklu rocznym. Ze względu jednak na optymalizację związaną z kosztami robót ziemnych poziom posadowienia wymienników ciepła projektuje się nieznacznie poniżej poziomu przemarzania gruntu. Na głębokości 1,2–1,4 m temperatura waha się od 6°C do 15°C. W cyklu dobowym temperatura gruntu poniżej poziomu przemarzania ma stały poziom.

Kolejnym typem wymiennika bezprzeponowego jest wymiennik płytowy. Technologia wymiennika pozwala na dużo płytsze posadowienie. Na głębokości 0,7 m lokuje się złożo żwirowe, na którym na specjalnych elementach dystansowych układane są modułowe płyty. Powietrze w układzie przepływa między żwirem a płytami, rozwiązanie takie sprawia, że kontakt ze złożem odbywa się na dużo większej płaszczyźnie przy znacznym zmniejszeniu oporów przepływu. Większy kontakt złoża z gruntem pozwala na relaksację, która umożliwia całodobowe wykorzystywanie wymiennika. Płyty wymiennika rozkładane są pomiędzy dwoma kolektorami. Kolektor doprowadzający powietrze rozpoczyna się czerpnią z filtrem, który powinien być

²¹⁰ TOPOLAŃSKA J., KRAWCZYK D.A.: *Gruntowy powietrzny wymiennik ciepła typu żwirowego jako przykład wykorzystania OZE przy budynkach jednorodzinnych – efekty energetyczne i ekonomiczne*. „Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, 2017, v. 8 nr 3: s. 141-147.

²¹¹ JĘDRZEJEWSKI L.: *GWC – tania energia z własnego podwórka. Gruntowne oszczędności*. „Magazyn Instalatora”, 2003, nr 11: s. 50-51.

²¹² TOPOLAŃSKA J.: *Porównanie charakterystyk termicznych gruntowych powietrznych wymienników ciepła typu rurowego i płytowego*. Praca doktorska, Politechnika Białostocka, 2017.

²¹³ BESLER M., SCHWITALLA A., BESLER G.J.: *Intensyfikacja wymiany ciepła i masy w żwirowych wymiennikach*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2011, T. 42, nr 4: s. 132-134.

²¹⁴ NALEPA K., NEUGEBAUER M., SOŁOWIEJ P.: *Koncepcja i budowa gruntowego wymiennika ciepła jako elementu systemu wentylacyjnego budynku mieszkalnego*. „Inżynieria Rolnicza”, 2008, R. 12, nr 2(100): s. 203-208.

wymieniany okresowo. Jest to właściwie jedyny zabieg konserwacyjny systemu. Płytkie posadowienie możliwe jest dzięki izolacji cieplnej symulującej niższe położenie. Dodatkowo układ zabezpieczony jest od góry membraną przeciw wodom opadowym. Płytkie posadowienie i mała wysokość złożeń powodują, że jest to rozwiązanie o wiele mniej wrażliwe na zagrożenia związane z wysokim poziomem wód gruntowych [215].

W wymienniku przeponowym kanał prowadzący powietrze przez grunt umieszczony jest poniżej poziomu przemarzania gruntu na wysokości 1,5–2 m. Rury kolektora układane są w spadku zgodnym z ruchem powietrza umożliwiającym spływ skroplin wytwarzających się przez rośnięcie ścianek. W okresie letnim przy schładzaniu powietrza wykrapla się woda, której stała obecność prowadzi do powstawania pleśni i rozwoju mikroorganizmów. Kondensat usuwany jest z układu w jego najniższym punkcie, zapobiegając tworzeniu się szkodliwych warunków. Prędkość powietrza w instalacji nie powinna być większa niż 3 m/s. Zapobiega to osadzaniu się zanieczyszczeń na ściankach kanału. Dodatkowo na czerpni stosuje się filtry ograniczające dostęp do instalacji. Kanał układany powinien być w taki sposób, żeby zapewnić jak najmniejsze opory powietrza. Zmiana kierunku powinna być więc realizowana kształtkami 45°, stosowanie kształtek 90° powinno być rozważane tylko w wyjątkowych sytuacjach.

Wymiennik przeponowy charakteryzuje się brakiem wrażliwości na poziom wód gruntowych oraz dostawianiem się przez glebę niepożądanych substancji do obiegu wentylacji. Jest to jednak rozwiązanie wymagające znacznie większego terenu pod instalację. Przeciętna instalacja składa się z kanału o długości od 40 m do 60 m. Za wadę uważa się również brak możliwości regulacji wilgotności powietrza, która występuje w rozwiązaniach bezprzeponowych [216].

Ze względu na zwiększone opory dla przepływającego przez instalację powietrza zaleca się stosowanie sprzężenia z rozwiązaniami pełniącymi rolę komina słonecznego, intensyfikującego efekt kominowy. Opory występujące w gruntowym wymienniku ciepła mogą być niemożliwe do pokonania przez standardową wentylację grawitacyjną, w szczególności w rozwiązaniach bezprzeponowych [217].

1.7 PODSUMOWANIE

Istnieje szeroki wachlarz rozwiązań możliwych do zastosowania, w ramach strategii pasywnych, w energooszczędnych budynkach jednorodzinnych. Bogata gama rozwiązań w zakresie układu funkcjonalnego, zachowania energii w budynku, zysków solarnych, oświetlenia i wentylacji pozwalają na dużą różnorodność kształtowania budynku. Stosowanie tego typu rozwiązań może w sposób znaczący wpłynąć na ograniczenie zapotrzebowania na energię przez budynek oraz na komfort w jego wnętrzu.

Rozwiązania pasywne ze względu na swój charakter mogą mieć różne konsekwencje architektoniczne oraz różny potencjał wpływu na formę architektoniczną. Fakt, że przeważnie nie są to rozwiązania systemowe pozwala na dużą dowolność projektową w zakresie ich wyglądu.

Rozwiązania pasywne ściśle powiązane ze strukturą budynku w większości przypadków wymagają podjęcia decyzji o ich zastosowaniu na wczesnym etapie procesu inwestycyjnego,

²¹⁵ TOPOLAŃSKA J., KRAWCZYK D.: *Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła – przegląd stosowanych rozwiązań*. „Rynek Instalacyjny”, 2014, nr 4: s. 78-81.

²¹⁶ TOPOLAŃSKA J., KRAWCZYK D.: *Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła – przegląd stosowanych rozwiązań*. „Rynek Instalacyjny”, 2014, nr 4: s. 78-81.

²¹⁷ PŁUSZKA P.: *Układ pasywnego chłodzenia budynku jednorodzinnego z wykorzystaniem gruntowego wymiennika ciepła i komina solarnego*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2017, T. 48 nr 3: s. 119-125.

w fazie formowania założeń i koncepcji. Wynika to z dużej integracji z formą budynku a co za tym idzie większymi konsekwencjami architektonicznymi.

Zdecydowanie mniejsza grupa to rozwiązania stanowiące instalacje lub ich część. Mają one przeważnie niski stopień powiązania ze strukturą domu oraz znikomy potencjał w kształtowaniu formy architektonicznej w ujęciu holistycznym. Wynika to często z lokalizacji w budynku lub sposobie montażu powodującym, że są one niewidoczne. Część rozwiązań pasywnych stanowiących elementy systemu wentylacji w budynku ma natomiast bardzo duży potencjał w możliwości opracowania indywidualnego detalu mogącego stanowić ważny akcent na obudowie budynku.

ROZDZIAŁ II – ANALIZA DOMÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH

2.1 WPROWADZENIE

Jak wykazały studia materiałów źródłowych, istnieją tysiące budynków określanych jako energooszczędne, które wykorzystują rozwiązania pasywne w klimacie umiarkowanym. Przeanalizowane przykłady to zaledwie mały wycinek z całości, stanowiący grupę reprezentacyjną. Dobór obiektów nastąpił głównie na podstawie dostępności materiałów oraz ich jakości merytorycznej. Pominięto domy, na których temat udostępniono niewiele materiałów wizualnych lub te, które były mało przekonujące z punktu widzenia faktycznej wydajności energetycznej. Wstępne wyszukiwanie przykładów nastąpiło głównie poprzez wyszukiwanie słów kluczowych na profesjonalnych stronach poświęconych architekturze współczesnej, takich jak archdaily.com, divisare.com, dezeen.com, oraz ich późniejszą weryfikację. Dane z wyżej wymienionych stron uzupełnione zostały o treści publikowane w witrynach internetowych projektantów. Część przykładów pochodzi ze źródeł książkowych lub mniej popularnych stron internetowych.

Przeanalizowane zostały 124 budynki z różnych państw znajdujących się w klimacie umiarkowanym ciepłym. Omawiane domy znajdują się na terenie dziewiętnastu państw, na czterech kontynentach. Dla państw takich jak Japonia, Kanada, Norwegia, Nowa Zelandia, Szwecja i Stany Zjednoczone, ze względu na ich lokalizację w kilku strefach klimatycznych, wyeliminowano budynki spoza obszaru badań.

Wszystkie przykłady zostały przanalizowane pod względem zagadnień takich jak:

- układ funkcjonalny,
- zachowanie energii,
 - stopień zwartości bryły
 - stopień kontaktu z gruntem
 - masa termiczna
 - ograniczenie okien od strony północnej
- zyski solarne,
 - zyski bezpośrednie
 - zyski pośrednie
 - osłony przeciwsłoneczne
- oświetlenie,
- wentylacja.

Zagadnienia te opisane zostały szczegółowo w Rozdziale I. Przykłady nie zostały poddane analizie przez pryzmat wszystkich wcześniej opisanych zagadnień ze względu na ich potencjalny brak wpływu na architekturę. Konsekwencje wizualne i ich typologia zawarte są w Rozdziale III.

2.2 WYNIKI ANALIZ

W zakresie zachowania energii 41,93% obiektów charakteryzuje zwarta bryła, kolejne 8,06% to budynki o zwartej, lecz wydłużonej bryle. Budynki o bryle wydłużonej znajdują się głównie w zabudowie o małej intensywności, a 14,51% stanowią budynki o wyraźnie rozbudowanej bryle. Są to budynki o bardzo zróżnicowanej powierzchni użytkowej, od 75 m² do 475 m².

Określając stopień kontaktu budynku z gruntem, stwierdzić można, że 9,67% obiektów ma częściowo zagłębioną najniższą kondygnację. Stopień zagłębienia jest różny, ogranicza się przeważnie do obsypania części ścian gruntem lub wkomponowania w istniejący spadek terenu. Całkowicie zagłębione budynki, których większość powierzchni obudowy zewnętrznej ma kontakt z gruntem, to zaledwie 1,61%. Budynków z dachem zielonym ekstensywnym jest 7,26%.

W 45,96% analizowanych budynków znajduje się widoczna masa termiczna stanowiąca głównie widoczne elementy konstrukcyjne i posadzki. Ekspozycja powierzchni akumulacyjnej jest bardzo różna i wielokrotnie stanowi istotny element architektury wnętrza. Posadzki będące masą akumulacyjną, jako najefektywniejsze w pozyskiwaniu energii cieplnej od słońca, znajdują się w 33,06% obiektów. Wykonane są głównie z polerowanego betonu lub lastryka. Rzadziej cała konstrukcja stanowi widoczną masę akumulacyjną.

Prawie połowa z analizowanych budynków ma znacznie mniej okien od strony północnej niż na pozostałych elewacjach, przy czym 37,9% posiada niewielkie, często pojedyncze okna, mające nieznaczny udział w elewacji. Natomiast 11,29% obiektów nie ma wcale okien od strony północnej. Wśród nich znajdują się obiekty w zabudowie bliźniaczej i podziemne, gdzie wynika to częściowo z typu zabudowy. Jedynie 3,23% budynków bez okien skierowanych na północ ma główną, najbardziej przeszkloną elewację skierowaną na południe, 6,45% to budynki zorientowane na osi północ-południe, gdzie pozbawiona okien północna elewacja jest stosunkowo krótka.

Część obiektów reprezentuje skrajnie odmienne podejście, w którym okna od północy nie są traktowane jako zagrożenie dla bilansu energetycznego budynku. Wśród analizowanych przykładów 8,06% ma obszerne okna od strony północnej, często dorównujące powierzchnią szkleniu od strony południowej. Budynki, w których znacznej wielkości szklenia znajdują się na elewacji północnej i południowej, stanowią 5,64% i zlokalizowane są na działkach o wysokich walorach krajobrazowych.

Wszystkie z analizowanych przykładów mają przegrody przeziernie umożliwiające pasywne zyski solarne bezpośrednio do wnętrza budynku. Część obiektów została zaprojektowana tak, by znaczący udział w zyskach stanowiła energia pozyskana przez struktury buforowe, które są dominującym rozwiązaniem. W 83,87% obiektów dominuje jednak nastawienie na zyski bezpośrednie. Znacznej wielkości przeszklenia zlokalizowane od południa lub północy w przypadku półkuli południowej posiada 59,67% budynków, 14,51% ma dominującą liczbę okien na elewacjach wschodniej, zachodniej lub obu. Równomiernie rozmieszczone okna, w tym na elewacji północnej, ma 9,69% budynków. Ponadto 12,1% to budynki o widocznie ograniczonej liczbie przegród przeziernych od strony południowej lub całkowicie ich pozbawione oraz o niewielkiej liczbie okien z pozostałych stron.

Analizowane przykłady nie mają przeważnie przestrzeni buforowych do pośredniego pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego. Zaledwie 5,64% obiektów posiada struktury pozwalające na pośrednie zyski solarne. Tylko 1,61% to obiekty z kolektorem w postaci dobudowanej szklarni, 0,81% ma klatkę schodową z fasadą szklaną na wszystkie kondygnacje, zaprojektowaną od południa i pełniącą rolę kolektora słonecznego. W przypadku 1,61% przestrzeni buforowej to komunikacja wewnętrzna zlokalizowana między zewnętrzną południową szklaną fasadą a sypialniami. Przykłady te reprezentują grupę obiektów, gdzie udział struktury buforowej w zyskach słonecznych nie jest dominujący. Pozostałe przykłady z przestrzenią

buforową to obiekty zamknięte w zewnętrznej, transparentnej skórce i stanowią 1,61%. Różnią się one wykorzystaniem powierzchni wewnętrznej oraz rozwiązaniami technicznymi, łączy je jednak całkowita przezierność zewnętrznej powłoki. Wszystkie z analizowanych przykładów dostosowanych do pozyskiwania pasywnie energii słonecznej w sposób pośredni mają również okna pozwalające na zyski bezpośrednie.

W analizowanych przykładach 75% posiada różnego typu osłony przeciwsłoneczne. W 18,55% przypadków są to jednak rozwiązania potencjalnie nieskuteczne lub zastosowane niekonsekwentnie, np. tylko w strefie dziennej. Część obiektów, 34,67%, ma stałe elementy pionowe, a 55,64% – stałe elementy poziome. Stałe elementy stanowią w większości obudowę tarasu i jego zadaszenie. Znacznie wysunięta kondygnacja wyższa osłania przeważnie tylko większe okna zlokalizowane w strefie dziennej, stanowi jednocześnie zadaszenie tarasu. Takie rozwiązanie znajduje się w 5,65% obiektów. Osłony ruchome różnego typu ma 32,25% obiektów. Najbardziej elastyczne rozwiązanie w postaci zewnętrznych regulowanych żaluzji znajduje się w 13,71% analizowanych obiektów. Wszystkie znajdują się w Europie. Przykłady spoza Starego Kontynentu wyposażone są jedynie w stałe osłony przeciwsłoneczne.

Wśród badanych obiektów 38,71% ma cechy i rozwiązania pozwalające na skuteczniejsze niż przeciętnie działanie wentylacji naturalnej. Jest to głównie odpowiednie kształtowanie rzutu i przekroju budynku pozwalające na łatwiejszy przepływ powietrza przez wnętrze. Są to przykłady domów o wyróżniających się, otwartych układach funkcjonalnych lub zaprojektowanych wysokich przestrzeniach biegnących przez wszystkie kondygnacje, które w połączeniu z odpowiednio rozmieszczonymi oknami pozwalają na łatwiejszą wymianę powietrza w budynku. Zaledwie 1,61% budynków ma wskazane przez projektantów rozwiązania oparte na działaniu komina słonecznego lub łapacza wiatru. Pozostałe budynki (62,29%) nie wykazują cech mogących wpływać znacząco na poprawę przepływu powietrza przez budynek. Niewielka liczba obiektów ma również układy znacznie ograniczające przepływ powietrza przez wnętrze oparte na zamkniętych korytarzach i jednostronnie rozmieszczonych oknach.

Aspekty takie jak intensywna wymiana powietrza z udziałem wentylacji naturalnej i masy termicznej, kontakt obudowy budynku z gruntem oraz ochrona przed działaniem promieniowania słonecznego za pomocą osłon przeciwsłonecznych czy odpowiedniego kształtowania obudowy, w tym stosowanie zielonych dachów, występują w ponad 90% analizowanych budynków. Jest to jednak bardzo często tylko jedna ze wskazanych cech. Zaledwie 37,1% obiektów posiada zestaw rozwiązań pozwalający na wysoką skuteczność ochrony przed przegrzewaniem. W obiektach tych zapewniono przede wszystkim możliwość nocnego chłodzenia z wykorzystaniem masy termicznej oraz odpowiednią ochronę budynku przed insolacją.

Wśród badanych przykładów 9,67% nie wykazuje konsekwencji wizualnych związanych z zastosowaniem rozwiązań pasywnych, co za tym idzie – potencjalnie ich brak. Budynki te pozbawione są cech mogących wpłynąć pozytywnie na lepsze działanie wentylacji naturalnej dzięki odpowiednio zaprojektowanemu układowi funkcjonalnemu, odpowiedniemu rozmieszczeniu okien czy stosowaniu komina słonecznego lub łapacza wiatru. Dodatkowo nie posiadają skutecznych osłon przeciwsłonecznych oraz widocznej masy termicznej. Budynki te mają elewacje otworowe z ewentualnymi większymi przeszkleniami w strefie dziennej. Ich elewacje charakteryzują się raczej równomiernym rozłożeniem powierzchni szkła. Dominuje orientacja południowa, a główne zyski solarne realizowane są przez okna w strefie dziennej. Przykłady te nie wykazują cech charakterystycznych pod względem strefowania cieplnego i świetlnego. W przypadku zastosowania świetlików polepszających częściowo warunki oświetleniowe pozbawione są one osłon, co może mieć znaczący wpływ na przegrzewanie. Mają jednak stosunkowo mało rozbudowaną bryłę, w większości zwartą. Lokalizacja na bardzo różnych typach działek może wskazywać, że brak występowania wskazanych cech nie jest związany z typem działki i intensywnością zabudowy. Część zaklasyfikowanych do tej grupy

obiektów wyposażona jest w pakiet rozwiązań aktywnych w postaci ogniw fotowoltaicznych mogących znacząco ograniczyć zapotrzebowanie budynku na energię z zewnątrz.

Wśród 124 zbadanych obiektów na podstawie opisów ich autorów wyróżnić można 5 grup określających poziom energooszczędności i wpływ na środowisko:

- 44,35% – budynki energooszczędne,
- 16,13% – budynki o prawie zerowej lub zerowej emisji CO₂,
- 8,87% – budynki net-zero,
- 20,97% – budynki pasywne (zgodne z wymaganiami instytutu w Darmstadt) lub zaprojektowane w standardzie budynku pasywnego,
- 9,68% – budynki zeroenergetyczne i samowystarczalne.

Budynki energooszczędne w 36,36% przypadków opisać można jako zwarte bryły, 10,91% jako zwarte, lecz wydłużone, w 14,54% jako bryły znacznie rozbudowane. Wśród domów energooszczędnych 12,72% ma większy niż przeciętnie poziom kontaktu obudowy z gruntem, a 3,64% to budynki podziemne. Zielone dachy ekstensywne występują w 7,27% obiektów. Widoczne elementy akumulacyjne występują w 43,63% przypadków, w 30,91% są to posadzki. Ograniczenie strat ciepła przez okna skierowane na północ poprzez zredukowanie ich powierzchni występuje w 36,36% budynków, w tym w 7,72% przypadków brak okien od północy. Budynki w tej kategorii nastawione są głównie na bezpośrednie zyski solarne, jednak 16,36% z nich posiada elewację południową o znacznie ograniczonym udziale okien względem innych stron świata. W budynkach energooszczędnych w 10,9% przypadków występują rozwiązania z przestrzenią buforową. Orientacja domów w kierunku południowym, jako najkorzystniejsza ze względu na pozyskiwanie energii słonecznej, ma miejsce w 63,63% przypadków. Stałe i ruchome, skuteczne osłony przeciwsłoneczne ma 52,72% obiektów, a w 25,45% obiektów wykorzystywane są osłony ruchome. Rozwiązania mogące znacząco wpływać na łatwiejszą wymianę powietrza przy udziale wentylacji naturalnej występują w 36,36% przykładów. W 27,27% przykładów istnieje zestaw rozwiązań umożliwiający skuteczne chłodzenie nocne budynku i jego ochronę przed nadmiernym oddziaływaniem energii słonecznej.

Budynki o prawie zerowej lub zerowej emisji CO₂ w 40% przypadków opisać można jako zwarte bryły. W kategorii tej nie występują budynki zwarte, lecz wydłużone. W 15% przypadków to bryły znacznie rozbudowane. Budynki mające większy niż przeciętnie kontakt obudowy z gruntem stanowią 10%. Zielone dachy ekstensywne występują w 5% budynków. Widoczne elementy akumulacyjne istnieją w 50% przypadków, w 25% są to posadzki. Ograniczenie strat ciepła przez okna skierowane na północ poprzez zredukowanie ich powierzchni występuje w 35% budynków. Obiekty w tej kategorii nastawione są głównie na bezpośrednie zyski solarne, jednak 10% z nich posiada elewację południową o znacznie ograniczonym udziale okien względem innych stron świata. W kategorii tej w 5% przypadków występują rozwiązania z przestrzenią buforową. Orientacja w kierunkach południowych, jako najkorzystniejsza ze względu na pozyskiwanie energii słonecznej, zaistniała w 70% przypadków. Stałe i ruchome, skuteczne osłony przeciwsłoneczne ma 55% obiektów, a w 15% wykorzystywane są osłony ruchome. Rozwiązania mogące znacząco wpływać na łatwiejszą wymianę powietrza przy udziale wentylacji naturalnej w budynku dotyczą 40% przykładów. W 25% przykładów istnieje zestaw rozwiązań umożliwiający skuteczne chłodzenie nocne budynku i jego ochronę przed nadmiernym oddziaływaniem energii słonecznej.

Budynki net-zero w 72,73% przypadków opisać można jako zwarte bryły, natomiast 9,09% jako rozbudowane. Domy mające większy niż przeciętnie kontakt obudowy z gruntem stanowią 10%. Zielone dachy ekstensywne ma 9,09% budynków. Widoczne elementy akumulacyjne występują w 63,63% przypadków, w 54,54% są to posadzki. Ograniczenie strat ciepła przez okna

skierowane na północ poprzez zredukowanie ich powierzchni występuje w 81,82% przypadków, w tym w 18,18% brak okien od północy. Również w 18,18% domy w tej kategorii mają ograniczoną powierzchnię przeszkleń od południa. Orientacja budynków w kierunkach południowych, jako najkorzystniejsza ze względu na pozyskiwanie energii słonecznej, występuje w 63,63% przypadków. Stałe i ruchome skuteczne osłony przeciwsłoneczne ma 81,81% obiektów, a w 54,54% wykorzystywane są osłony ruchome. Rozwiązania mogące znacząco wpływać na łatwiejszą wymianę powietrza przy udziale wentylacji naturalnej występują w 72,72% obiektów. Również w 72,72% przykładów istnieje zestaw rozwiązań umożliwiający skuteczne chłodzenie nocne budynku i jego ochronę przed nadmiernym oddziaływaniem energii słonecznej.

Budynki pasywne w 42,36% przypadków opisać można jako zwarte bryły, 3,85% jako zwarte lecz wydłużone, a w 11,53% jako bryły znacznie rozbudowane. Budynki mające większy niż przeciętnie kontakt obudowy z gruntem stanowią 11,53%. Widoczne elementy akumulacyjne występują w 38,46% przypadków, w 26,92% są to posadzki. Ograniczenie strat ciepła przez okna skierowane na północ poprzez zredukowanie ich powierzchni dotyczy 69,23% budynków, w tym w 23,07% nie posiada okien w tym kierunku. W budynkach pasywnych zaledwie jeden dom nie ma okien od strony południowej. Orientacja budynków w kierunkach południowych, jako najkorzystniejsza ze względu na pozyskiwanie energii słonecznej, występuje w 84,61% przypadków. Stałe i ruchome skuteczne osłony przeciwsłoneczne ma 84,61% obiektów, a w 57,69% wykorzystywane są osłony ruchome. Rozwiązania mogące znacząco wpływać na łatwiejszą wymianę powietrza przy udziale wentylacji naturalnej w budynku występują w 30,76% przykładów. Także w 30,76% mamy do czynienia z zestawem rozwiązań umożliwiających skuteczne chłodzenie nocne budynku i jego ochronę przed nadmiernym oddziaływaniem energii słonecznej. Ze względu na wymagany udział wentylacji mechanicznej w budynkach pasywnych warto wskazać, że w przypadku tego typu budynków wysoki udział mają osłony przeciwsłoneczne i masa termiczna.

Budynki zeroenergetyczne i samowystarczalne w 41,67% przypadków opisać można jako zwarte bryły. W kategorii tej budynki o zwartej, lecz wydłużonej bryle stanowią 25%. W 16,67% przypadkach to bryły znacznie rozbudowane. Zielone dachy ekstensywne ma 25% domów. Widoczne elementy akumulacyjne występują w 58,33% przypadków, w 50% są to posadzki. Ograniczenie strat ciepła przez okna skierowane na północ poprzez zredukowanie ich powierzchni występuje w 58,33% przypadków, w tym w 16,67% przypadków brak okien od północy. Nie występują tu obiekty, gdzie ograniczone zostały zyski solarne od południa. Orientacja w kierunkach południowych, jako najkorzystniejsza ze względu na pozyskiwanie energii słonecznej, występuje w 66,66% przypadków. Stałe i ruchome skuteczne osłony przeciwsłoneczne ma 75% obiektów, a w 25% wykorzystywane są osłony ruchome. Rozwiązania mogące znacząco wpływać na łatwiejszą wymianę powietrza przy udziale wentylacji naturalnej w budynku występują w 41,67% domów. W 25% przykładów istnieje zestaw rozwiązań umożliwiający skuteczne chłodzenie nocne i jego ochronę przed nadmiernym oddziaływaniem energii słonecznej.

Dla badanych obiektów określono 4 typy lokalizacji ze względu na cechy działki:

- działka widokowa, przeważnie o znacznej wielkości i istotnych walorach krajobrazowych,
- działka w zabudowie podmiejskiej mało intensywnej,
- działka w zabudowie podmiejskiej intensywnej,
- działka w zabudowie uzupełniającej lub zwartej.

Na działkach widokowych 65,3% budynków ma orientację w kierunkach południowych, 24,49% usytuowanych jest na osi północ-południe, 10,21% to domy zwrócone na północ. Mniejszy udział orientacji w kierunkach południowych może wynikać z kadrowania krajobrazu.

Na działkach o charakterze intensywnej i mało intensywnej zabudowy podmiejskiej zdecydowana większość obiektów zwrócona jest w kierunkach południowych. Stanowią one kolejno 70,96% i 83,33%. Na osi północ-południe zlokalizowanych jest w obu przypadkach mniej niż 10% obiektów. Ze względu na fakt, że działki te mają często ograniczoną powierzchnię, można stwierdzić, że na etapie ich wyboru poświęcono więcej uwagi potencjałowi lokalizacji pod względem energooszczędności. Na działkach o zabudowie zwartej lub uzupełniającej budynki zorientowane w kierunkach południowych stanowią 37,5%. Taki typ zabudowy pozwala na dużo mniejszą elastyczność poprzez znaczne ograniczenia związane z istniejącymi budynkami sąsiednimi. Dobór działki, jak w przypadku tych o potencjale krajobrazowym, jest raczej podyktowany kwestią lokalizacji bliżej centrum miasta, co nie zawsze idzie w parze z możliwością orientacji budynku na wybrane strony świata. Działki o dużej powierzchni z pięknymi widokami mają często znaczną elastyczność w orientowaniu budynku względem stron świata.



RYSUNEK 2.3.1, rys. 1. Widok od strony południowej.



RYSUNEK 2.3.1, rys. 2. Okrągła nadbudowa wystająca ponad parterową bryłę budynku. Trzon zawiera pomieszczenia sanitarne i antresolę przeznaczoną na lokalizację technologii budynku.

2.3 OPISY WYBRANYCH PRZYKŁADÓW

Poniżej przedstawiono jedenaście wybranych realizacji. Są to obiekty promowane w mediach oraz nagradzane w konkursach oraz uznane za modelowe, co stanowiło kryterium wyboru.

Budynki zostały uszeregowane według daty realizacji.

2.3.1 Dom przyszłości (JEMS)

W roku 2000 w ramach konkursu Dom Przyszłości polskie biuro JEMS Architektki zaprojektowało obiekt, który zdobył I nagrodę. Parterowy budynek na planie kwadratu z charakterystycznym trzonem sanitarno-instalacyjnym w kształcie tuby (RYSUNEK 3.2.1, rys. 1–2), cechujący się wyraźnym połączeniem wnętrza z otoczeniem. Budynek doczekał się realizacji w roku 2003 dla prywatnego inwestora zainspirowanego projektem konkursowym. Koncepcja została rozwinięta o część rekreacyjną z przestrzenią fitness, sauną, łazienką i pokojem gościnnym służącym również jako salka kinowa [218]. Z główną strefą budynku łączy ją ogród zimowy i od strony północnej wiata na samochody. Strefa mieszkalna składa się z trzech sypialni, gabinetu, pokoju dziennego, jadalni, kuchni oraz pomieszczeń sanitarnych i technicznych (RYSUNEK 3.2.1, rys. 5). Całość ma 315 m² powierzchni użytkowej [219].

Charakterystyczny układ funkcjonalny zorganizowany jest wokół cylindrycznego trzonu. Na rzucie zmienia się gęstość wypełnienia pomieszczeniami od północy do południa, gdzie przestrzeń otwiera się na pokój dzienny przechodzący w ogród zimowy i taras. Trzon, który zawiera większość pomieszczeń sanitarnych i technicznych, sprawia wrażenie masywnego w otoczeniu lekkiej, przejrzystej przestrzeni [220]. Jego ściany wykonane są z nietynkowanej cegły. Zabieg widoczny jest zarówno na zewnątrz trzonu, jak i w pomieszczeniach wewnątrz niego [221]. W nim znajdują się pomieszczenia o najwyższej temperaturze użytkowej. Na antresoli ponad nimi zlokalizowano urządzenia zapewniające zmniejszenie zużycia energii z konwencjonalnych źródeł. Znajduje się tam pompa ciepła oraz centrala wentylacyjna z odzyskiem ciepła.

Budynek zaprojektowany jest jednak tak, by czerpać jak najwięcej z tradycyjnych rozwiązań. Akumulacja ciepła, w tym w obudowie trzonu, posadzce, stropie z betonu architektonicznego, pozwala na zagospodarowanie nadwyżek ciepła. Dach przykryty jest dodatkowo warstwą ziemi z niską roślinnością. Takie rozwiązanie to dodatkowa ochrona przed przegrzewaniem, ale również zwiększenie powierzchni biologicznie czynnej. W budynku zapewniono też wentylację naturalną wszystkich pomieszczeń [222,223]. Budynek wykonany jest w technologii szkieletowej z elementami stalowymi i żelbetowymi. Wnętrze dzielone jest ściankami niepełniającymi funkcji konstrukcyjnej, co daje dużą elastyczność. Przeszklenia zostały zamontowane w samonośnych ramach drewnianych, które po obwodzie chroni przed promieniami słonecznymi okap w konstrukcji stalowej wypełniony matowym szkłem i elementami drewnianymi. Dodatkowo od zewnątrz zamontowano przesuwne panele z drewnianymi lamelami, które zapewniają mieszkańcom większą prywatność [224] (RYSUNEK 3.2.1, rys. 3–4). Budynek znajduje się w ogrodzie siedliskowym z zachowanym fragmentem lasu.

²¹⁸ <http://ladnydom.pl/budowa/1,106565,4896092.html>, dostęp 08.06.2018.

²¹⁹ <https://www.muratorplus.pl/biznes/wiesci-z-rynku/powsta-pierwszy-dom-przyszlosci-muratora-aa-Av51-Bhmf-ZF25.html>, dostęp 08.06.2018.

²²⁰ <http://jems.pl/nagrody/dom-przyszlosci.html>, dostęp 08.06.2018.

²²¹ MARKOWSKI A.: *Przyszłość jest teraz*, „Ładny Dom”, 2008, nr 3(113): s. 36-43.

²²² <https://www.muratorplus.pl/biznes/wiesci-z-rynku/powsta-pierwszy-dom-przyszlosci-muratora-aa-Av51-Bhmf-ZF25.html>, dostęp 08.06.2018.

²²³ STAISNY G., MIŁOBĘDZKI M.: *Dom przyszłości*. „Architektura. Murator”, 2002, nr 11(98): s. 9-19.

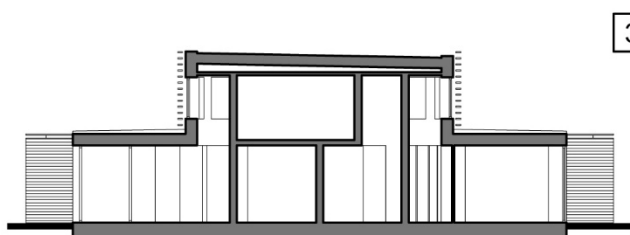
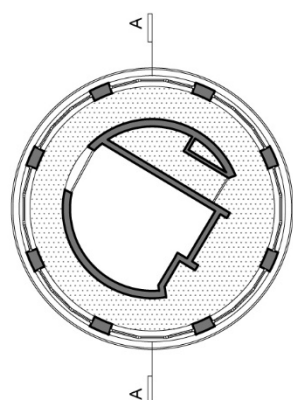
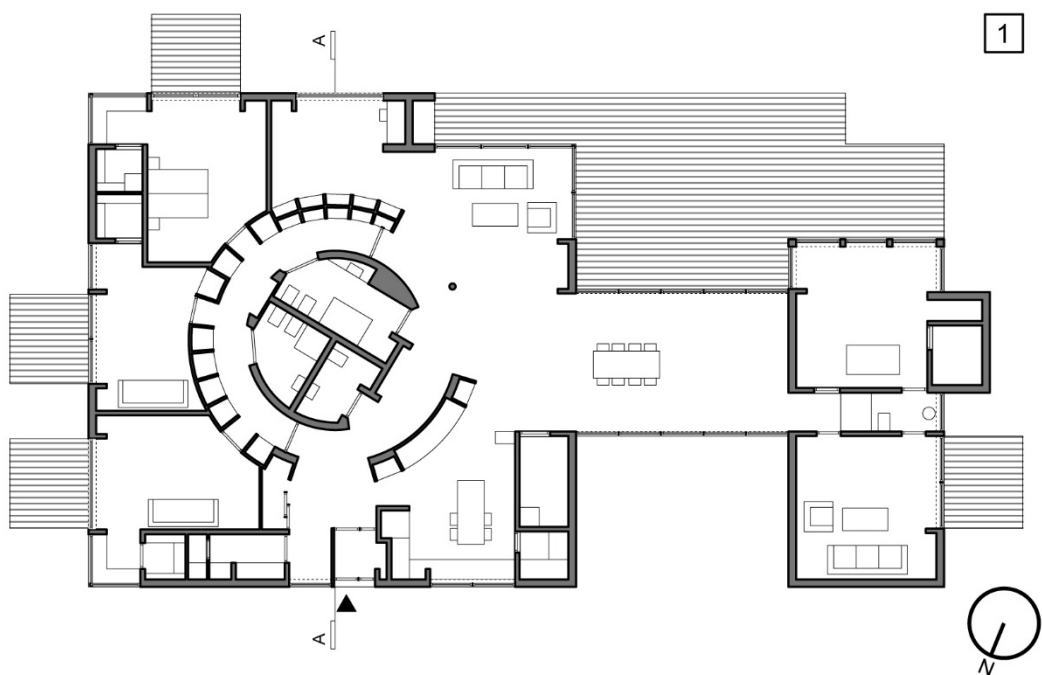
²²⁴ http://kip.waw.pl/projekty/budynki_mieszkalne/DomprzyszlosciWarszawa_M%C5%82.jpg.4.html, dostęp 08.06.2018.



RYSUNEK 2.3.1, rys. 3. Widok na taras przy zachodniej części budynku. Osłony przeciwsłoneczne zintegrowane z budynkiem wzbogacone są o pnącza gubiące liście na zimę.



RYSUNEK 2.3.1, rys. 4. Widok na południowo-wschodni narożnik budynku.



RYSUNEK 2.3.1, rys. 5.

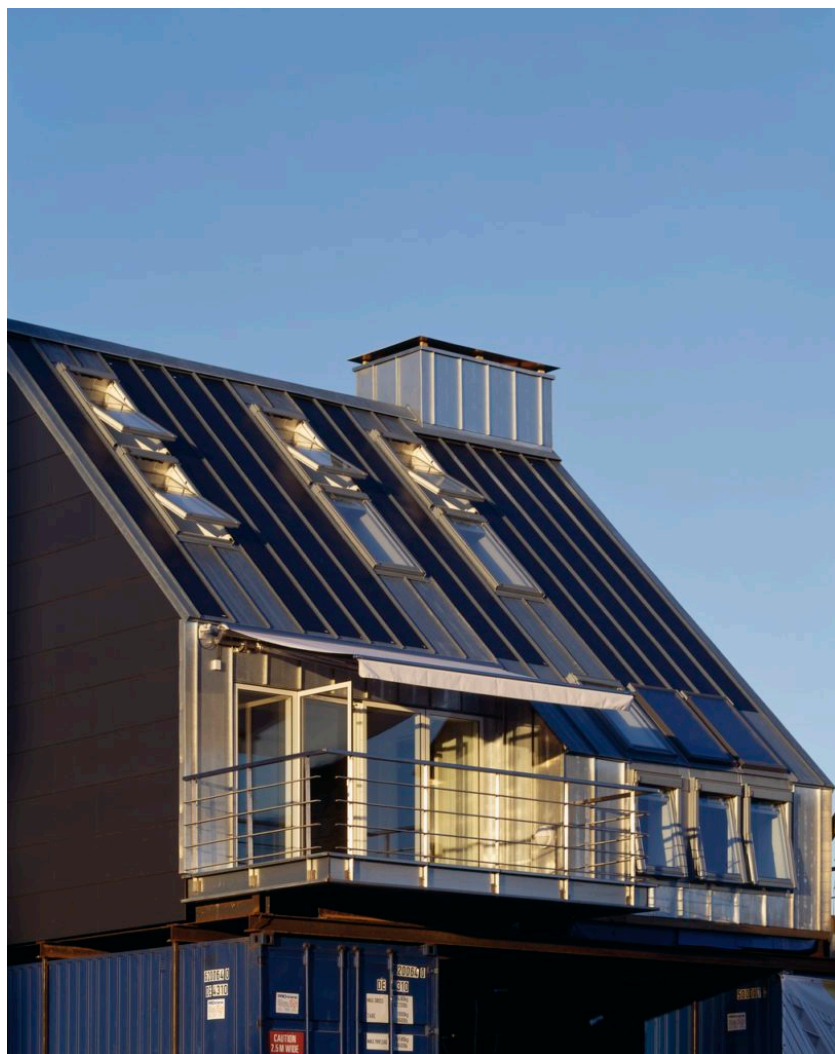
1. – Rzut parteru

2. – Rzut antresoli stanowiącej przestrzeń techniczną nad trzonem ze zgrupowanym pomieszczeniami sanitarnymi.

3. – Przekrój A-A.

Opracowanie własne na podstawie „Architektura. Murator” [²²⁵].

²²⁵ STAISNY G., MIŁOBĘDZKI M.: *Dom przyszłości*. „Architektura. Murator”, 2002, nr 11(98): s. 9-19.



RYSUNEK 2.3.2, rys. 1.
 Zdjęcie segmentu postawionego na kontenerach. Na elewacji południowej okna wyposażone zostały w osłony przeciwsłoneczne, a witryna prowadząca na taras osłonięta została markizą.

Ogniwa fotowoltaiczne zostały dopasowane do szerokości pasów blachy na dachu.



RYSUNEK 2.3.2, rys. 2.
 Budynek podczas montażu.

2.3.2 SOLTAG Energy Housing (Nielsen and Rubow)

SOLTAG (RYSUNEK 2.3.2, rys. 5–6.) to budynek pokazowy wybudowany w Danii w miejscowości Hørsholm w roku 2005. Zaprojektowany przez biuro architektoniczne Nielsen i Rubow jest modelowym budynkiem wykonanym w technologii szkieletowej, który miałby posłużyć do modernizacji istniejących budynków wielorodzinnych z lat 60. i 70. Zaprojektowany został jako budynek blisko zeroenergetyczny i neutralny pod względem emisji CO₂, który w jak najmniejszym stopniu ma korzystać z dostępnej infrastruktury. Zgodnie z ustawodawstwem duńskim osiągnął 1 klasę energetyczną. Zużywa poniżej 50% energii potrzebnej do funkcjonowania standardowego budynku jednorodzinne w tym kraju [226].

SOLTAG składa się z dwóch drewnianych prefabrykowanych modułów, których wielkość dobrana jest tak, by w całości mogły zostać przetransportowane na docelowe miejsce przez samochody ciężarowe i zainstalowane za pomocą dźwigu (RYSUNEK 2.3.2, rys. 2.). Prefabrykacja pozwala na dużą dokładność wykonania i wykorzystanie jednej spójnej technologii redukującej problemy wynikające z łączenia różnych materiałów budowlanych. Jednostka mieszkalna może zostać wykorzystana do modernizacji istniejących budynków i aktywizacji ich dachów, ale również może tworzyć całkiem nowe zespoły mieszkaniowe w zabudowie szeregowej, bliźniaczej czy wolnostojącej, a nawet stać się pływającym domem [227,228].

Projekt ma być uniwersalnym rozwiązaniem dla różnych typów lokalizacji. Drewniany szkielet posiada izolację ścian o grubości 35 cm i dachu 40 cm [229]. Ma okna o niskim współczynniku przenikania ciepła, w tym okna w standardzie pasywnym od strony północnej, których główną funkcją jest doświetlenie wnętrza [230]. W projekcie wykorzystano skośny dach jako rozwiązanie pozwalające w lepszy sposób wykorzystać energię słoneczną zarówno pasywnie: do ogrzewania i oświetlenia wnętrza, jak i aktywnie – poprzez instalację kolektorów słonecznych i ogniw fotowoltaicznych (RYSUNEK 2.3.2, rys. 3-4.). Kolektory słoneczne służą do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, ale wykorzystywane są również na potrzeby niskotemperaturowego ogrzewania podłogowego. Zlokalizowane na dachu 14 m² ogniw fotowoltaicznych pozwala w okresie zimowym na zapewnienie energii dla pompy ciepła i wentylacji mechanicznej (RYSUNEK 2.3.2, rys. 1.). W słoneczne dni ogniwa fotowoltaiczne pokrywają całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną, redukując zapotrzebowanie na energię z zewnątrz do zera. W przypadku nadprodukcji energii elektrycznej przez budynek odsprzedawana jest ona do sieci, czyniąc z obiektu małą elektrownię [231]. W budynku wykorzystano również w innowacyjny sposób dach z przestrzenią wentylowaną pod pokryciem z blachy. Układ taki zastosowano jako kolektor służący do podgrzewania powietrza dla powietrznej pompy ciepła.

W ten sposób wykorzystano pasywne rozwiązanie działające na zasadzie komina słonecznego do wstępnego podgrzania powietrza dla rozwiązania aktywnego. Jednocześnie powietrze przepływając pod ogniwami fotowoltaicznymi, chłodzi je od spodu, gwarantując bardziej optymalne warunki pracy i wyższą wydajność [232]. Dach wyposażony został w odpowiednio rozmieszczone okna zapewniające wskaźnik oświetlenia światłem dziennym znacznie powyżej 5% w większości pomieszczeń. Okna te pozyskują również w sposób pasywny energię ciepłą z promieniowania słonecznego, zmniejszając zapotrzebowanie budynku na energię w okresie grzewczym. Dla ochrony przed przegrzaniem wnętrza w okresie letnim zostały one wyposażone

²²⁶ <https://www.firstunited.dk/environmental-events/soltag/>, dostęp 07.06.2018.

²²⁷ CHOŁAJ M.: *Na rynku – moduł mieszkalny SOLTAG*, „Architektura. Murator”, 2007, nr 03(150): s. 107.

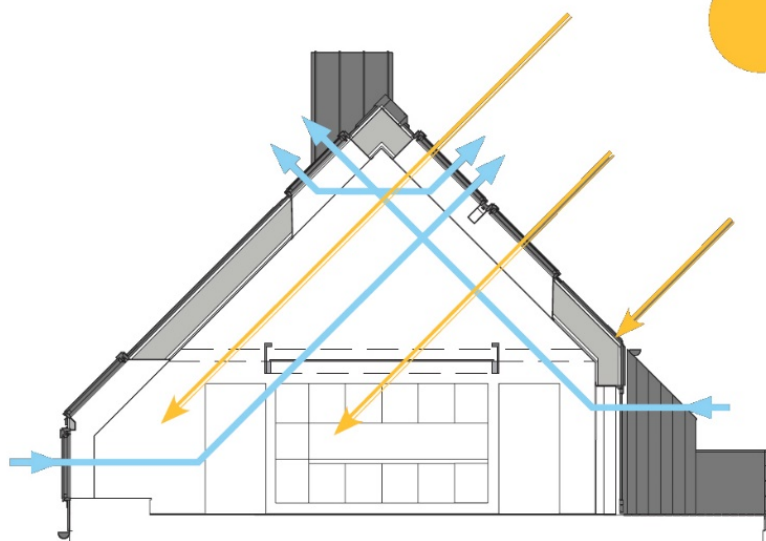
²²⁸ <https://www.activehouse.info/cases/soltag/>, dostęp 07.06.2018.

²²⁹ <https://eficienciaenergica.blogspot.com/2014/06/soltag-energy-housing-fim.html>, dostęp 07.06.2018.

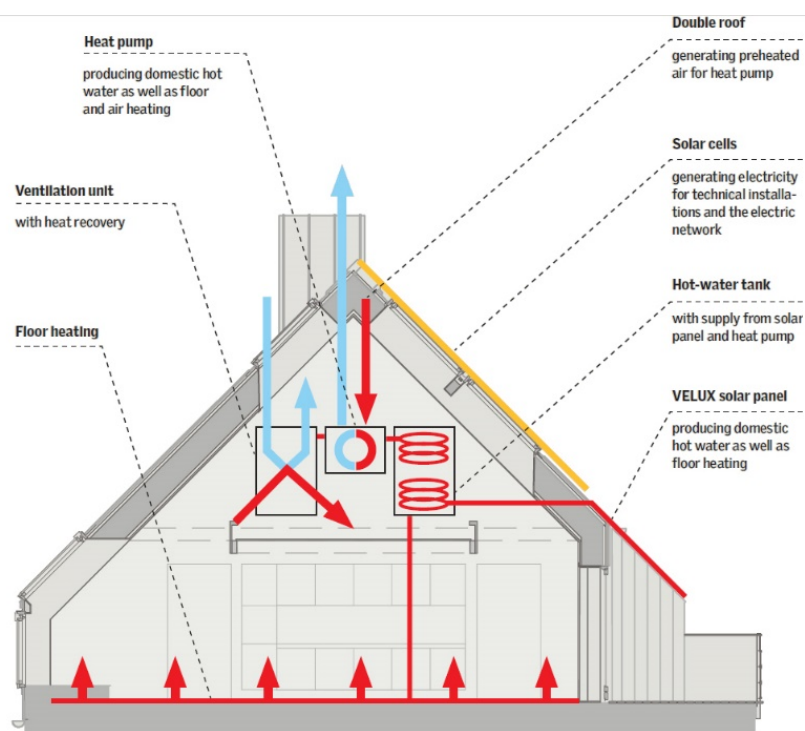
²³⁰ GUZOWSKI M.: *Towards zero-energy architecture: new solar design*. Laurence King, London, 2010.

²³¹ <http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/Soltag%5B1%5D.pdf>, dostęp 07.06.2018.

²³² <http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/Soltag%5B1%5D.pdf>, dostęp 07.06.2018.

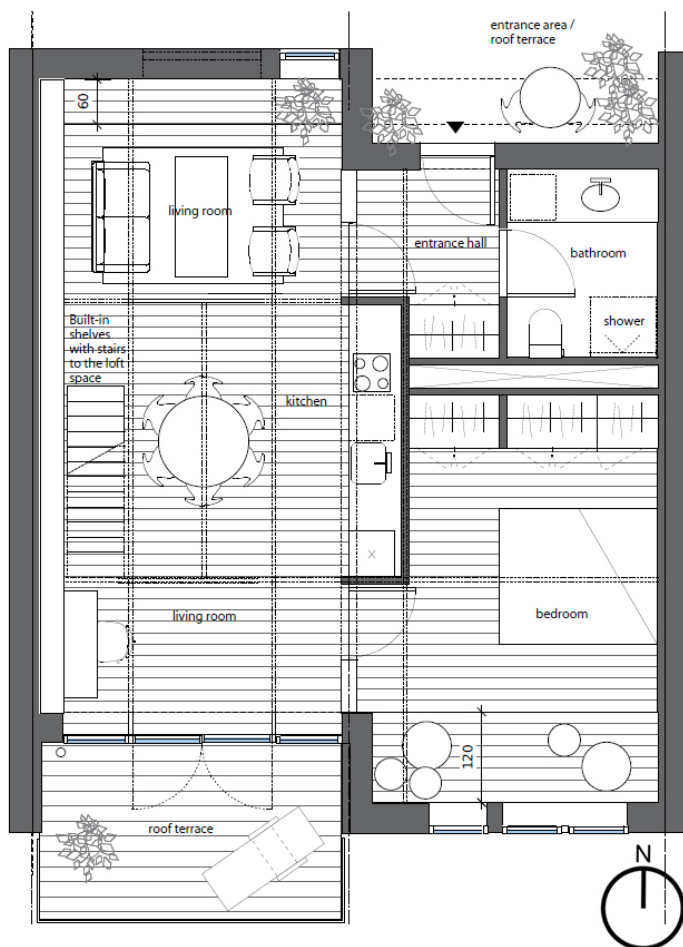


RYSUNEK 2.3.2, rys. 3.
Schemat wykorzystania pasywnych zysków solarnych oraz wentylacji naturalnej.



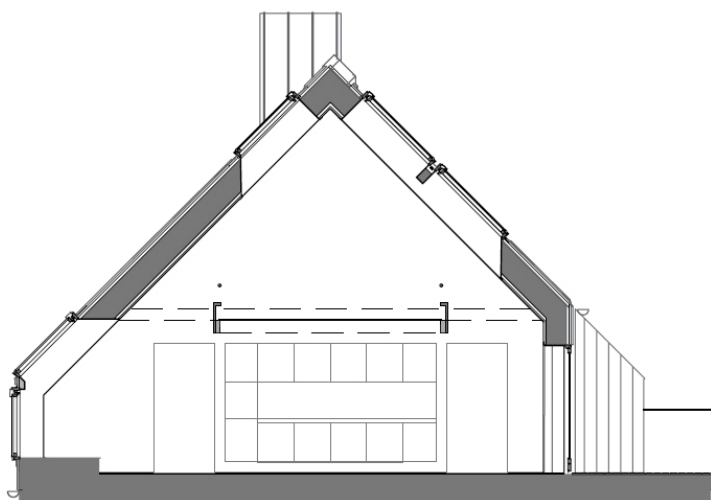
RYSUNEK 2.3.2, rys. 4.
Schemat wykorzystania systemów aktywnych w budynku.

w markizy przeciwsłoneczne sterowane automatycznie w zależności od warunków zewnętrznych. Zaprojektowany układ okien pozwala również na skuteczne stosowanie wentylacji naturalnej. Właściwie otworzone zestawy okienne na głównym poziomie i w szczycie dachu umożliwiają skuteczną wymianę powietrza i chłodzenie wnętrza w okresie letnim [233].



RYSUNEK 2.3.2, rys. 5.

Rzut kondygnacji.



RYSUNEK 2.3.2, rys. 6. Przekrój.

²³³ <http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/Soltag%5B1%5D.pdf>, dostęp 07.06.2018.



RYSUNEK 2.3.3, rys. 1.
Widok elewacji południowej z obszerną szklaną fasadą pomiędzy wschodnim i zachodnim skrzydłem budynku.



RYSUNEK 2.3.3, rys. 2.
Na zdjęciu po lewej stronie widać wieżę od strony północnej i okna zwrócone na jezioro. Na zdjęciu po prawej stronie południowo-zachodni narożnik budynku z akcentami kolorystycznymi na surowej drewnianej elewacji.



RYSUNEK 2.3.3, rys. 3.
Zielony dach na parterowej części budynku.

2.3.3 CO2 Saver House (Piotr Kuczia)

Dom ekologiczny nad jeziorem Łackim w okolicach Pszczyny w Polsce to wolnostojący dom jednorodzinny zaprojektowany przez architekta Piotra Kuczię. Budynek o powierzchni 175 m² został zrealizowany w 2007 roku. Z zewnątrz obiekt jest symetryczny na osi wschód–zachód. Parterowa podstawa ma elewację z modrzewiowych desek z kolorowymi akcentami wpisującymi się w otaczającą kolorystykę łąki (RYSUNEK 2.3.3, rys. 2,4). Pomiędzy dwa parterowe skrzydła budynku wkomponowana została szklana fasada zaprojektowana na kształt szklarni [^{234,235}] (RYSUNEK 2.3.3, rys. 1). Jest ona przystosowana do pozyskiwania bezpośrednich zysków solarnych, a jej przestrzeń stanowi całość z wnętrzem budynku i nie jest oddzielona dodatkową przegrodą. W środkowej północnej części budynku znajduje się trzykondygnacyjny trzon obłożony czarnymi płytami z włóknobetonu. Odpowiednio ukształtowany przekrój sprawia, że na większość elewacji pada bezpośrednio promieniowanie słoneczne. Ograniczone zostały powierzchnie zwrócone na północ [²³⁶] (RYSUNEK 2.3.3, rys. 6).

Budynek zaprojektowany został tak, by korzystać z tradycyjnej technologii budowlanej z zastosowaniem detali architektonicznych o niewielkim poziomie skomplikowania [²³⁷]. Do jego budowy zostały wykorzystane niskoprzetworzone materiały, jak nieobrabiane drewno elewacyjne i glina. Brak konserwacji i wykończenia pozwala na ich naturalne starzenie i okrywanie się patyną wraz z upływem czasu. Część skośna dachu, skierowana na południe, przeznaczona jest pod ogniwa fotowoltaiczne (niezrealizowane) [²³⁸].

Budynek ma izolację termiczną o grubości 20 cm, a w części pokrytej ciemnym włóknobetonem straty ciepła przez elewacje, według autora, ograniczane są przez nagrzewanie fasady budynku. Dodatkową izolację i ochronę przed przegrzewaniem w okresie letnim stanowi pokrycie płaskiej części dachu cienką warstwą substratu i roślinnością odporną na wysuszenie i duże nasłonecznienie (RYSUNEK 2.3.3, rys. 3). Obiekt jest wykonany z dbałością o zachowanie szczelności obudowy zewnętrznej.

Dom zaprojektowany jest tak, by w jak największym stopniu jego wnętrze było otwarte [²³⁹]. Otwarta klatka schodowa w tak zwanej „wieży” pozwala na łatwiejszą wentylację, a w szczególności na wykorzystanie wentylacji wyporowej w trzykondygnacyjnej części domu (RYSUNEK 2.3.3, rys. 5). W jednym z wyższych punktów w wieży znajduje się okno umożliwiające wentylowanie i chłodzenie w okresie letnim. Podstawowym systemem wentylacji jest jednak wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła.

Podłogi w budynku wykonane są ze szlifowanego betonu, który stanowi dobry akumulator energii cieplnej. W szczególności posadzki znajdujące się szklarni pozwalają na pozyskanie dużej ilości energii, która oddawana jest w okresie nocnym. W pobliżu szklanej fasady zaprojektowana została ściana z gliny jako materiału o dużej pojemności cieplnej, ale również umożliwiającym

²³⁴ KUCZIA P.: *Solarna aktywacja budynków: 10 rozwiązań strukturalnych*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2011, 108.2-A/2: 127-134.

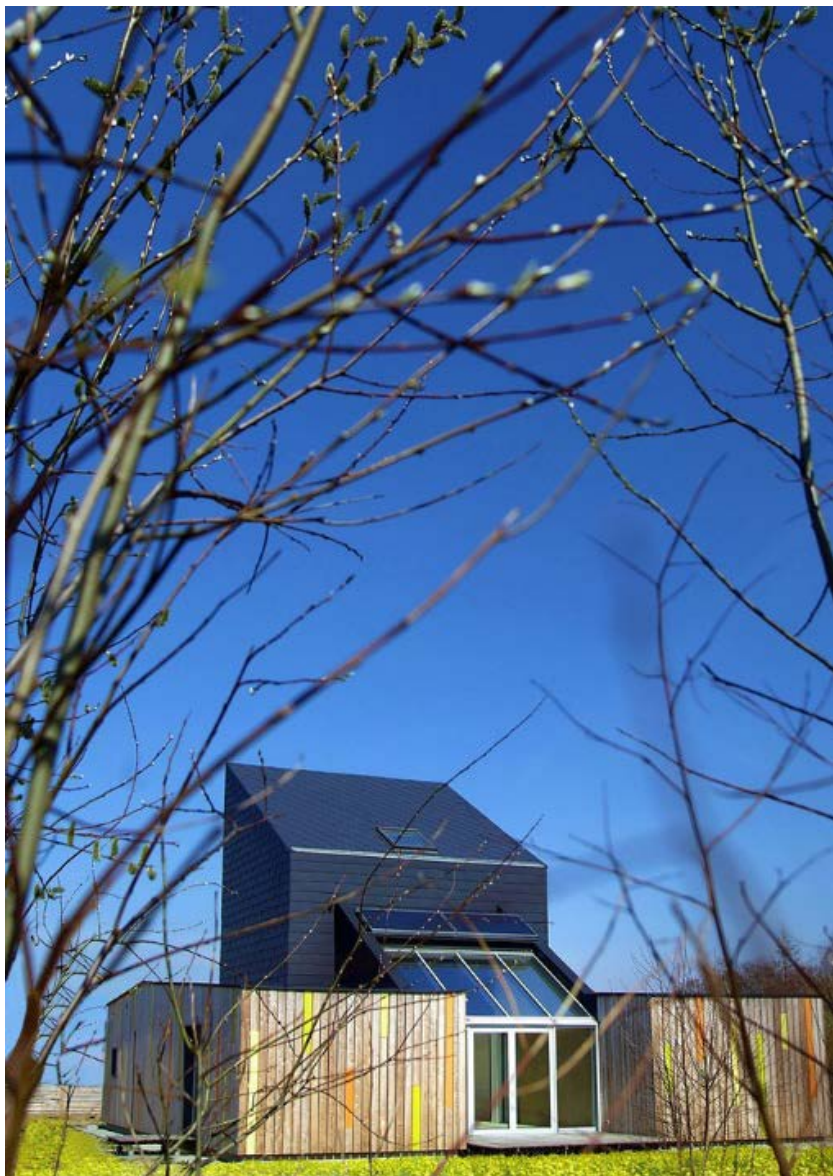
²³⁵ LEWANDOWSKI Maciej, KUCZIA Piotr.: Dom ekologiczny koło Pszczyny, „ARCHITEKTURA Murator”, 2007, nr 6(153): s. 54-59.

²³⁶ <https://www.archdaily.com/674/co2-saver-house-peter-kuczia>, dostęp 04.06.2018.

²³⁷ <https://www.archdaily.com/674/co2-saver-house-peter-kuczia>, dostęp 04.06.2018.

²³⁸ http://www.najlepszedomy.pl/domy/101/dom_ekologiczny_interesujaca_realizacja_projektu_piotra_kuczii,486.html, dostęp 04.06.2018.

²³⁹ http://www.najlepszedomy.pl/domy/101/dom_ekologiczny_interesujaca_realizacja_projektu_piotra_kuczii,486.html, dostęp 04.06.2018.



RYSUNEK 2.3.3, rys. 4. Widok na budynek od strony południowej.



RYSUNEK 2.3.3, rys. 5. Zdjęcie w kierunku schodów na piętrze. W lewej części zdjęcia widoczna szklana fasada od południa.

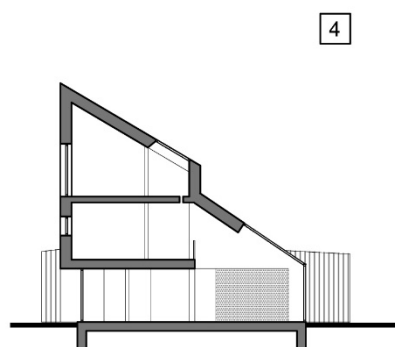
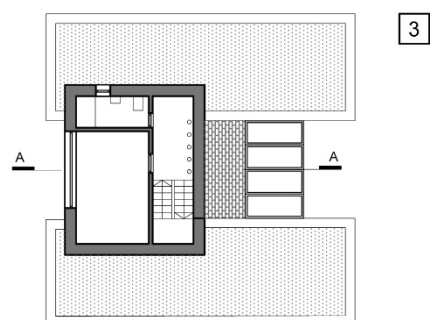
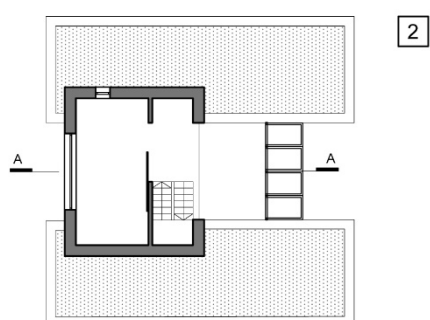
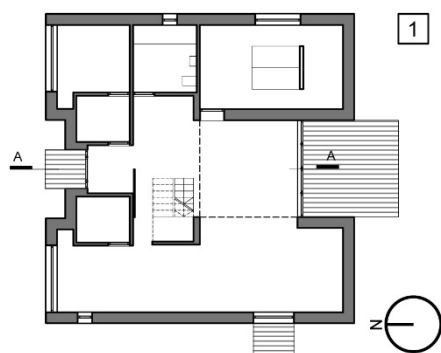
Czarne punktu na suficie to otwory zaprojektowane w celu wspomagania wentylacji naturalnej.

regulację wilgotności powietrza [²⁴⁰]. Usytuowana we wschodniej części salonu pozwala na akumulowanie energii od godzin popołudniowych.

RYSUNEK 2.3.3, rys. 6.

- 1. – Rzut parteru,
- 2. – Rzut kondygnacji +1,
- 3. – Rzut kondygnacji +2,
- 4. – Przekrój.

Opracowanie własne na podstawie „Architektura. Murator” [²⁴¹].



²⁴⁰ <http://www.bryla.pl/bryla/1,85301,4747508.html>, dostęp 04.06.2018.

²⁴¹ LEWANDOWSKI M., KUCZIA P.: *Dom ekologiczny koło Pszczyny*, „Architektura. Murator”, 2007, nr 6(153): s. 54-59.



RYSUNEK 2.3.4, rys. 1.
Widok od strony
północno zachodniej.

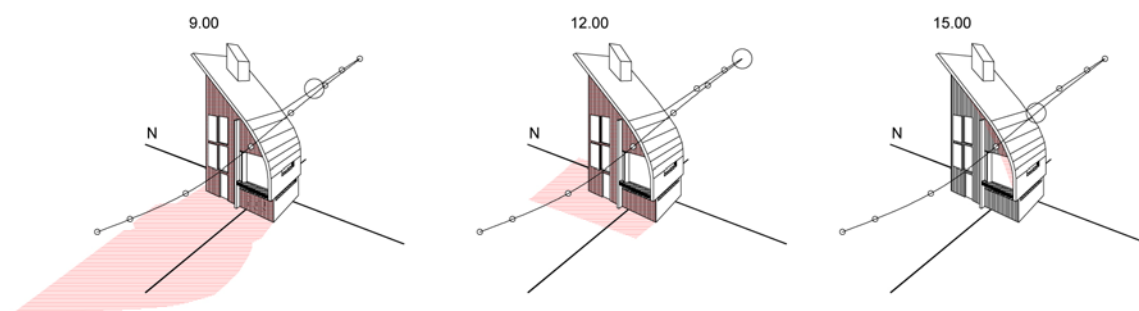


RYSUNEK 2.3.4, rys. 2.
Widok dachu z
systemami aktywnymi:
ogniwa fotowoltaiczne i
kolektory słoneczne,
oraz szklana nasada
łapacza wiatru.

2.3.4 Kingspan Lighthouse (Sheppard Robbison)

Kingspan Lighthouse jest pierwszym w Wielkiej Brytanii budynkiem prawie zeroenergetycznym. Jako pierwszy uzyskał poziom 6 według kryteriów oceny Code for Sustainable Homes [242]. 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, uzależnione od potrzeb użytkowników [243].

Jednym z podstawowych sposobów obniżenia zapotrzebowania na energię w projekcie jest zastosowanie izolacji przegród zewnętrznych budynku o niskich współczynnikach przenikania ciepła. Jest ono 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. Redukuje to straty ciepła o około 60% w stosunku do tradycyjnego budownictwa [244].



RYSUNEK 2.3.4, rys. 3. Schemat oświetlenia budynku w okresie letnim.

Opracowanie własne na podstawie D. Alsharhan i .S Ozcelik [245].

Trzypiętrowa bryła budynku jest zwarta i zwrócona dłuższą elewacją w kierunku północnym. Budynek ma mniejszą niż przeciętny powierzchnię okien. Stanowi ona 18% całkowitej powierzchni przegród zewnętrznych, co jest ograniczeniem o około 15–18% w stosunku do tradycyjnych rozwiązań [246]. Od strony południowej znajdują się niewielkie okna doświetlające sypialnię i strefę dzienną budynku. Ściana południowa przechodzi płynnie w dach o nachyleniu 40° , na którym umieszczono aktywne systemy pozyskiwania energii słonecznej. Ogniwa fotowoltaiczne i kolektory odbierają energię, która powodowałaby przegrzewanie budynku w okresie letnim. Wnętrze domu oświetlone jest głównie za pomocą okien od wschodu i zachodu, które wyposażone są w przesuwne osłony słoneczne. Okna te dodatkowo osłonięte są stałymi osłonami w postaci wysuniętych, drewnianych lameli stanowiących kontynuację powierzchni południowej elewacji. Dodatkową osłoną są stałe osłony wertykalne

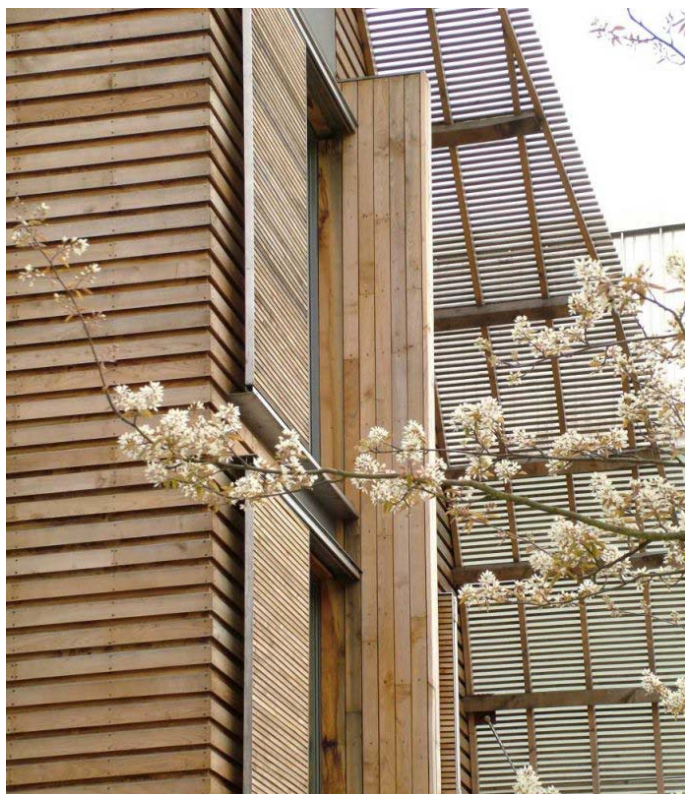
²⁴² ALSHARHAN D. i OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-blic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf> dostęp 03.07.2013.

²⁴³ Kingspan Lighthouse, http://www.kingspanlighthouse.com/pdf/lighthouse_flyer.pdf, dostęp 03.07.2013.

²⁴⁴ OSTRÝ M., BEČKOVSKÝ D.: *Konstrukce z wykorzystaniem fazowo-zmiennych materiałów*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2010, z. 4, z. 2-B, 172-176.

²⁴⁵ ALSHARHAN D. i OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-blic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf> dostęp 03.07.2013.

²⁴⁶ ALSHARHAN D., OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-blic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>, dostęp 03.07.2013.



RYSUNEK 2.3.4, rys. 4.

Oslony przeciwsłoneczne na elewacji zachodniej.



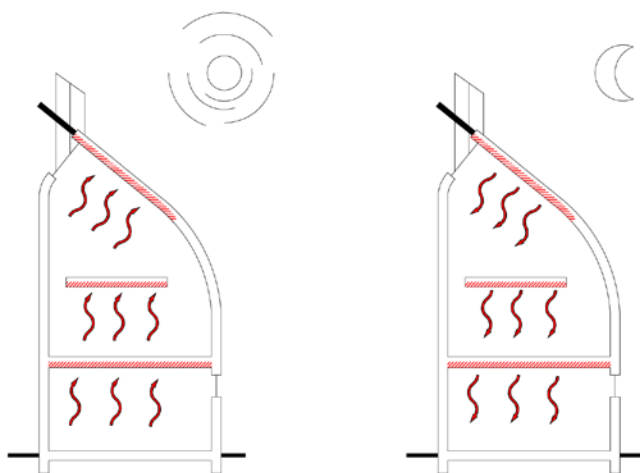
RYSUNEK 2.3.4, rys. 5.

Widok z wnętrza. Otwarta klatka schodowa ułatwiająca naturalną wentylację stanowi również akcent kolorystyczny. Kolor zielony stanowi motyw przewodni we wnętrzu.

(RYSUNEK 2.3.4, rys. 1 i 4.). Dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego ograniczony jest o 90% względem przeciętnie stosowanych rozwiązań, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zagrożenie płynące z promieniowania od słońca, zwłaszcza w jego najwyższym położeniu w ciągu dnia. Zacienianie budynku w okresie letnim przedstawia RYSUNEK 2.3.4, rys. 3.

Pomieszczenia techniczne zlokalizowane są w przyziemiu i pozbawione okien. Na tym samym poziomie od strony południowej zaprojektowano sypialnie. Pomieszczenia te wyposażone zostały w niskie podłużne okna. Na piętrze znajduje się strefa dzienna oraz centralnie usytuowana kuchnia, ponad którymi zaprojektowano antresolę z miejscem do pracy. Funkcje te nie są wygroždzone i stanowią jednoprzestrzenne wnętrza (RYSUNEK 2.3.4, rys. 7.). Układ taki zapewnia możliwość naturalnego przewietrzania budynku z wykorzystaniem komina słonecznego i łapacza wiatru ^[247]. Urządzenie to zlokalizowano w centralnej części kalenicy nad otwartą klatką schodową ^[248]. Zaprojektowane zostało z wykorzystaniem szklanych tafli, dzięki czemu wprowadza również światło do wnętrza.

Pasywne chłodzenie budynku za pomocą systemu naturalnej wentylacji wspomagane jest przez zastosowanie materiałów do krótkotrwałej akumulacji ciepła ^[249]. 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 ^[250]. W ciągu dnia nadmiar energii cieplnej gromadzony jest przez powierzchnie akumulacyjne, powodując obniżenie temperatury w pomieszczeniach. W nocy intensywne przewietrzanie budynku chłodniejszym powietrzem powoduje odwrócenie procesu. Mikrokapsułki z materiałem zmiennofazowym zmieniają stan skupienia, oddając zgromadzone ciepło do przepływającego przez budynek powietrza. Schemat wykorzystania materiałów zmiennofazowych w budynku przedstawia RYSUNEK 2.3.4, rys. 6.



RYSUNEK 2.3.4, rys. 6.
Schematy wykorzystania
akumulacji cieplnej.

Opracowanie własne na
podstawie D. Alsharhana
i .S Ozcelika ^[251].

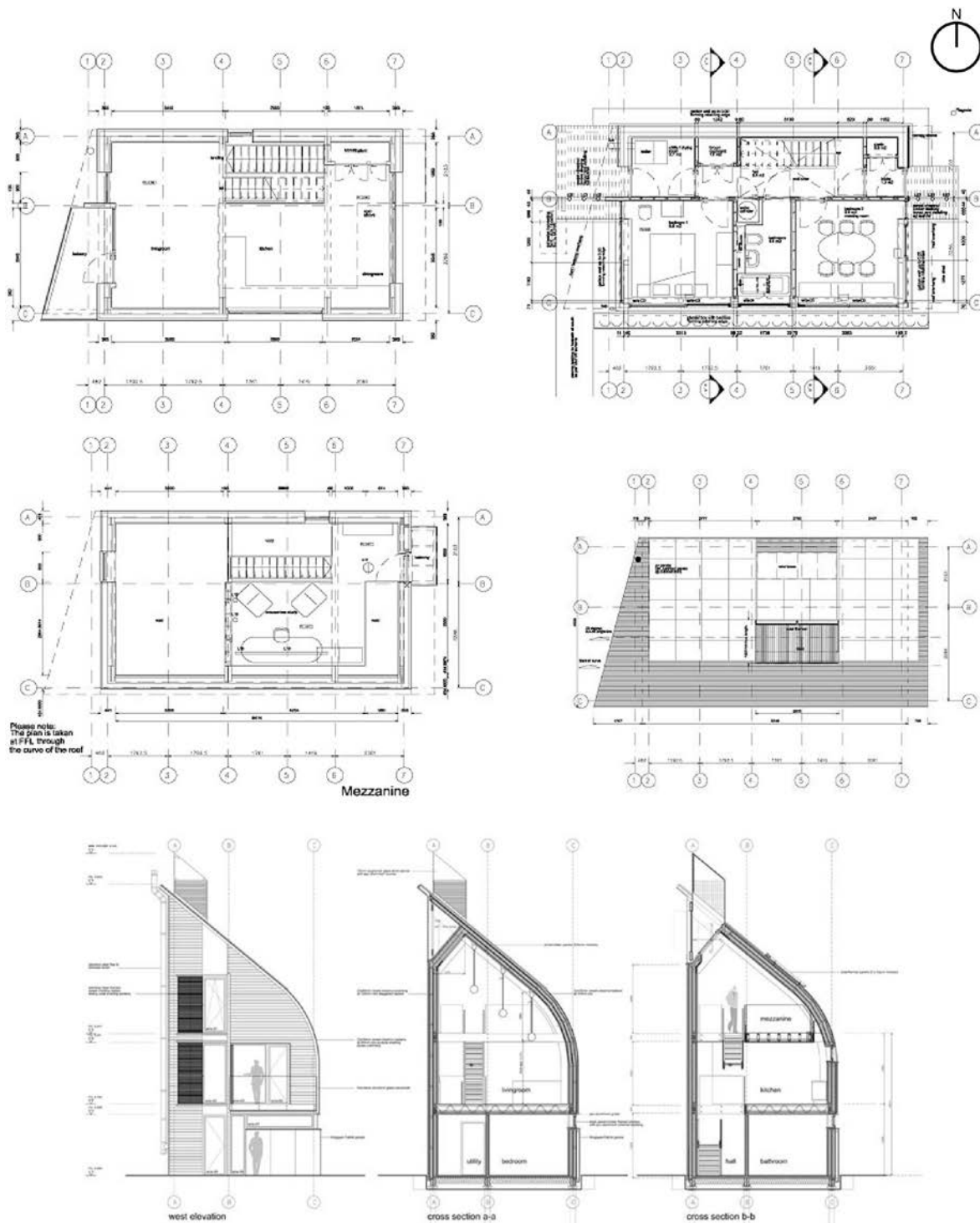
²⁴⁷ GACZOŁ T.: *Wentylacja naturalna systemu nawiewu – wybrane przykłady*, „Czasopismo techniczne. Architektura”, 2007, z. 10, z. 4-A, 64-70.

²⁴⁸ GACZOŁ T.: *Kominy słoneczne – wybrane przykłady*, „Czasopismo techniczne. Architektura”, 2010, z. 18, z. 8-A, 130-136.

²⁴⁹ AlSharhan D., Ozcelik E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-lic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>, dostęp 03.07.2013.

²⁵⁰ OSTRÝ M., BEČKOVSKÝ D.: *Konstrukce z wykorzystaniem fázovo-zmienných materiálů*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2010, z. 4, z. 2-B, 172-176.

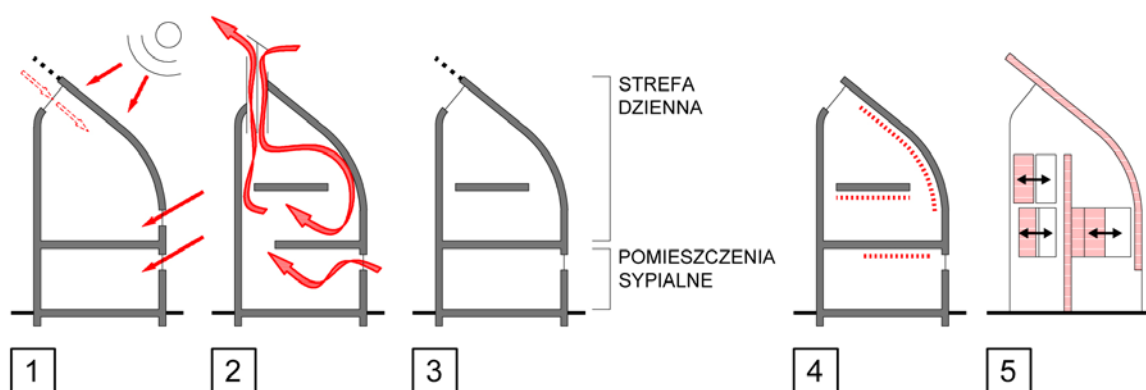
²⁵¹ ALSHARHAN D. i OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-lic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf> dostęp 03.07.2013.



RYSUNEK 2.3.4, rys. 7. Dokumentacja techniczna. Rzuty kondygnacji i przekroje.

Pasywne chłodzenie budynku wspomagane jest przez zastosowanie łapacza wiatru wspomaganego energią słoneczną. 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 ^[252] (RYSUNEK 2.3.4, rys. 2.). Urządzenie zlokalizowane jest nad otwartą klatką schodową ułatwiającą przepływ powietrza przez wnętrze (RYSUNEK 2.3.4, rys. 5.).

Główne założenia wynikające z zastosowania strategii pasywnych przedstawiają schematy na RYSUNKU 2.3.4, rys. 8.



RYSUNEK 2.3.4, rys. 8.

1.– Aktywne systemy solarne i oświetlenie północnym światłem dziennym, 2. – Wentylacja naturalna umożliwiające nocne chłodzenie, 3. – Strefowanie mikroklimatyczne w pionie, 4. – Zastosowanie materiałów zmienno fazowych, 5. – Zacienienie osłonami stałymi i ruchomymi.

Opracowanie własne na podstawie D. Alsharhana i .S Ozcelika ^[253].

²⁵² Kingspan Lighthouse, http://www.kingspanlighthouse.com/pdf/lighthouse_flyer.pdf, dostęp 03.07.2013.

²⁵³ ALSHARHAN D. i OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-lic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf> dostęp 03.07.2013.



RYSUNEK 2.3.5, rys. 1-3.
Sekwencja zdjęć przedstawiająca otwieranie osłon przeciwsłonecznych.
Widok od strony południowej.



2.3.5 Dom bezpieczny (KWK PROMES)

Dom bezpieczny to przykład dość nietypowy, charakteryzujący się – jak mówi architekt, Robert Konieczny z KWK Promes – inteligentnym podejściem do idei organiczności w architekturze [²⁵⁴]. Budynek w żaden sposób nie nawiązuje do wyglądu roślin, lecz w pewnym sensie naśladuje ich zachowanie w zakresie ruchu uzależnionego od natężenia światła, określanego jako fotonastia.

Budynek został ukończony w 2008 roku. Podstawową wytyczną dla projektu było poczucie bezpieczeństwa mieszkańców. Forma powstała na bazie takich założeń jest zamkniętym szarym prostopadłościanem, który po otwarciu okiennic otwiera się na ogród, tworząc jednocześnie dodatkową zamkniętą strefę buforową pomiędzy budynkiem a ulicą. Zabiegi odpowiadające na potrzebę bezpieczeństwa użytkowników są jednocześnie elementem podejścia. Potężne okiennice wysokie na 2,8 m i przesuwne ściany o długości 15 m i 22 m tworzą stalowy szkielet wypełniany w całości izolacją termiczną o grubości 45 cm [^{255,256}] (RYSUNEK 2.3.5, 4–5.).

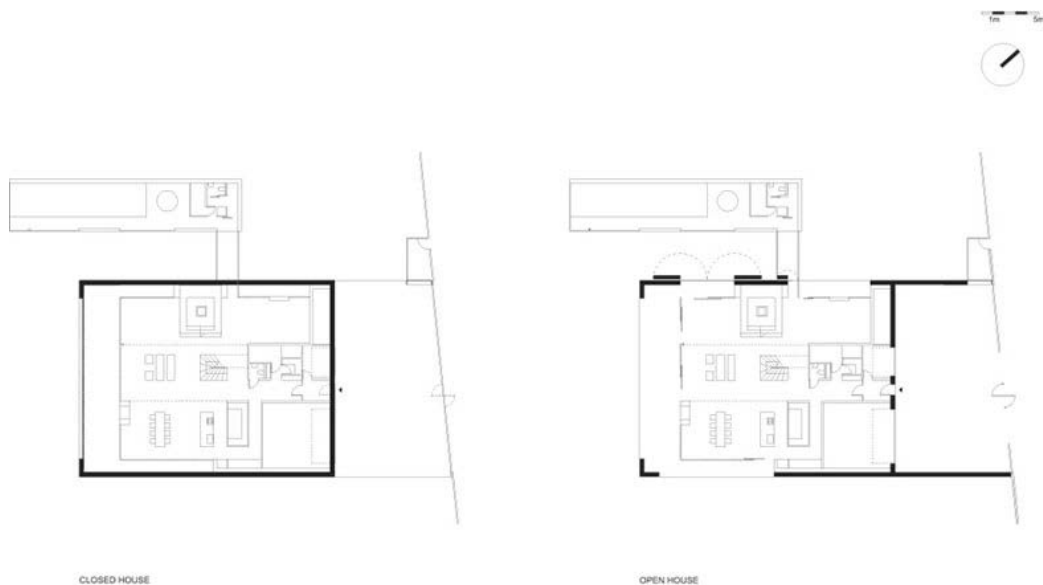
Budynek zmienia się, otwierając strefę bezpieczną na ogród, otwiera się tym samym na zyski słoneczne i światło dzienne (RYSUNEK 2.3.5, 1–3.), natomiast zamykając ją w obrębie bryły budynku – zamyka się przed stratami ciepła. Architekt wskazuje, że to działanie zbliżone do wrażliwości niektórych roślin na światło słoneczne. W ciągu dnia dla zmaksymalizowania korzyści płynących ze słońca niektóre kwiaty otwierają się i kierują w jego stronę. Z nadejściem zmroku zamykają się, chroniąc przez otoczeniem. W tym przypadku budynek w ciągu lata może osłaniać się przed nadmiarem słońca prowadzącym do przegrzewania wnętrza, otwierając masywne osłony przeciwsłoneczne jedynie wtedy, gdy użytkownicy są w budynku. W okresie zimowym otwarcie na słońce w kierunku południowego wschodu i południowego zachodu pozwala na zyski solarne. Po zachodzie słońca budynek zamyka się całkowicie, chroniąc swoich mieszkańców oraz zapobiegając stratom ciepła [²⁵⁷].

²⁵⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=giEfpV8hUwk&list=PLsOS0yJrHgOjyybk77pAELdUxJoKTjnN3>, dostęp 07.06.2018.

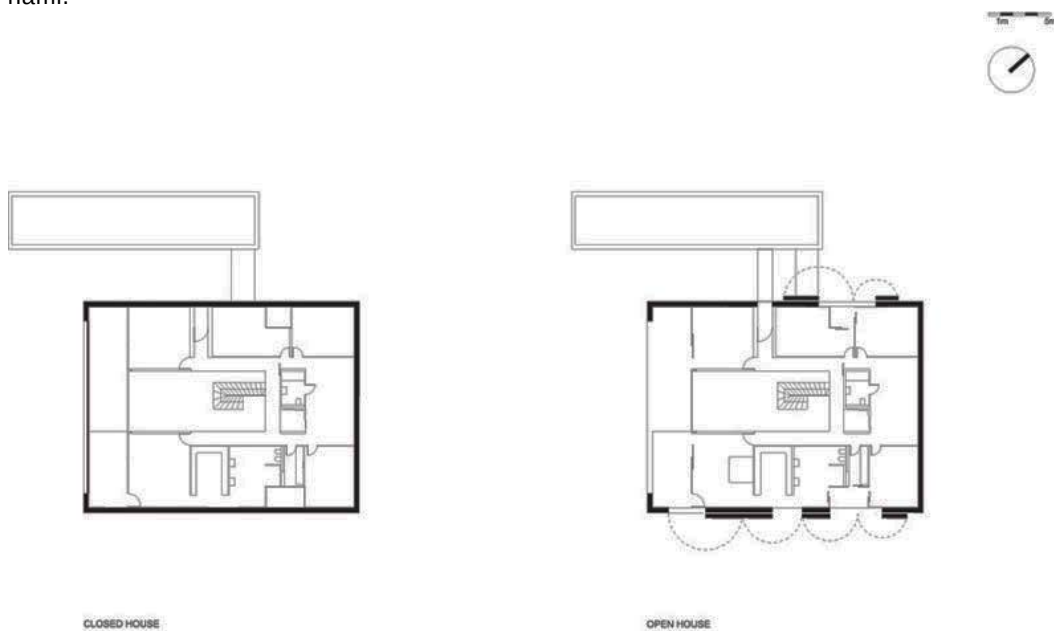
²⁵⁵ <http://www.kwkpromes.pl/dom-bezpieczny-2/2248>, dostęp 07.06.2018.

²⁵⁶ PIĄTEK G., KONIECZNY R.: *Dom Bezpieczny*. „architektura. Murator”, 2009, nr 12(183): s. 64-73.

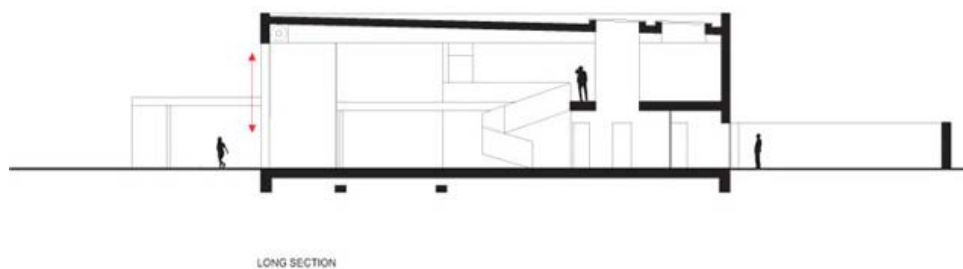
²⁵⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=giEfpV8hUwk&list=PLsOS0yJrHgOjyybk77pAELdUxJoKTjnN3>, dostęp 07.06.2018.



RYSUNEK 2.3.5, rys. 4. Rzut parteru. Po lewej stronie budynek z zamkniętymi osłonami przeciwsłonecznymi. Po stronie prawej rzut przedstawiający budynek z otwartymi okiennicami i przesuwными ścianami.



RYSUNEK 2.3.5, rys. 5. Rzut piętra. Po lewej stronie budynek z zamkniętymi osłonami przeciwsłonecznymi. Po stronie prawej rzut przedstawiający budynek z otwartymi okiennicami.



RYSUNEK 2.3.5, rys. 6. Przekrój.



RYSUNEK 2.3.6, rys. 1. Widok od strony południowej.



RYSUNEK 2.3.6, rys. 2.
Widok od strony południowo-zachodniej.



RYSUNEK 2.3.6, rys. 3.
Widok od strony północno-wschodniej.

2.3.6 Home for life (AART Architects)

Home for life (RYSUNEK 2.3.6, rys. 4–6.) to budynek zaprojektowany przez duńskie biuro AART Architects, zrealizowany w 2008 roku w Lystrup na przedmieściach drugiego co do wielkości miasta w Danii, Aarhus. Obiekt został wybudowany jako modelowy dom z dodatnim bilansem energetycznym i jako neutralny pod względem oddziaływania na środowisko. Ilość produkowanej przez budynek nadwyżki energii przez 35 lat ma zredukować ślad ekologiczny budowy i wykorzystanych materiałów. Po tym czasie budynek zredukuje swój odcisk ekologiczny, mierzony za pomocą CO₂, do zera [258]. Home for life wyposażony jest w wydajną pompę ciepła, wentylację z rekuperacją, kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne (RYSUNEK 2.3.6, rys. 7). Dom zamieszkuje czteroosobowa rodzina, która zapisuje swoje odczucia i spostrzeżenia dotyczące życia w obiekcie plusenergetycznym [259]. Jednocześnie systemy zarządzające zbierają informacje na temat jakości powietrza, oświetlenia, zapotrzebowania na energię, by móc rozwijać technologię budownictwa energooszczędnego. Za główne czynniki wpływające na jakość klimatu wewnętrznego i komfort użytkowania uznano wentylację i oświetlenie, kontrolowane na bieżąco przez czujniki [260].

Konstrukcję budynku oparto na drewnianym szkielecie. Jako materiał elewacyjny zastosowano drewno i łupek, który nie wymaga konserwacji i odświeżenia z upływem czasu. Do wykończenia podłóg użyto płytek z recyklingowego szkła [261]. Na 200 m² budynku przypada około 80 m² okien, co jest wartością prawie dwukrotnie większą niż w przeciętnym budynku w Danii. Blisko połowa energii potrzebnej do ogrzania wnętrza pochodzi bezpośrednio ze słońca. Taka liczba okien zapewnia również doskonałe parametry światła dziennego i kontakt z otoczeniem (RYSUNEK 2.3.6, rys. 8–9.). Każdy pokój w budynku ma okna skierowane przynajmniej w dwóch różnych kierunkach oraz bezpośrednie wyjście na zewnątrz [262]. Przed przegrzewaniem w okresie letnim chronią wysunięte połacie dachu od południa (RYSUNEK 2.3.6, rys. 1–2.). Dodatkową regulację dostępu promieni słonecznych zapewniają również zewnętrzne i wewnętrzne osłony przeciwsłoneczne. Część z nich to lekkie zewnętrzne zasłony oraz przesuwne panele chroniące przez zimowym słońcem o niskim kącie padania promieni [263].

Home for life w okresie zimowym wykorzystuje wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, ale w ciągu cieplejszej części roku utrzymanie jakości powietrza i odpowiedniej wymiany powietrza realizowane jest poprzez wentylację naturalną. Takie połączenie dwóch systemów pozwala na oszczędność energii poza sezonem grzewczym [264]. Odpowiednio zlokalizowane okna (RYSUNEK 2.3.6, rys. 3) wyposażone w mechanizmy sterujące oraz czujniki mierzące jakość powietrza stanowią część układu odpowiadającego za wentylację. Czujniki kontrolujące obecność mieszkańców w pomieszczeniu i wyłączające automatycznie oświetlenie po ich wyjściu jednocześnie uruchamiają proces przewietrzania, tak by nie narazić użytkowników na przeciągi. System ten pozwala na pasywne chłodzenie, ale odpowiada również za zabezpieczenie przed nadmiernym wychłodzeniem. W przypadku spadku komfortu termicznego we wnętrzu okna

²⁵⁸ <https://www.archdaily.com/889593/home-for-life-aart-architects>, dostęp 07.06.2018.

²⁵⁹ <https://inhabitat.com/ultra-efficient-danish-home-produces-more-energy-than-it-needs/>, dostęp 07.06.2018.

²⁶⁰ <http://architypereview.com/project/home-for-life-the-worlds-first-active-house/>, dostęp 07.06.2018.

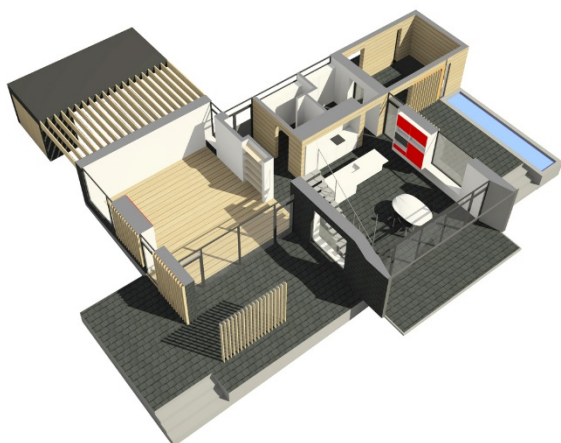
²⁶¹ <https://aart.dk/en/projects/home-life>, dostęp 07.06.2018.

²⁶² <https://www.activehouse.info/cases/home-for-life/>, dostęp 07.06.2018.

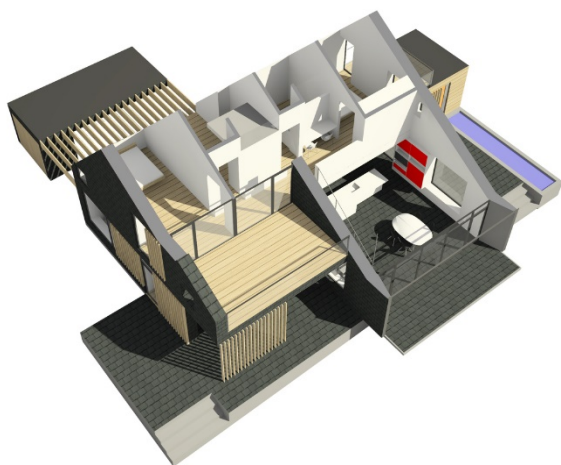
²⁶³ <http://www.sbd2050.org/project/home-for-life-34/>, dostęp 07.06.2018.

²⁶⁴ <http://www.sbd2050.org/project/home-for-life-34/>, dostęp 07.06.2018.

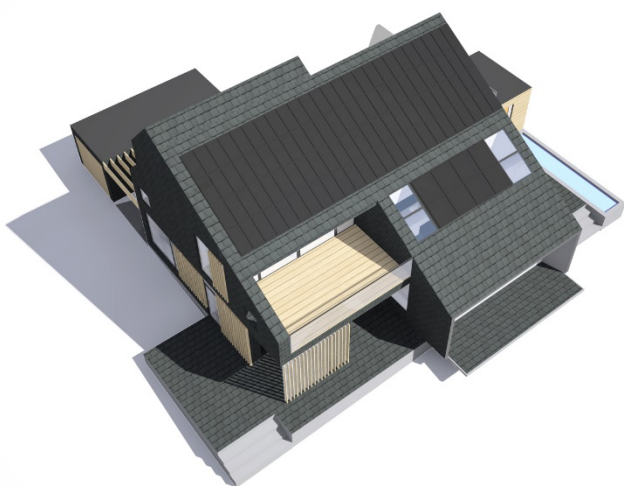
RYSUNEK 2.3.6, rys. 4.
Rzuty 3D kondygnacji 0.



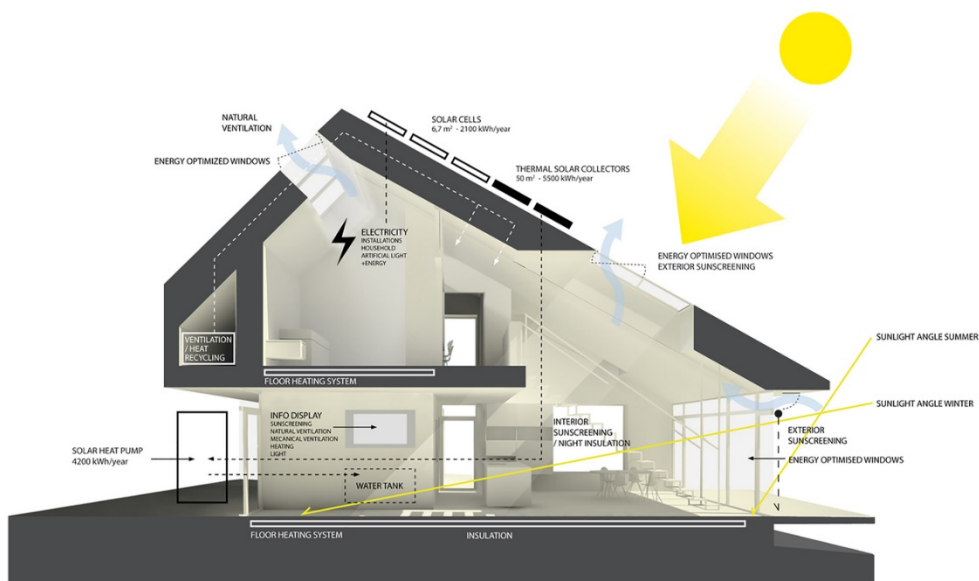
RYSUNEK 2.3.6, rys. 5.
Rzuty 3D poddasza.



RYSUNEK 2.3.6, rys. 6.
Widok 3D.



zamykane są automatycznie [265,266]. W wentylowaniu pomieszczeń pomaga również zasada rozmieszczenia okien w pokojach na przynajmniej dwóch różnych ścianach.



RYСУNEK 2.3.6, rys. 7. Schemat przedstawiający wykorzystanie zysków solarnych oraz wentylacji naturalnej.



RYСУNEK 2.3.6, rys. 8–9. Zdjęcia ze strefy wspólnej. Otwarta przestrzeń i wysoko umieszczone okna wspomagają wentylację naturalną. Ciemna posadzka podnosi wydajność pozyskiwania energii słonecznej z promieni bezpośrednio na nią padających.

²⁶⁵ <https://www.andrewpurcell.net/?p=428>, dostęp 07.06.2018.

²⁶⁶ <https://www.theguardian.com/environment/2009/may/21/active-house-denmark-zero-carbon>, dostęp 08.06.2018.



RYSUNEK 2.3.8, rys. 1.
Widok od strony południowej, na charakterystyczną, rozbudowaną połąć dachu.



RYSUNEK 2.3.8, rys. 2.
Widok od strony południowo-wschodniej.



RYSUNEK 2.3.8, rys. 3.
Widok od strony północno-zachodniej. Strefa wejściowa.

2.3.7 Sunlighthouse (Hein-Troy Architekten)

Sunlighthouse, jak sama nazwa wskazuje, jest obiektem bazującym na idei wykorzystywania energii słonecznej, w tym naturalnego oświetlenia, we wnętrzu. Budynek został zaprojektowany przez biuro Juri Troy Architects (Hein-Troy Architekten). Wybudowany w 2010 r. w Pressbaum w Austrii jest pierwszym w tym państwie budynkiem jednorodzinny o zerowej emisji dwutlenku węgla ^[267]. Obiekt został zrealizowany na podłużnej górskiej działce pomiędzy dwiema zabudowanymi parcelami. Koncepcja oparta jest na takich wytycznych jak: pozyskanie jak największej ilości energii słonecznej do ogrzewania, stworzenie jak najlepszych warunków oświetlenia naturalnego, zachowanie dużego stopnia prywatności, wykorzystanie potencjału krajobrazu i zapewnieniu niskiego wpływu na środowisko ^[268]. Tak postawione kryteria wpłynęły na nietypowe rozwiązania bryły i wnętrza. Długa na 20 m i szeroka zaledwie na 7 m bryła posiada atrium wycięte od strony zachodniej ^[269] (RYSUNEK 2.3.7, rys. 6–7). Charakterystyczna dla budynku zwiększona połącz dachu w kierunku południowo-zachodnim uwarunkowana jest przez zacienianie pobliskim wzniesieniem i zadrzewieniem oraz orientacją działki na południowy wschód. Wysoko usytuowane okna dachowe pozwalają na większy dostęp do energii słonecznej, tworząc jednocześnie niezwykle motyw architektoniczny, który buduje niepowtarzalny klimat wnętrza ^[270] (RYSUNEK 2.3.7, rys. 1–3).

Oświetlenie wszystkich pokoi w budynku ma wskaźnik oświetlenia światłem dziennym na poziomie 5%, co jest wartością wyższą niż w większości budynków Austrii ^[271] (RYSUNEK 2.3.7, rys. 4). Powierzchnia okien stanowi około 51% powierzchni netto budynku. Okna o bardzo dobrym współczynniku przenikania ciepła pozwalają nie tylko na oszczędność energii do ogrzewania, ale również do oświetlenia światłem sztucznym. Ich rozmieszczenie tak kadruje krajobraz, by można było korzystać z jego walorów przy zachowaniu prywatności w ciasnej sąsiedzkiej zabudowie.

Przestrzeń wewnątrz zaprojektowana jest tak, by utrzymać otwartość przestrzeni. Specjalnie zaprojektowane naświetla w ścianach między pokojami a komunikacją pozwalają na przelewanie się światła między przestrzeniami, zapewniając dodatkowe doświetlenie pośrednie. Klatka schodowa łącząca wszystkie kondygnacje ma otwory okienne na najniższej kondygnacji oraz w dachu, co umożliwi naturalne wentylowanie budynku. Taka funkcja zaprojektowana została również dla wysoko umieszczonych okien połączonych w strefie dziennej. Sterowane mechanicznie okna z markizami przeciwsłonecznymi zapewniają skuteczną wentylację naturalną latem i pasywne chłodzenie budynku. Latem budynek nie jest przegrzewany przez nadmiar insolacji, a mikroklimat wnętrza utrzymuje się na poziomie pozwalającym na rezygnację z klimatyzacji. W okresie zimowym wykorzystywana jest natomiast wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła, która uruchamia się automatycznie przy spadku temperatury zewnętrznej poniżej 14°C ^[272,273].

By zmniejszyć negatywny wpływ na środowisko, zadbano o wykorzystanie lokalnych materiałów o niskim wskaźniku emisji dwutlenku węgla. Do budowy zastosowano lokalne drewno – jako elementy konstrukcyjne, wykończenia elewacji i wnętrza – oraz beton z domieszką kruszywa żuźlowego. Jako ocieplenia użyto włókien celulozowych i wełny pochodzącej z recyklingu. Budynek wyposażony jest w wydajną pompę ciepła, ogniwa fotowoltaiczne

²⁶⁷ <https://www.velux.com/innovation/demo-buildings/sunlighthouse>, dostęp 05.06.2018.

²⁶⁸ <https://www.archdaily.com/457737/sunlighthouse-juri-troy-architects>, dostęp 05.06.2018.

²⁶⁹ HOLZER P.: *Die Bilanz des Experimentrs*, „DETAIL GREEN”, 2011, nr 2/11: s. 28-31.

²⁷⁰ <http://www.activehouse.info/cases/sunlighthouse/>, dostęp 05.06.2018.

²⁷¹ <https://www.archdaily.com/457737/sunlighthouse-juri-troy-architects>, dostęp 05.06.2018.

²⁷² <http://www.activehouse.info/cases/sunlighthouse/>, dostęp 05.06.2018.

²⁷³ HOLZER P.: *Die Bilanz des Experimentrs*, „DETAIL GREEN”, 2011, nr 2/11: s. 28-31.



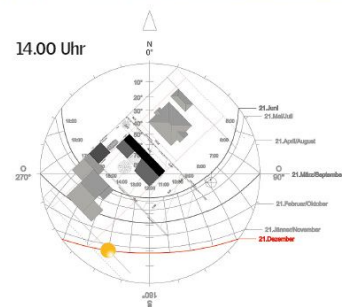
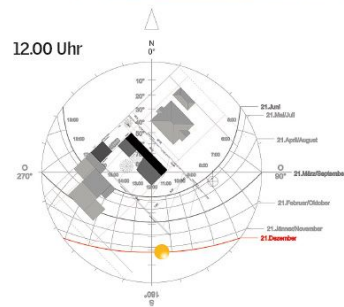
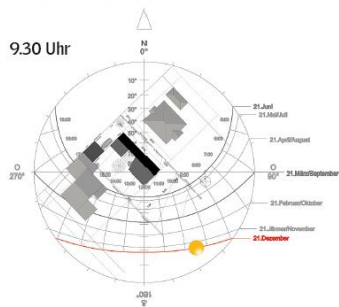
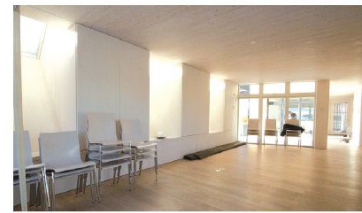
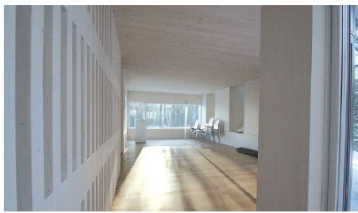
Modellstudie im Lichtlabor der Donau-Universität



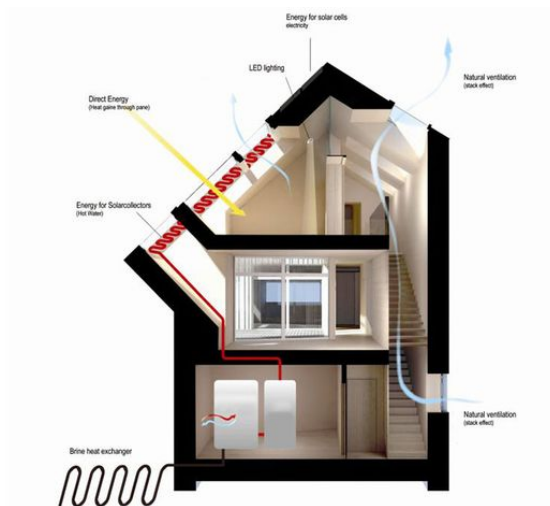
Evaluierung mittels VELUX daylight visualizer



...die Realität
Foto: Adam Mark



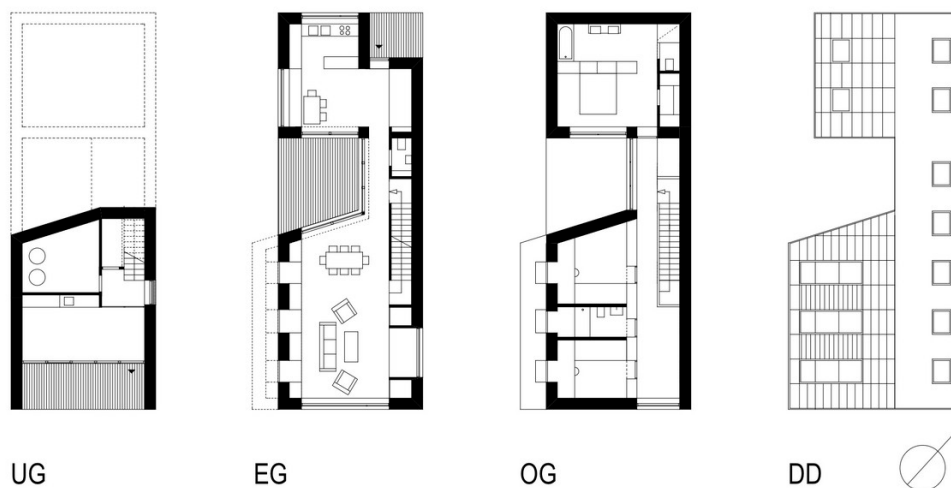
RYSUNEK 2.3.8, rys. 4. W górnym rzędzie zestawienie symulacji oświetlenia dziennego ze zdjęciem realizacji. Poniżej zdjęcia ze strefy wspólnej o różnych porach dnia.



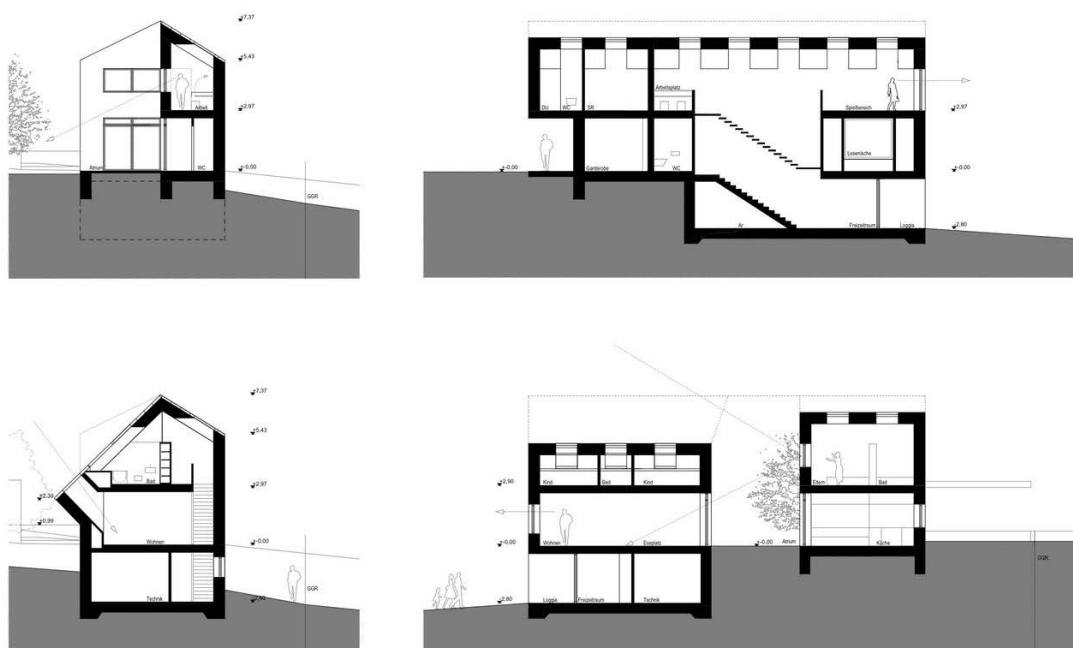
RYSUNEK 2.3.8, rys. 5. Schemat przedstawiający zastosowane w budynku rozwiązania pasywne i aktywne.

i kolektory słoneczne. Taka technologia pozwala na wytworzenie większej ilości energii, niż potrzebuje budynek (RYSUNEK 2.3.7, rys. 5). Zgodnie z obliczeniami w ciągu 30 lat budynek ma zniwelować swój wpływ na środowisko [274].

Budynek monitorowany jest przez Danube University Krems oraz Instytut Budownictwa Zdrowego i Ekologicznego (IBO), stanowiąc jednocześnie obiekt badawczy [275].



RYSUNEK 2.3.7, rys. 6. Rzuty kondygnacji. UG – Kondygnacja -1, EG – Kondygnacja 0, OG – Kondygnacja +1, DD – Rzut dachu.



RYSUNEK 2.3.7, rys. 7. Przekroje.

²⁷⁴ <https://www.archdaily.com/457737/sunlighthouse-juri-troy-architects>, dostęp 05.06.2018.

²⁷⁵ <http://www.activehouse.info/cases/sunlighthouse/>, dostęp 05.06.2018.



RYSUNEK 2.3.8, rys. 1. Widok od strony północno zachodniej.



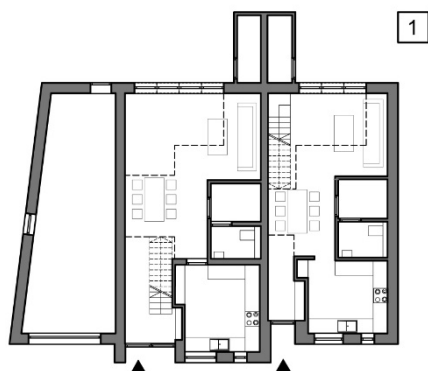
RYSUNEK 2.3.8, rys. 2. Widok od Wschodniej. Obszerna połać dachu wyposażona w okna połaciowe z osłonami przeciwsłonecznymi, oraz systemy aktywne.



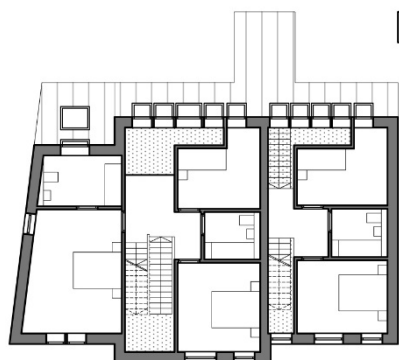
RYSUNEK 2.3.8, rys. 3. Wnętrze części dziennej. Okna połaciowe doświetlające salon połączony z jadalnią. Dla uzyskania lepszych warunków oświetlenia światłem dziennym zastosowane jasne kolory z przewagą bieli.

2.3.8 CarbonLight Homes (HTA)

Budynek w zabudowie bliźniaczej o nazwie CarbonLight Homes został zaprojektowany przez londyńskie biuro architektoniczne HTA. Obiekt wybudowano w roku 2011 w Rothwell jako ostatni z pierwszej serii budynków w ramach projektu Model Homes 2020 firmy VELUX. Przedsięwzięcie ma na celu stworzenie modelowych domów o bardzo niskiej emisji CO₂ dla różnych części Europy.



1



2



3

RYSUNEK 2.3.8, rys. 4.

1. – Rzut parteru,

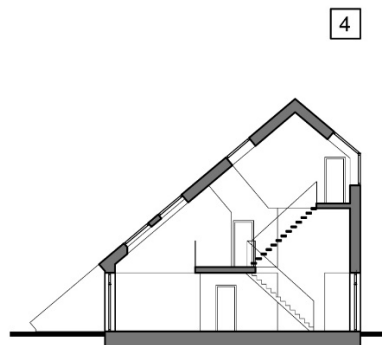
2. – Rzut kondygnacji +1,

3. – Rzut kondygnacji +2,

4. – Przekrój.

Opracowanie bez skali.

Opracowanie własne na podstawie materiałów udostępnionych przez HTA [276].



4

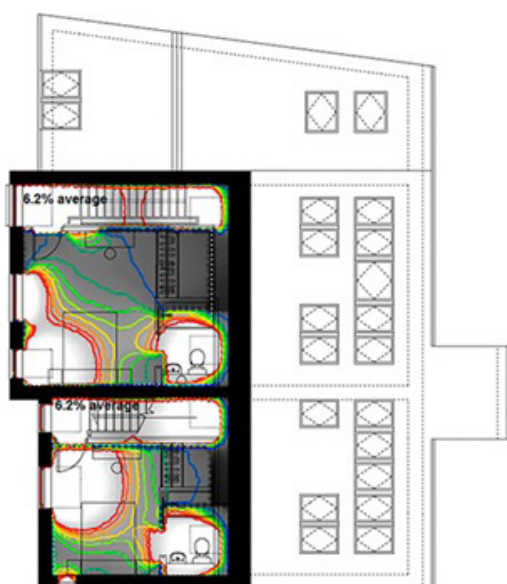


Dom osiągnął poziom 4 według kryteriów oceny Code for Sustainable Homes [277]. Realizacja prototypu, który jest zamieszkały i poddawany ciągłym badaniom, pozwala zweryfikować

²⁷⁶ <http://www.hta.co.uk/projects/velux-carbonlight-houses>, dostęp 01.07.2013.

²⁷⁷ <http://www.hta.co.uk/projects/velux-carbonlight-houses>, dostęp 01.07.2013.

Second floor



First floor



Daylight Factor %



Ground floor

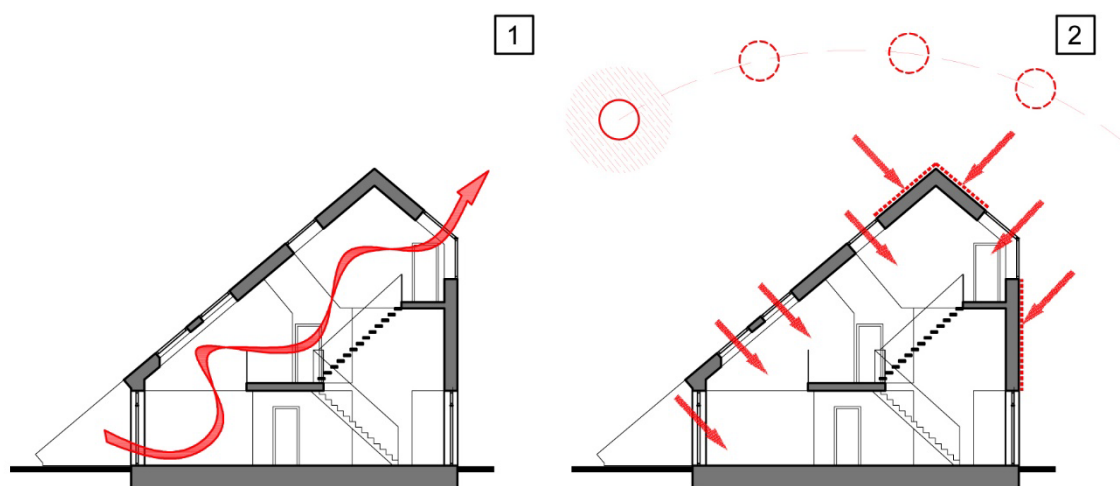


RYSUNEK 2.3.8, rys. 5. Analiza oświetlenia wnętrza światłem dziennym.

założenia projektowe. Wyciągnięte wnioski mają służyć rozwojowi zrównoważonego budownictwa oraz promować przyjazne budynki mieszkalne o niskim poziomie emisji CO₂.

CarbonLight jest zespołem dwóch domów zlokalizowanych na typowych dla Wielkiej Brytanii działkach. Charakter budynku odwołuje się do zabudowy szeregowej o wąskim froncie i głębokim trakcie. Układ taki powoduje, że budynek posiada niewielką liczbę przegród zewnętrznych w stosunku do powierzchni kondygnacji [²⁷⁸]. Redukcja powierzchni ścian stykających się bezpośrednio ze środowiskiem zewnętrznym ogranicza możliwość utraty ciepła przez dobrze zaizolowane ściany. Wszystkie przegrody zewnętrzne, w tym płyta fundamentowa, mają współczynnik przenikania ciepła na poziomie $U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ [²⁷⁹].

Dom zorientowany jest na osi wschód–zachód. Na krótkiej połaci zachodniej zlokalizowane są kolektory słoneczne dostarczające ciepłą wodę użytkową (RYSUNEK 2.3.8, rys. 1.). Połac od strony wschodniej ma dużo większą powierzchnię, na której usytuowano okna doświetlające strefę dzienną (RYSUNEK 2.3.8, rys. 2–3.). Stanowią one, wraz ze znacznie przeszkloną elewacją, pasywny system bezpośrednich zysków solarnych. To rodzaj szklarni będącej archetypiczną formą budownictwa słonecznego [²⁸⁰]. Wszystkim pomieszczeniom w budynku zapewniono bardzo dobry dostęp do światła dziennego (RYSUNEK 2.3.8, rys. 5.). 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, jakim jest zapewnienie wysokiej jakości oświetlenia naturalnego.



RYSUNEK 2.3.8, rys. 6. Schemat wykorzystania wentylacji naturalnej oraz energii promieniowania słonecznego. Opracowanie własne na podstawie materiałów udostępnionych przez HTA [²⁸¹].

Wszystkie okna połaciowe wyposażone są w zintegrowane osłony przeciwsłoneczne, które zapewniają podwyższoną o 34% izolacyjność przegrody. Latem przesłony zabezpieczają budynek przed przegrzewaniem, ograniczając dostęp promieni słonecznych. Zimą zmniejszają straty ciepła

²⁷⁸ Detail Das Architekturportal Toward CO₂ neutrality, <http://www.detail-online.com/architecture/topics/toward-co2-neutrality-018728.html>, dostęp 01.07.2013.

²⁷⁹ Detail Das Architekturportal Toward CO₂ neutrality, <http://www.detail-online.com/architecture/topics/toward-co2-neutrality-018728.html>, dostęp 01.07.2013.

²⁸⁰ KUCZIA P.: *Solarna aktywacja budynków: 10 rozwiązań strukturalnych*, „Zasopismo techniczne. Architektura”, 2011, z. 11, z. 2-A2: s. 128-134.

²⁸¹ <http://www.hta.co.uk/projects/velux-carbonlight-houses>, dostęp 01.07.2013.

w okresie niedostatku promieniowania. Opuszczanie żaluzji na noc znacząco ogranicza utratę energii cieplnej przez okna.

W budynku zapewniony jest wydajny system wentylacji naturalnej. Kluczowy element stanowi wysoki, sięgający po ostatnią kondygnację salon, co przedstawiono na RYSUNKU 2.3.8, rys. 6. W otwartej przestrzeni trzech kondygnacji pod zachodnią połacią dachu uzyskano w sposób niewymuszony przepływ powietrza. 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 [²⁸²]. Wokół przestrzeni, ułatwiającej wentylację i pasywne chłodzenie, rozmieszczone są poszczególne pomieszczenia. Pozwala to zachować bardzo dobrą jakość powietrza i wysoki komfort użytkowania. W budynku całkowicie zrezygnowano z wentylacji mechanicznej.

Strefowanie mikroklimatyczne uzależnione jest przede wszystkim od pasywnych zysków solarnych i zapewnienia oświetlenia naturalnego pomieszczeniom przeznaczonym na pobyt mieszkańców [²⁸³]. 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 RYSUNEK 2.3.8, rys. 4. Takie rozwiązanie obniża energochłonność budynku dzięki ograniczeniu styku ze ścianami zewnętrznymi pomieszczeń o wyższej temperaturze.

²⁸² GACZOŁ T.: *Wentylacja naturalna systemu nawiewu – wybrane przykłady*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2007, z. 4-A, nr 10: s. 64-70.

²⁸³ KUCZIA P.: *Solarna aktywacja budynków: 10 rozwiązań strukturalnych*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2011, z. 11, z. 2-A2, s. 128-134.



RYSUNEK 2.3.9, rys. 1.
Widok od strony południowo-zachodniej.



RYSUNEK 2.3.9, rys. 2.
Widok od strony północno-zachodniej.

2.3.9 Maison Air et Lumière (Nomade Architectes)

Maison Air et Lumière jest budynkiem zaprojektowanym przez francuskie biuro architektoniczne Nomade Architectes. Został wybudowany w okolicy Paryża, w Verrières-le-Buisson w 2011 roku. Zaprojektowano go jako dodatni energetycznie, neutralny dla środowiska i o wysokim komforcie użytkowania [²⁸⁴]. Jego koncepcja opiera się na maksymalnym wykorzystaniu światła dziennego i wentylacji naturalnej. Dom został pomyślany jako budynek modelowy mający promować budownictwo o niskim wpływie na środowisko. Otrzymał bryłę ze skośnym dachem, co stanowi nawiązanie do budownictwa francuskiego. Ze względu na różne kąty nachylenia połaci występujące w różnych regionach kraju dach ma różne kąty (RYSUNEK 2.3.9, rys. 1–2.).

Sama bryła składa się z 3 segmentów. Podział na moduły ma zapewnić elastyczność poprzez dopasowywanie poszczególnych modułów do potrzeb użytkowników, w przypadku kolejnych projektów oraz duplikacji elementów w celu tworzenia większych obiektów lub ich zespołów.

Budynek o około 130 m² ma okna, które stanowią łącznie 33% jego powierzchni [²⁸⁵]. Taka wielkość przeszkleń i ich odpowiednie usytuowanie pozwalają na bardzo dobre doświetlenie wnętrza, co zapewnia mniejsze zużycie energii na oświetlenie sztuczne (RYSUNEK 2.3.9, rys. 3–4, 6). Dachy zostały potraktowane jako równoważna piąta fasada budynku, ich rzeźbienie kształtuje charakter obiektu. Jednocześnie połacie stanowią lokalizację aktywnych i pasywnych elementów solarnych. Na dachu znajdują się kolektory do podgrzewania ciepłej wody użytkowej i do ogrzewania oraz ogniwa fotowoltaiczne zapewniające prąd dla urządzeń elektrycznych dzięki wysokiemu poziomowi energochłonności (RYSUNEK 2.3.9, rys. 7.). Okna dachowe z markizami sterowane automatycznie pozwalają na dobre doświetlenie i zyski solarne bez efektu przegrzewania latem oraz stanowią istotny element układu wentylacji naturalnej.

Budynek został posadowiony na betonowej płycie fundamentowej, a pozostałe elementy konstrukcyjne wykonano w technologii drewnianej umożliwiającej częściową prefabrykację elementów. Dla zapewnienia masy termicznej regulującej komfort termiczny ściany wewnętrzne wyłożono terakotą. Budynek wyposażony jest w panel sterujący wszystkimi systemami, który wyświetla również aktualne dane o budynku, co pozwala mieszkańcom na czynny udział w oszczędzaniu energii [^{286,287}].

²⁸⁴ <https://www.construction21.org/france/case-studies/fr/maison-air-et-lumiere-velux-model-home-2020.html>, dostęp 06.06.2018.

²⁸⁵ <https://www.velux.fr/a-propos/habitat-durable/maison-air-et-lumiere>, dostęp 06.06.2018.

²⁸⁶ <https://www.velux.com/innovation/demo-buildings/maison-air-et-lumiere>, dostęp 06.06.2018.

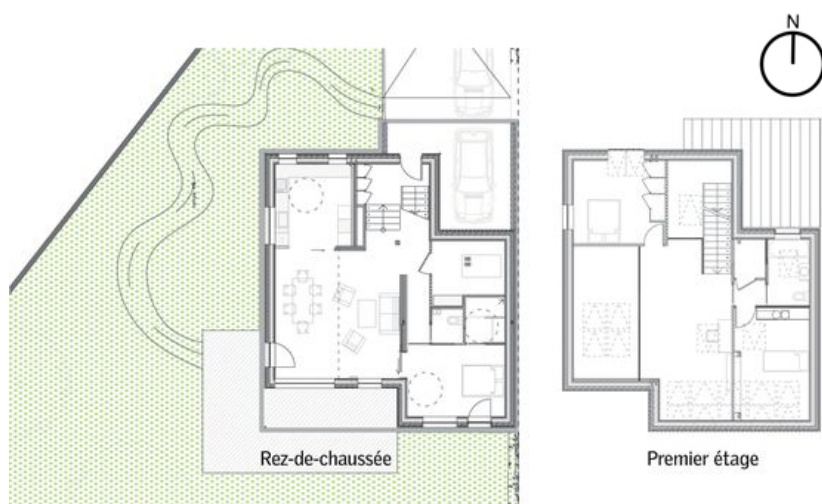
²⁸⁷ https://velcdn.azureedge.net/~media/com/case%20studdy/maison%20air%20et%20lumiere/124257-01_model_home_2020_maison_air_et_lumiere.pdf, dostęp 06.06.2018.



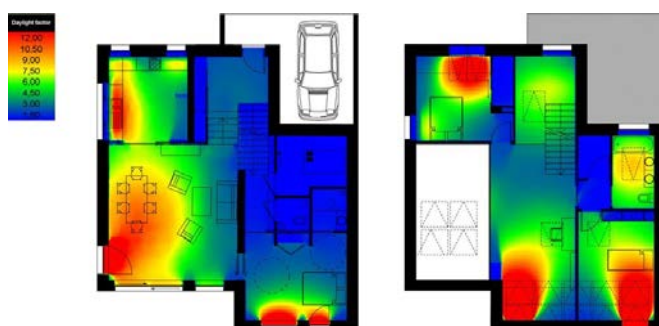
RYSUNEK 2.3.9, rys. 3.
Widok na poziomie antresoli.



RYSUNEK 2.3.9, rys. 4.
Widok na poziomie parteru. Nad strefą jadalni pustka powietrzna pozwalająca na swobodniejszy przepływ powietrza przez budynek przy stosowaniu wentylacji naturalnej.



RYSUNEK 2.3.9, rys. 5.
Rzuty kondygnacji.



RYSUNEK 2.3.9, rys. 6.
Analiza wskaźnika światła
dziennego dla parteru i pię-
tra.



RYSUNEK 2.3.9, rys. 7.
Schemat wentylacji natural-
nej oraz wykorzystania
energii słonecznej w sposób
pasywny i aktywny.



RYSUNEK 2.3.10, rys. 1. Widok od strony południowo-zachodniej.



RYSUNEK 2.3.10, rys. 2. Widok od strony północno-wschodniej.

2.3.10 Dom Optymalny (Grupa Synergia)

Budynek w zabudowie wolnostojącej o nazwie Dom Optymalny (RYSUNEK 2.3.10, rys. 5.) został zaprojektowany przez wrocławskie biuro Grupa Synergia (Anna Bać i Krzysztof Cebrat). Obiekt został wybudowany w roku 2012 w Bukowicach w okolicy Brzegu Dolnego. Dom spełnia wymogi certyfikacji Code for Sustainable Homes na poziomie 4. Optymalizacja projektu była realizowana we wszystkich jego fazach i pozwoliła spełnić zdecydowaną większość wymogów systemu certyfikacji oraz czteroosobowej rodziny. Wykonano symulacje energooszczędne i oświetlenia. Współczynnik zużycia energii przez budynek został określony na poziomie 25 kWh/m²/rok [²⁸⁸].

Podstawowym założeniem projektu było uzyskanie optymalnej przestrzeni dla rodziny oraz optymalizacja rozwiązań projektowych pod kątem zużycia energii. Dom projektowany był tak, by jego parametry były zbliżone do wymogów stawianych budynkom pasywnym z naciskiem na stosowanie prostych i ekonomicznych rozwiązań. Został podzielony na dwie wyraźne strefy: część wspólną z dachem jednospadowym, o orientacji fasady i połaci dachu w kierunku południowym, oraz część prywatną, dwukondygnacyjną, z dachem dwuspadowym (RYSUNEK 2.3.10, rys. 1–2.). Część prywatna zorientowana jest na osi północ-południe. Te dwa bloki rozdzielone są przez strefę wejściową.

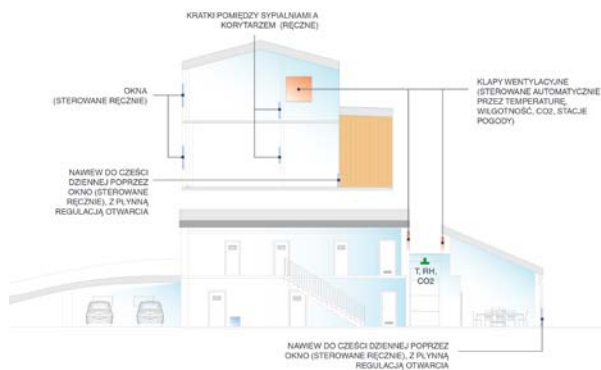
Analiza energetyczna budynku pozwoliła na dobór parametrów przegród zewnętrznych i optymalnego źródła ciepła dla zapewnienia minimalnego zapotrzebowania na energię, bez wygórowanych dodatkowych kosztów. Współczynnik przenikania ciepła został zaprojektowany na poziomie: $U = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ dla ścian, $U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ dla podłóg i dachu, a dla mostków termicznych uzyskany został współczynnik strat liniowych $\gamma = 0.04 \text{ W/mK}$. Szczelność budynku została osiągnięta na poziomie 4 m³/m²h przy ciśnieniu 50Pa. Jako źródło ogrzewania zaprojektowany został kocioł na biomasę i kolektory słoneczne. Zasobnik ciepła i kolektory zwymiarowane zostały tak, by od końca kwietnia do końca września kocioł mógł być całkowicie wyłączony, a podgrzewanie ciepłej wody użytkowej było oparte na kolektorach. Lokalizacja pomieszczeń technicznych została przemyślana dla zapewnienia krótkich tras instalacji, co redukuje straty energii na przesyle.

Dla budynku została dokonana analiza doświetlenia światłem dziennym (RYSUNEK 2.3.10, rys. 4.). Pod uwagę wzięto różne typy szklenia, osłony przeciwsłoneczne i wielkości otworów okiennych. Dla pomieszczeń mieszkalnych oraz komunikacji minimalna wartość wskaźnika światła dziennego (DF) wynosi 3%, dla strefy dziennej średni współczynnik światła dziennego wynosi przynajmniej 5%. Dla części dziennej jako optymalne rozwiązanie zaprojektowane zostały okna na długości $\frac{2}{3}$ ściany południowej oraz osłony przeciwsłoneczne w postaci pergoli z tkaninami o wysięgu większym niż 2 m, co okazało się rozwiązaniem bardziej opłacalnym i wydajnym niż ruchome żaluzje zewnętrzne.

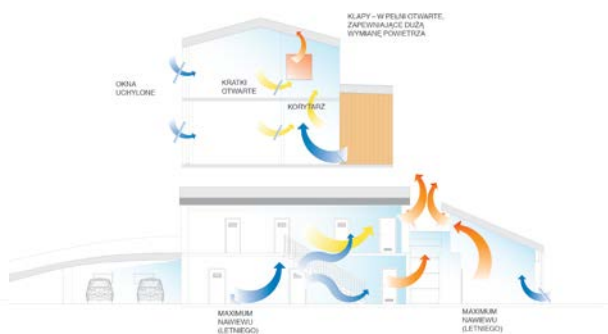
Podjęto również decyzję, że minimum wentylacji oraz chłodzenia zostanie osiągnięte przy użyciu wentylacji naturalnej (RYSUNEK 2.3.10, rys. 3). W tym celu zaprojektowano niewielkie okna w newralgicznych częściach domu, stanowiące jej komponenty. Nawiewy zostały zaprojektowane osobno dla części wspólnej i indywidualnych. W centralnych najwyższych punktach w obu częściach domu zaprojektowano okna z automatyką pozwalającą na regulację przepływu powietrza. Ich otwarcie zależne jest od parametrów takich jak temperatura wewnętrzna i zewnętrzna, poziom CO₂, poziom wilgotności oraz prędkość i kierunek wiatru. System jest w stanie kontrolować niezbędny dopływ świeżego powietrza, w zimie ograniczając straty ciepła, oraz reagować na zbyt wysoką temperaturę wnętrza i poziom wilgotności w okresie letnim. System

²⁸⁸ STEC W., BAĆ A., CEBRAT K.: *Zintegrowany proces projektowy w praktyce*. „Instal”, 2012, nr 1: s. 8-12.

PODZESPOŁY WENTYLACJI NATURALNEJ

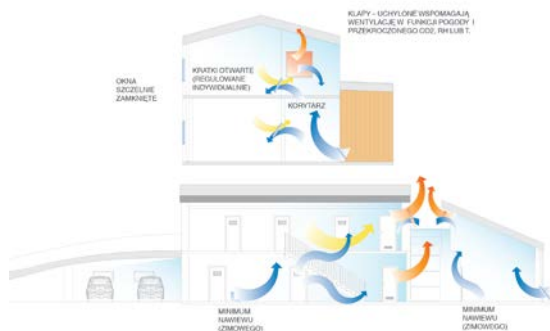


LATO (DZIEŃ/NOC)



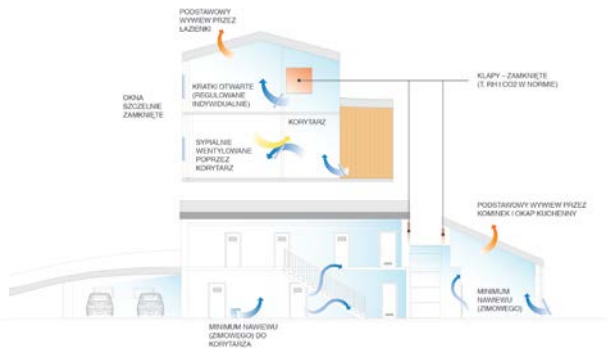
ZIMA (NOC/DZIEŃ)

- MAKSYMALNE FUNKCJE (DUŻO OSÓB, KUCHNIA DUŻO UŻYWANA, ITD)



ZIMA (NOC/DZIEŃ)

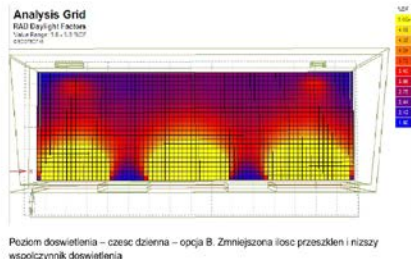
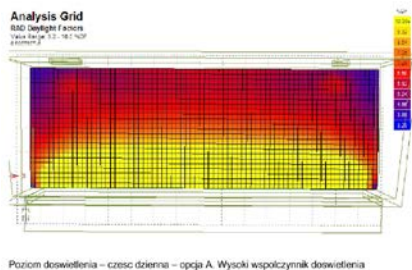
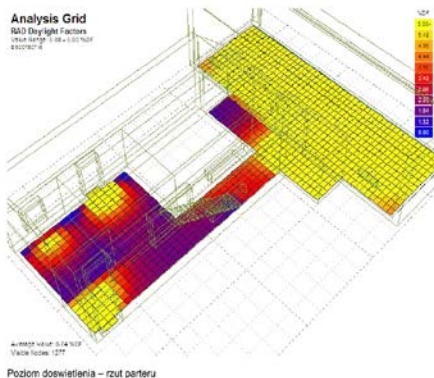
- MINIMALNE FUNKCJE (NIEWIELE OSÓB, KUCHNIA MAŁO UŻYWANA)



RYSUNEK 2.3.10, rys. 3. Schematy działania wentylacji naturalnej.

RYSUNEK 2.3.10, rys. 4.

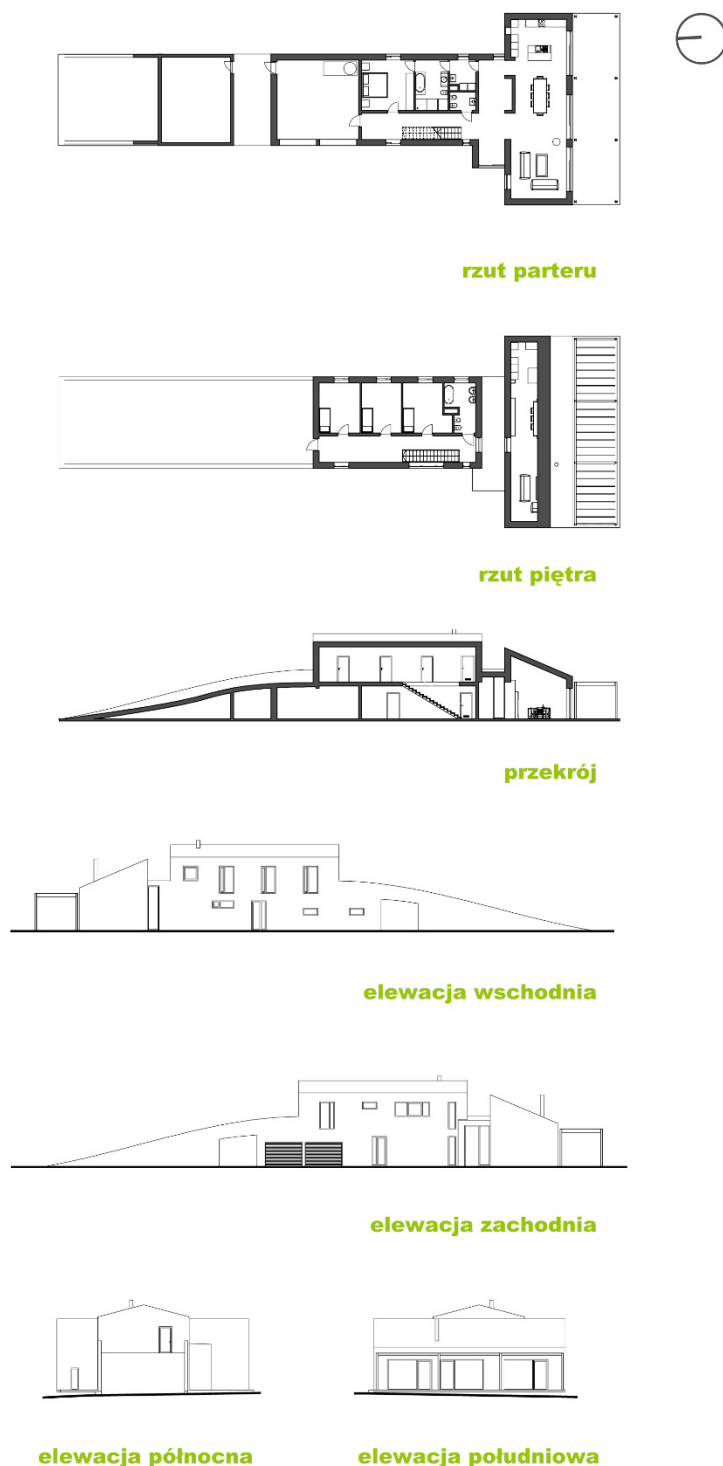
Symulacja poziomego doświetlenia dla całego parteru, oraz części dziennej w dwóch wariantach przeszklenia od południa.



ten pozwala kontrolować komfort wnętrza przy minimalnym udziale użytkowników [289]. W konsekwencji przeprowadzonych symulacji energetycznych budynek wyposażony został w części wspólnej w ciężki betonowy stropodach o większej masie termicznej, który okazał się lepszym rozwiązaniem niż lekka konstrukcja drewniana.

Jak wynika z relacji użytkowników, dom doskonale sprawdza się w użytkowaniu i spełnia ich wymagania.

RYSUNEK 2.3.10, rys. 5. Rysunki techniczne budynku. Rzuty, przekroje, elewacje.



²⁸⁹ Grupa Synergia, Plansze konkursowe oraz opis autorski projektu.



RYSUNEK 2.3.11, rys. 1. Widok na budynki po renowacji od strony zachodniej.

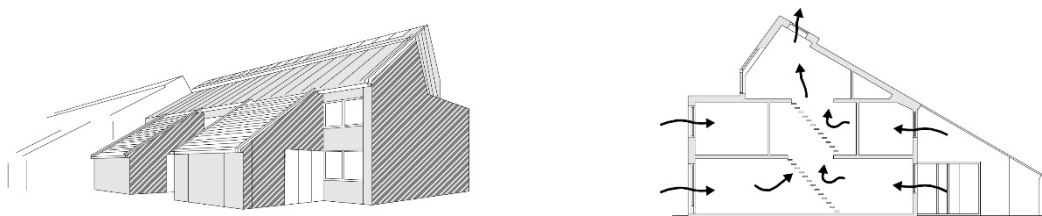


RYSUNEK 2.3.11, rys. 2. Widok na budynki po renowacji od strony wschodniej. W tle budynki, na których nie przeprowadzono modernizacji.

2.3.11 De Poorters van Montfoort (Bouwhulpgroep)

De Poorters van Montfoort to zrealizowany projekt modernizacji istniejących budynków zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej w układzie szeregowym. W wyniku powstałego w pracowni Bouwhulpgroep projektu w 2013 roku dokonano modernizacji 10 budynków do poziomu obiektów plusenergetycznych na osiedlu taniego budownictwa socjalnego w Montfoort w Holandii (RYSUNEK 2.3.11, rys. 4–6). Nieodpowiadające standardom XXI wieku budynki zostały przebudowane tak, by zapewnić mieszkańcom dobry dostęp do światła dziennego, poprawić komfort użytkowanej przestrzeni, obniżyć zapotrzebowanie budynków na energię oraz zapewnić dobrą jakość powietrza. Budynek został przekształcony tak, by zachować jak największą jego część przy bezwzględnej wymianie elementów mogących pogorszyć jego parametry pod względem izolacyjności cieplnej. W celu zwiększenia powierzchni użytkowej przeprojektowano nieużytkowe poddasze. Dzięki temu obiekty zyskały dodatkową kondygnację z zapewnionym dobrym doświetleniem światłem dziennym przez okna dachowe. W efekcie przemian powstały nowoczesne budynki o wysokim standardzie przestrzeni zarówno wewnętrznej, jak i zewnętrznej, które dzięki wykorzystanym rozwiązaniom produkują więcej energii, niż zużywają.

Budynki w dużym stopniu bazują na pasywnym wykorzystaniu insolacji jako źródła dobrego oświetlenia za dnia i energii cieplnej (RYSUNEK 2.3.11, rys. 1–2, 7–8). Wentylacja w okresie letnim w całości opiera się na rozwiązaniach biernych, co wykorzystywane jest do pasywnego chłodzenia w okresie letnim. Nowa powłoka zewnętrzna zapewniająca dobrą izolacyjność budynku została zaprojektowana ze szczególnym uwzględnieniem otworów okiennych pod kątem wentylacji naturalnej. Okna znajdujące się na poziomie każdej kondygnacji pozwalają na dobre przewietrzanie przy obustronnym ich otwarciu. W najwyższym punkcie dachu nad otwartą klatką schodową zlokalizowano okna dachowe, które wykorzystywane są do aeracji ^[290] (RYSUNEK 2.3.11, rys. 3). Dzięki otworzeniu okien na najniższej kondygnacji oraz okien dachowych wytworzony zostaje wzmożony przepływ powietrza przez budynek. Efekt ten może być zintensyfikowany poprzez wykorzystanie wiatru i otwieranie okien w zależności od jego kierunku ^[291,292].



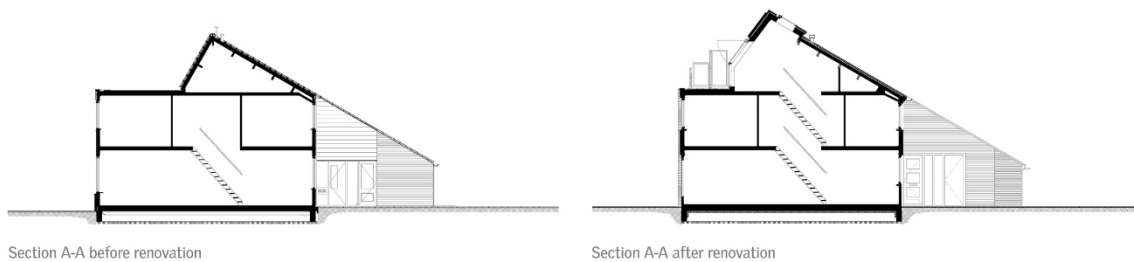
RYSUNEK 2.3.11, rys. 3. Widok oraz schemat wentylacji De Poorters van Montfoort. Opracowanie własne na podstawie materiałów udostępnionych przez Velux ^[293].

²⁹⁰ GACZOŁ T.: *Wentylacja naturalna systemu nawiewu – wybrane przykłady*, „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2007, z. 10, z. 4-A, 64-70.

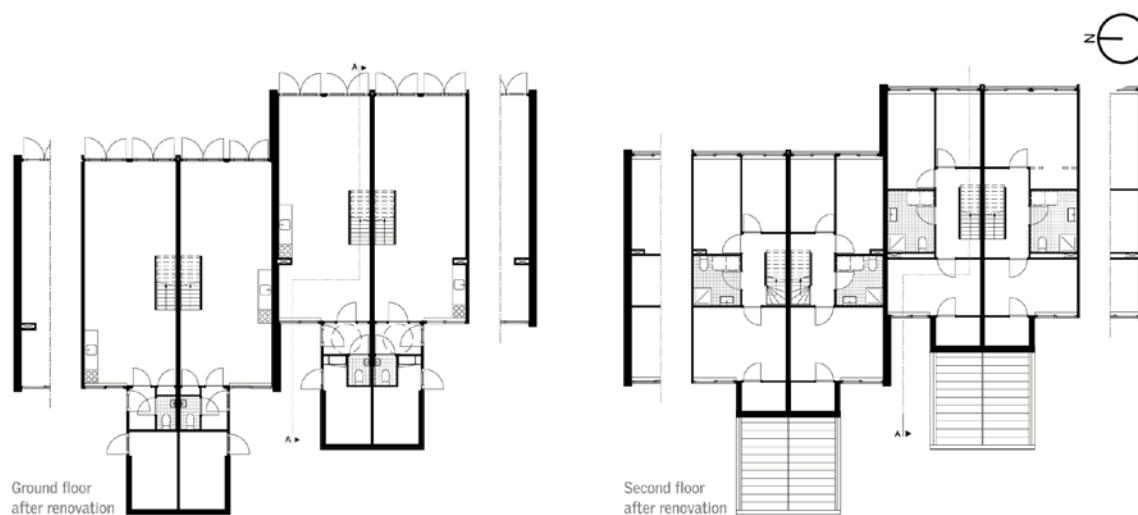
²⁹¹ De Poorters van Montfoort, <http://www.velux.com/SiteCollectionDocuments>, dostęp 18.09.2017.

²⁹² FERENCOWICZ J.: *Wentylacja i klimatyzacja*, Arkady, Warszawa, 1964.

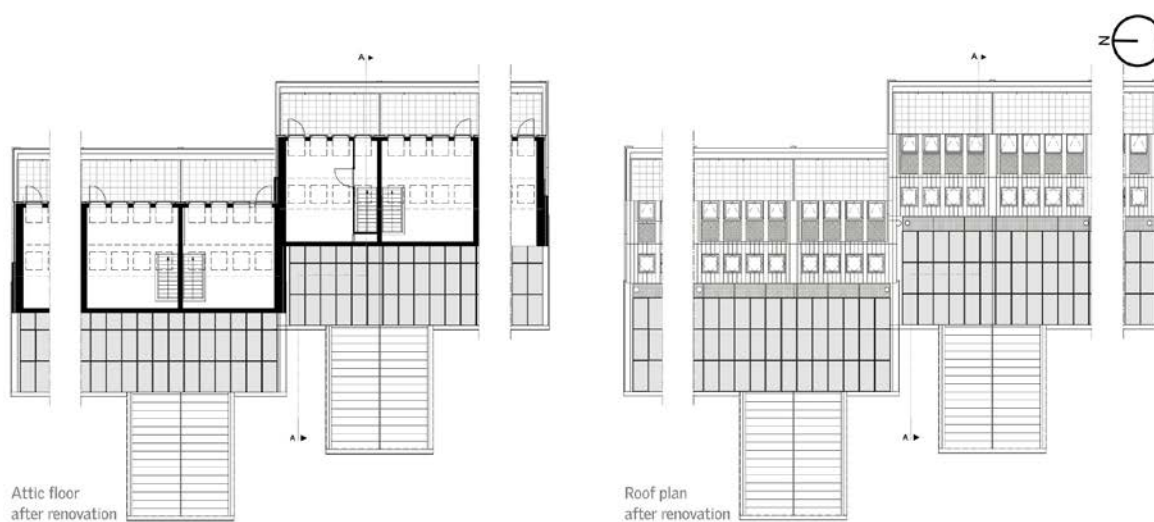
²⁹³ De Poorters van Montfoort, <http://www.velux.com/SiteCollectionDocuments>, dostęp 18.09.2017.



RYSUNEK 2.3.11, rys. 4. Przekrój przez budynek przed (po lewej) i po przebudowie (po prawej).



RYSUNEK 2.3.11, rys. 5. Rzut przyziemia przed (po lewej) i po przebudowie (po prawej).



RYSUNEK 2.4, rys. 6. Rzut pietra przed (po lewej) i po przebudowie (po prawej).



RYSUNEK 2.3.11, rys. 7. Wnętrze z widocznym doświetleniem przez okna na połaci wschodniej i zachodniej. Jasne kolory wykończenia pozwalają na osiągnięcie lepszego wskaźnika oświetlenia światłem dziennym.



RYSUNEK 2.3.11, rys. 8. Otwarta klatka schodowa z ażurowymi stopniami pozwala na swobodniejszy przepływ powietrza.

2.4 PODSUMOWANIE

Wśród wyodrębnionych pięciu grup zabudowy wykazanych we wprowadzeniu do rozdziału:

- budynki energooszczędne,
- budynki o prawie zerowej lub zerowej emisji CO₂,
- budynki net-zero,
- budynki pasywne (zgodne z wymaganiami instytutu w Darmstadt) lub zaprojektowane w standardzie budynku pasywnego,
- budynki zeroenergetyczne i samowystarczalne;

da się zauważyć cechy dominujące dla każdej z nich.

Na podstawie zaprezentowanych analiz można sprecyzować kilka zasad dotyczących kształtowania domów energooszczędnych, które zaprezentowano poniżej.

Procentowy udział zabudowy o różnym stopniu skomplikowania bryły jest stosunkowo podobny we wszystkich grupach, z wyjątkiem domów net-zero, gdzie większość ma bryłę zwartą, a procentowy udział obiektów o bryle rozbudowanej jest nieznacznie niższy niż w innych grupach.

Budynki podziemne występują jedynie w grupie budynków energooszczędnych. Ze względu jednak na niewielką liczbę tego typu przykładów trudno mówić o zasadzie.

Budynki o większym kontakcie z gruntem występują w trzech pierwszych kategoriach. Należy jednak wskazać, że to rozwiązanie wynikające głównie z warunków lokalnych, dużo rzadziej stosowane są nasypy całkowicie sztuczne. Ekstensywne dachy zielone występują stosunkowo często w budynkach samowystarczalnych, natomiast nie występują w budynkach pasywnych.

Wykorzystanie masy termicznej w budynkach najmniej widoczne jest również w budynkach pasywnych, natomiast w budynkach o zerowej lub prawie zerowej emisji CO₂ bardzo mały udział w akumulowaniu energii mają posadzki.

Redukcja strat ciepła przez okna skierowane w kierunku północnym zachodzi zazwyczaj w budynkach określonych jako net-zero, brak okien od tej strony procentowo najczęściej występuje w domach pasywnych. We wszystkich typach poza budynkami net-zero są również przypadki, gdzie od północy zaprojektowany został znaczny udział szklenia w elewacji – stanowią one 5–11% w poszczególnych kategoriach.

Zdecydowana większość budynków we wszystkich kategoriach nastawiona jest na zyski bezpośrednie od słońca. Największa grupa obiektów z przestrzenią buforową występuje w budynkach energooszczędnych.

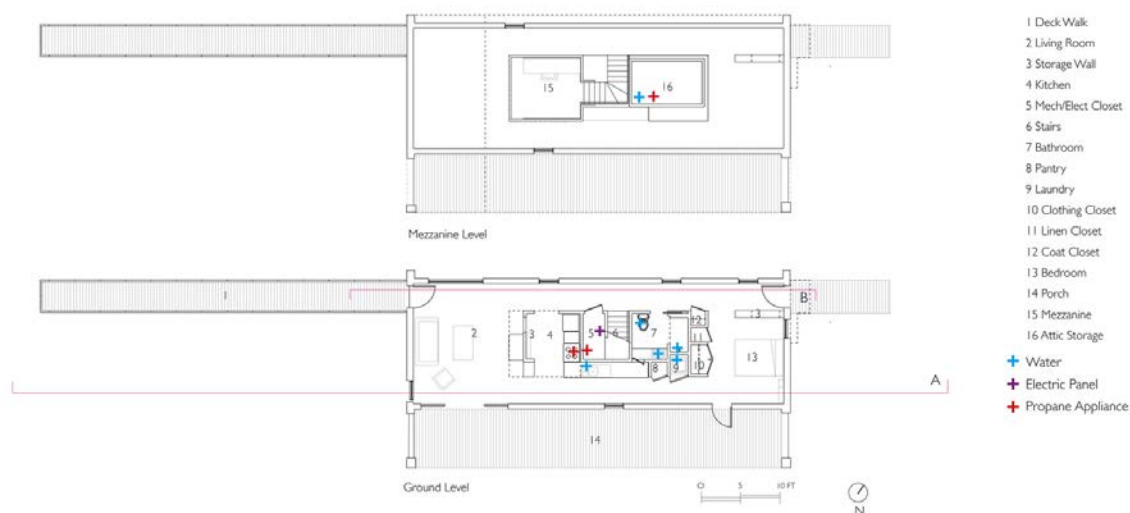
We wszystkich kategoriach orientacja budynku w kierunkach południowych stanowi ponad 63%, najliczniejszą grupę z takim ustawieniem budynku tworzą budynki pasywne.

Oslony przeciwsłoneczne występują głównie w budynkach pasywnych i net-zero, w tych kategoriach najczęściej stosowane są również osłony ruchome. Zaledwie nieco ponad połowa budynków energooszczędnych i o prawie zerowej lub zerowej emisji CO₂ posiada skuteczne osłony przeciwsłoneczne.

Rozwiązania, które potencjalnie pozwalają na skuteczniejszą i łatwiejszą wymianę powietrza w budynku dzięki wentylacji naturalnej, najrzadziej występują w budynkach pasywnych, gdzie stanowią około 30,76%. Najczęściej widoczne są w budynkach typu net-zero, gdzie sięgają 72,72%. W pozostałych typach dotyczą 36,36–41,67% przykładów.

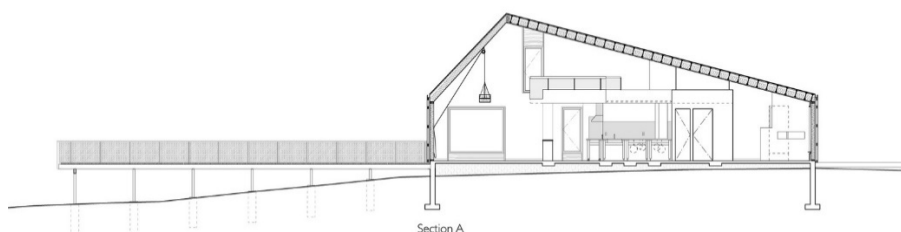
W zakresie występowania zestawu rozwiązań umożliwiających skuteczne chłodzenie budynku i jego ochronę przed nadmiernym oddziaływaniem energii słonecznej najlepiej wypadają budynki typu net-zero, gdzie zestaw taki występuje w 72,72% przypadków. W pozostałych typach o kompleksowej skutecznej ochronie przed przegrzewaniem możemy mówić w mniej niż 31% przykładów.

Wśród budynków zeroenergetycznych i samowystarczalnych największy udział mają elewacje prawie w całości w systemie fasadowym o znacznym udziale przeszkleń w powierzchniach ścian zewnętrznych. Przykłady takie stanowią 41,66%. W pozostałych typach nie przekraczają 22%.



RYSUNEK 3.2, rys. 1. Łazienka, przestrzeń techniczna i aneks kuchenny zlokalizowane w centralnej części budynku tworzą trzon, który nie przylega do ścian zewnętrznych.

Rzut kondygnacji i antresoli. House on Limekiln Line (Studio Moffitt).



RYSUNEK 3.2, rys. 2. Blok pomieszczeń w centralnej części rzutu odseparowany jest również od połaci dachu. Nad zgrupowaniem pomieszczeń urządzono antresolę.

Przekrój. House on Limekiln Line (Studio Moffitt)



RYSUNEK 3.2, rys. 3. Aranżacja wnętrza zdominowana jest przez rozrzeżbioną bryłę zawierającą wydzielone pomieszczenia.

House on Limekiln Line (Studio Moffitt).

RYSUNEK 3.2, rys. 4. Widok od strony południowej. Jednokondygnacyjna bryła nie zdradza nietypowego układu funkcjonalnego.

House on Limekiln Line (Studio Moffitt).

ROZDZIAŁ III – UDZIAŁ ROZWIĄZAŃ PASYWNYCH W KSZTAŁTOWANIU FORMY ARCHITEKTONICZNEJ

3.1 WPROWADZENIE

W niniejszym rozdziale opisany został wpływ rozwiązań pasywnych na architekturę. Zbadano 124 przykłady domów z różnych lokalizacji o zadanym klimacie. Zgodnie z przyjętą hipotezą badawczą wykazano, że badane budynki mają wiele cech wspólnych świadczących o występowaniu rozwiązań pasywnych, a ich powtarzalność pozwoliła na wskazanie zbioru cech dominujących, typowych dla architektury energooszczędnej.

Jako podstawowe materiały źródłowe do analiz porównawczych posłużyły zdjęcia obiektów oraz dostępne opisy autorskie i inne przeanalizowane pod kątem zagadnień opisanych w Rozdziale I. Na tej podstawie nakreślono konsekwencje architektoniczne zastosowywania rozwiązań pasywnych w zakresie zagadnień takich jak:

- układ funkcjonalny,
- zachowanie energii,
- zyski solarne,
- oświetlenie,
- wentylacja.

Nie wyodrębniono w klasyfikacji „ochrony przed przegrzewaniem” jako procesu związanego z wentylacją, zyskami solarnymi i zachowaniem energii. Chłodzenie oparte na wskazanych zagadnieniach stanowi o odmiennych konsekwencjach architektonicznych charakterystycznych dla każdego z nich. Często całościowa strategia ochrony przed przegrzaniem wnętrza budynku bazuje na więcej niż jednym ze wskazanych zagadnień.

3.2 UKŁAD FUNKCJONALNY

Kształtowanie układu funkcjonalnego z uwzględnieniem strefowania termicznego i świetlnego w analizowanych przykładach realizowane jest w bardzo różnorodny sposób. Wynika to z: założeń koncepcyjnych definiujących pewne ograniczenia, programu, powierzchni użytkowej oraz ilości kondygnacji. Na decyzje w zakresie kształtowania układu funkcjonalnego wpływają również walory lub wady lokalizacji.

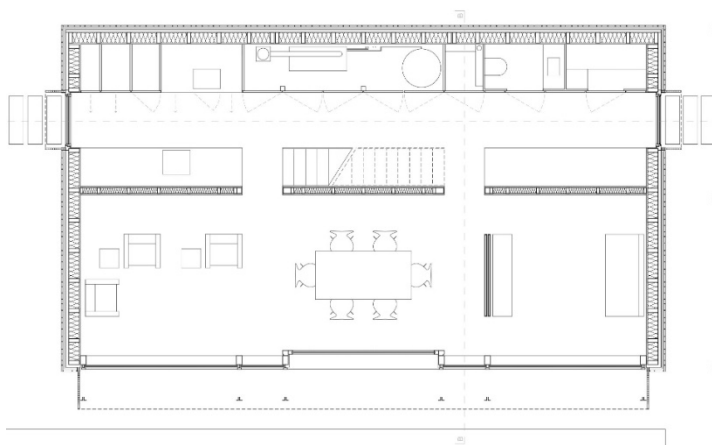
Wśród analizowanych przykładów powtarzały się dwa charakterystyczne, zdolne do opisanie w prosty sposób układy oparte na:

- lokalizacji pomieszczeń o wyższej temperaturze użytkowej wewnątrz rzutu,
- lokalizacji strefy dziennej od południa, a pomieszczeń technicznych, sanitarnych oraz komunikacji od północy, z wyraźnym układem traktowym.

Lokalizacja pomieszczeń o wyższej temperaturze użytkowej, takich jak łazienki i toalety, w centralnej części rzutu ogranicza bezpośrednie straty przez ściany zewnętrzne. Podejście takie widoczne jest w The Maintenance-Free House (Arkitema Architects) [²⁹⁴] i House on Limekiln Line (Studio Moffitt) [²⁹⁵] (RYSUNEK 3.2, rys. 1–4). W budynkach tych w bryle mogącej pomieścić pełną kondygnację i poddasze zaplanowano jednoprzestrzenne wnętrza. W środku

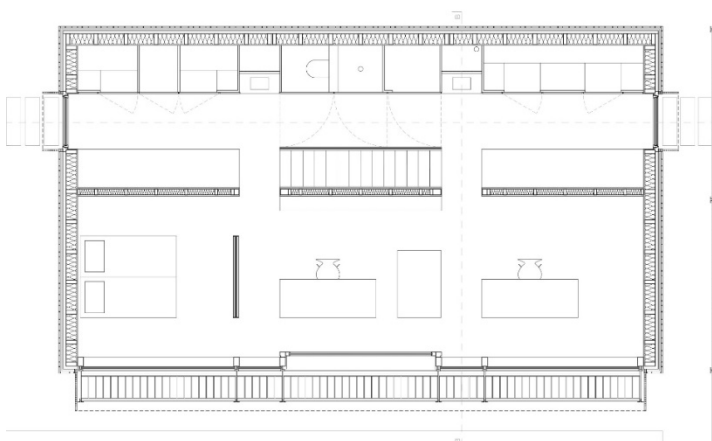
²⁹⁴ <https://www.archdaily.com/546550/the-maintenance-free-house-arkitema-architects>, dostęp 23.07.2018.

²⁹⁵ <https://www.archdaily.com/314277/house-on-limekiln-line-studio-moffitt>, dostęp 23.07.2018.



RYSUNEK 3.2, rys. 5. Charakterystyczny sposób rozplanowania przestrzeni z widocznym pasmowym układem pomieszczeń. Od strony południowej zlokalizowana została część dzienna, od północy pomieszczenia techniczne przechowywanie i pomieszczenia sanitarne. W wewnętrznej części rzutu zlokalizowana jest komunikacja i jednobiegowa klatka schodowa podkreślająca pasmowy układ parteru i piętra.

HAUS S. (SELBMANN ARCHITEKTUR)



RYSUNEK 3.2, rys. 6. Rzut piętra powtarza konsekwentnie zasadę kształtowania przestrzeni. Tożsamość układu kondygnacji podkreśla klatka chodowa łącząca kondygnacje i okna skierowane na wschód i zachód.

HAUS S. (SELBMANN ARCHITEKTUR)



RYSUNEK 3.2, rys. 7. Widok od strony wschodniej. Komunikacja podkreślona rozmieszczeniem okien objętych w ramę stałych osłon przeciwsłonecznych.

HAUS S. (SELBMANN ARCHITEKTUR)

zlokalizowano sekcję z łazienką i aneksem kuchennym oraz antresolą, w oddaleniu od ścian zewnętrznych oraz połaci dachu. Takie rozwiązanie zapewnia ciekawy i niekonwencjonalny układ wnętrza, charakteryzujący się otwartą przestrzenią. Pozbawia jednak pomieszczenia zgrupowane w części centralnej dostępu do bezpośredniego światła dziennego. Podobny układ zrealizowany został również w GRAN – Passive House Skatchkoff (HUB) [296]. W tym przypadku doświetlenie centralnie zlokalizowanych pomieszczeń zapewniają szklenia w dachu pilastym. W Seifert House (Bau Kultur) [297] doświetlenie zapewniono przez finezyjne świetliki.

W powyższych przypadkach zgrupowane pomieszczenia tworzą *trzon egzotermiczny*. W jego skład wchodzi pomieszczenia, w których utrzymywana jest wyższa temperatura użytkowa lub zlokalizowane są urządzenia będące źródłem ciepła odpadowego. Z pomieszczeń w trzonie ciepło jest oddawane bezpośrednio do otaczającej przestrzeni użytkowej. Takie rozwiązanie jest jednak powszechne w budynkach stanowiących zabudowę uzupełniającą, gdzie uwarunkowania wynikające z działki determinują dużo efektywniejsze wykorzystanie ścian, w których możliwa jest lokalizacja okien. Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi zlokalizowane są więc przy ścianach zewnętrznych, by czerpać jak najwięcej światła dziennego. Przestrzenie niewymagające bezwzględnie oświetlenia wycofane są do wnętrza.

Układ traktowy. Kolejnym charakterystycznym rozwiązaniem jest lokalizacja strefy dziennej i sypialni od południa, a pomieszczeń technicznych, sanitarnych oraz komunikacji od północy. Jest to układ, typowy dla obiektów w standardzie domu pasywnego lub wyróżniających się elewacją o charakterze solarnym z obszerną fasadą szklaną od południa. Układ taki podporządkowany jest przede wszystkim zyskom solarnym i oświetleniu i występuje w Passive House (Karawitz Architecture) [298], Haus S. (Selbmann architektur) [299] (RYSUNEK 3.2, rys 5–7) oraz House W (Wolfertstetter Architektur) [300]. Zwarty rzut ma widoczne podłużne trakty, co podkreśla jednobiegową klatkę schodową, równoległą do fasady.

3.3 ZACHOWANIE ENERGII W BUDYNKU

Wśród analizowanych przykładów głównymi zagadnieniami w istotny sposób wpływającymi na aspekt wizualny w budynku, ze względu na zachowanie energii, są:

- akumulacja energii,
- kształtowanie bryły.

Izolacja przegród zewnętrznych, mostki termiczne i szczelność jako cechy powłoki zewnętrznej budynku są niezwykle istotne ze względu na bilans energetyczny budynku, jednak przeważnie nie wpływają w sposób zasadniczy na jego wygląd. Rozwiązania potencjalnie świadczące o występowaniu mostków termicznych lub o jakości izolacji termicznej wraz ze wzrostem technologii budowlanych zaczynają tracić swoją semantykę. Głębokie wnęki okienne świadczące o grubej warstwie izolacji termicznej wraz ze wzrostem parametrów materiałów izolacyjnych zaczynają przypominać tradycyjne rozwiązania. Wystająca żelbetowa płyta balkonu wskazuje dziś raczej na zastosowanie odpowiednich łączników termicznych niż na brak odpowiedniej izolacji, o czym świadczyłaby jeszcze dwie dekady wcześniej. W związku z powyższym nie podjęto analizy konsekwencji architektonicznych w zakresie izolacji przegród, mostków termicznych i szczelności.

²⁹⁶ <https://www.archdaily.com/525736/gran-passive-house-skatchkoff-hub>, dostęp 23.07.2018.

²⁹⁷ <https://www.archdaily.com/1182/seifert-house-bau-kultur>, dostęp 23.07.2018.

²⁹⁸ <https://www.archdaily.com/84165/passive-house-karawitz-architecture>, dostęp 23.07.2018.

²⁹⁹ <https://divisare.com/projects/283466-selbmann-architektur-haus-s>, dostęp 23.07.2018.

³⁰⁰ <https://www.archdaily.com/780002/house-w-wolfertstetter-architektur>, dostęp 23.07.2018.



RYСУNEK 3.3.1, rys. 1. W prawej części kadru widoczna jest ażurowa ściana z betonu zaprojektowana jako masa termiczna o indywidualnym charakterze.

HSU House (EPIPHYTE Lab)



RYСУNEK 3.3.1, rys. 2. Ażurowa ściana z betonu zaprojektowana została w bliskiej odległości od witrzyn okiennych co pozwala na pozyskiwanie energii cieplnej z promieni słonecznych padających pod niewielkim kątem.

HSU House (EPIPHYTE Lab)



RYСУNEK 3.3.1, rys. 3. Odkryte elementy konstrukcyjne we wnętrzu takie jak beton i konstrukcja stropu z elementów małogabarytowych oraz masywne betonowe blaty tworzą charakter wnętrza.

Detached House in Uccle (L'Escaut Architectures)



RYСУNEK 3.3.1, rys. 4. Beton we wnętrzu może być wykończony w różny sposób co zapobiega monotonii. Na zdjęciu strop z surowego betonu, ściany z widocznym kruszywem kamiennym o nierównej fakturze oraz polerowany beton na podłodze.

Seifert House (Bau Kultur)

3.3.1 AKUMULACJA

Możliwość akumulacji energii cieplnej w budynku wśród analizowanych przykładów jest aspektem widocznym we wnętrzach w 45,96% przykładów. Stopień ekspozycji masy termicznej jest bardzo różnorodny. Wyróżnić można następujące sposoby jej wykorzystania w kontekście wykończenia wnętrza:

- ekspozycja masywnych elementów konstrukcyjnych jako motyw przewodni,
- ekspozycja masy termicznej jako wykończenia powierzchni pojedynczych elementów,
- niewidoczne rozwiązania techniczne.

Ekspozycja masywnych elementów konstrukcyjnych jako motyw przewodni. Wśród przykładów na szczególną uwagę zasługuje HSU House (EPIPHYTE Lab) [³⁰¹] (RYSUNEK 3.3.1, rys 1–2), w którym jako masę termiczną zastosowano specjalnie do tego zaprojektowaną ścianę z żelbetu. Wyeksponowana na działanie promieniowania słonecznego przegroda otrzymała rzeźbiarską ażurową formę. Tak zaprojektowana ściana zyskała dodatkową wartość wizualną, stając się dominantą we wnętrzu. Ażurowa forma zwiększyła również jej powierzchnię, podnosi wydajność akumulacji energii cieplnej. Dzięki utworzeniu ażuru możliwe jest również skuteczniejsze usuwanie ciepła za pomocą przepływającego przez strukturę powietrza. Ściana ma ekspozycję wschodnią i umieszczona jest stosunkowo blisko witryny okiennej, dzięki czemu może pozyskiwać energię z promieni słonecznych padających pod małym kątem. To rozwiązanie pozyskujące energię w sposób bezpośredni jest wydajniejsze niż te, na które nie pada bezpośrednio promieniowanie słoneczne.

Dużo popularniejszym rozwiązaniem jest ekspozycja prawie całej konstrukcji budynku. Poza aspektem związanym z akumulacją ciepła przez masywne elementy budynku projektanci wskazują często na aspekt ekonomiczny. W Detached House in Uccle (L'Escaut Architectures) [³⁰²] (RYSUNEK 3.3.1, rys 3) jedną z przyczyn związanych z ekspozycją zarówno elementów konstrukcji monolitycznych, jak schody, czy elementów mało gabarytowych, jak elementy stropu, jest dążenie do obniżenia nakładu finansowego. Brak wykończenia powierzchni i pozostawienie ich niezasłoniętymi obniża koszty budowy oraz stanowi o różnorodnym i oryginalnym wykończeniu. W przypadku Seifert House (Bau Kultur) [³⁰³] (RYSUNEK 3.3.1, rys. 4) zgodnie z opisem autorów jednym z życzeń klientki było, by dom był bezpieczny pożarowo, gdyż jej poprzedni dom spłonął. Powstały budynek ma monolityczną, praktycznie w całości żelbetową konstrukcję. Podłoga to polerowany gładki beton. Ściany, masywne słupy i strop w części okalającej wydzielone trzony wykonane są z chropowato wykończonego betonu z widocznym kruszywem i porami. Wyodrębnione przestrzenie trzonów wykończone są jasnym tynkiem lub żywicą. Masywne elementy konstrukcji uzupełnione są szklanymi ścianami i drzwiami. We wnętrzu widoczne jest konsekwentne stosowanie ekspozycji konstrukcji jako wykończenia.

W House M (Peter Ruge Architekten) [³⁰⁴] (RYSUNEK 3.3.1, rys. 5–6) odnaleźć można podobną zasadę. Elementy wylewanej konstrukcji pozostawione są bez wykończenia. Gładkie ściany konstrukcyjne oraz stropy noszą widoczne ślady płyt szalunkowych. Surowość konstrukcji zestawiona jest tu z białymi tynkowanymi ścianami działowymi oraz drewnianą podłogą.

Leeuw House (NU architectuuratelier) [³⁰⁵] wykonany jest w dość nietypowej jak na budynki jednorodzinne technologii szkieletu stalowego ze stropami przemysłowymi wylewanymi na blasze

³⁰¹ <https://www.archdaily.com/114386/hsu-house-epiphyte-lab>, dostęp 10.07.2018.

³⁰² <https://www.archdaily.com/291721/detached-house-in-uccle-lescaut-architectures>, dostęp 10.07.2018.

³⁰³ <https://www.archdaily.com/1182/seifert-house-bau-kultur>, dostęp 10.07.2018.

³⁰⁴ <https://www.archdaily.com/780354/house-m-peter-ruge-architekten>, dostęp 10.07.2018.

³⁰⁵ <https://www.archdaily.com/539032/leeuw-house-nu-architectuuratelier>, dostęp 10.07.2018.



RYSUNEK 3.3.1, rys. 5-6. Konstrukcja z betonu pozostaje odkryta eksponując, w budynku podkreślone jest w ten sposób, które elementy pełnią funkcję konstrukcyjną. Ściany działowe wykonane w innej technologii zostały otynkowane co podkreśla ich materiałową odmienność i pełnioną funkcję.

House M (Peter Ruge Architekten)



RYSUNEK 3.3.1, rys. 7. Posadzka we wnętrzu wykonana z jasnego lastryko jest główną widoczną masą termiczną.

DC2 Residence (Vincent Van Duysen Architects)

RYSUNEK 3.3.1, rys. 8. Posadzki z ciemnego polerowanego betonu wykorzystana również jako wykończenie tarasu łączy wnętrze i zewnątrz.

Fethard Residence (Aughey O'Flaherty Architects)

trapezowej. Architekci eksponują zarówno konstrukcję stalową, jak i masywne betonowe stropy przechodzące na parterze w blat kuchenny. Ściany osłonowe odsunięte są na zewnątrz konstrukcji, co pozwala na pełną jej ekspozycję. To rozwiązanie budowlane częściej spotyka się w budownictwie przemysłowym niż w mieszkalnym. W opisywanym budynku instalacja elektryczna prowadzona jest często w sposób widoczny na słupach stalowych, dopełniając industrialnego charakteru wnętrza.

Ekspozycja masy termicznej jako wykończenia powierzchni pojedynczych elementów. Najpopularniejszym rozwiązaniem widocznym w przeanalizowanych przykładach jest stosowanie jako eksponowanej masy termicznej wyłącznie posadzek ze szlifowanego betonu lub betonu wykończonego żywicą^[306]. Dominują gładkie, jasne powierzchnie w kolorach białym i odcieniach szarości. Materiały o bardziej wyraźnej strukturze, jak lastryko z widocznym kruszywem w innym kolorze, występują również w odcieniach jasnych, jak w DC2 Residence (Vincent Van Duysen Architects)^[307] (RYSUNEK 3.3.1, rys. 7), gdzie zastosowano je również do wykonania blatów kuchennych, umywalk i zabudów w łazienkach. Ciemne, efektywniej pochłaniające bezpośrednie promieniowanie słoneczne wykończenie masy termicznej istnieje w Fethard Residence (Aughey O’Flaherty Architects)^[308] (RYSUNEK 3.3.1, rys. 8) i stanowi wyjątek na tle innych rozwiązań. Przez projektantów wielokrotnie podkreślany jest fakt, że w budynkach o konstrukcji szkieletowej z drewna wykorzystana została właśnie posadzka na parterze o funkcji masy termicznej. W posadzkach często stosowana jest wraz z ogrzewaniem podłogowym, a jej największą zaletą względem innych rozwiązań jest najłatwiejsze wystawienie materiału na bezpośrednie oddziaływanie promieni słonecznych, co zwiększa efektywność pochłaniania energii.

Dość popularnym rozwiązaniem okazuje się również stosowanie odkrytej konstrukcji stropu, jak w Passive House with Textile Skin (BLAF Architecten)^[309], gdzie widoczne są również masywne podciągi. W Slip House (Carl Turner Architects) zastosowano natomiast strop prefabrykowany, którego łączenia podkreślone są białymi taśmami, prawdopodobnie stanowiącymi stopkę belki stalowej.

W Domu Optymalnym (Grupa Synergia)^[310] w części dziennej zastosowano posadzkę ze szlifowanego betonu i korespondujący z nią odkryty masywny żelbetowy strop dachu pulpitowego. Decyzja o takim rozwiązaniu podparta została wnikliwymi analizami prowadzonymi na wszystkich etapach projektu.

O wiele rzadziej eksponowane są pojedyncze ściany. W CO₂ Saver House (Piotr Kuczia) (RYSUNEK 3.3.1, rys. 9) zaprojektowana jest ściana z gliny, która pozyskuje bezpośrednio energię z zachodniego słońca. Wpływa również na regulację wilgotności w pomieszczeniu. Ściana o naturalnej fakturze stanowi akcent wśród białych gładkich ścian we wnętrzu. W Brick House (LETH & GORI)^[311] (RYSUNEK 3.3.1, rys. 10) wyeksponowana została natomiast faktura bloczków ceramicznych na ścianach działowych. Ekspozycja masy termicznej innej niż beton jest jednak rzadkością i stanowi raczej wyjątek.

Ukryte rozwiązania techniczne. W większości przypadków masywna konstrukcja budynku nie jest eksponowana. Ściany wykonane z tradycyjnych materiałów budowlanych, jak bloczki

³⁰⁶ Żywice stanowią cienką warstwę wykończeniową pogarszającą w nieznaczny sposób akumulacyjność betonu. Mają kilkukrotnie gorszą przewodność oraz prawie dwa razy mniejszą gęstość przy nieznacznie większym cieple właściwym. Stosowane są jednak w grubości 2–3 mm, co stanowi cienką warstwę, a ich lokalizacja na posadzce wystawionej na bezpośrednie oddziaływanie promieniowania słonecznego podwyższa skuteczność akumulacji.

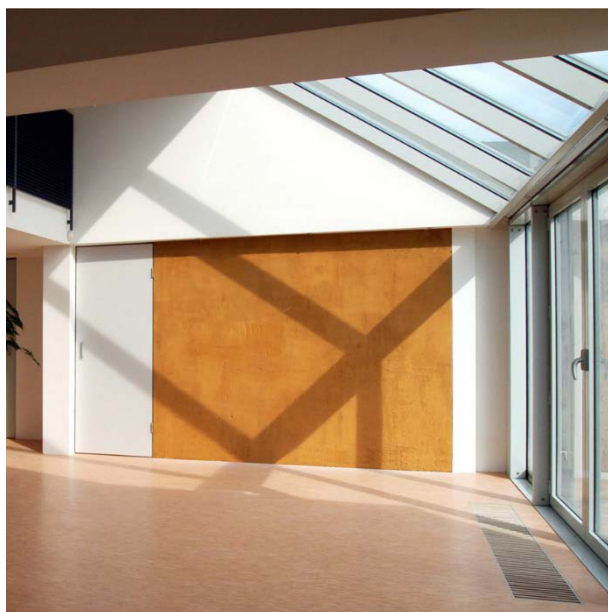
³⁰⁷ <https://www.archdaily.com/418866/dc2-residence-vincent-van-duysen-architects>, dostęp 10.07.2018.

³⁰⁸ <https://www.archdaily.com/392838/fethard-residence-aughey-o-flaherty-architects>, dostęp 10.07.2018.

³⁰⁹ <https://www.archdaily.com/674/co2-saver-house-peter-kuczia>, dostęp 10.07.2018.

³¹⁰ <http://grupasynergia.eu/portfolio/dom-niskoenergetyczny-bukowice/>, dostęp 10.07.2018.

³¹¹ <https://www.archdaily.com/516624/brick-house-leth-and-gori>, dostęp 10.07.2018.



RYSUNEK 3.3.1, rys. 9. Ściana z gliny tworzy akcent kolorystyczny we wnętrzu niczym płótno malarstwa współczesnego. Stanowi masę akumulacyjną oraz reguluje wilgotność w pomieszczeniu.

CO2 Saver House / Peter Kuczia



RYSUNEK 3.3.1, rys. 10. Wyjątkowymi rozwiązaniami są odkryte materiały takie jak bloczki ceramiczne. Originalna faktura materiału w postaci rytmicznych pionowych pasów tworzy dodatkowy atut.

Brick House / LETH & GORI



RYSUNEK 3.3.1, rys. 11. Ściana wypełniona pojemnikami z wodą podczas budowy.

Upcycle House / Lendager Arkitekter



RYSUNEK 3.3.1, rys. 12. Ściana wypełniona pojemnikami z wodą po ukończeniu. Przez delikatnie transparentną powłokę ściany prześwitują zbiorniki w jej wnętrzu.

Upcycle House / Lendager Arkitekter

betonowe czy ceramika budowlana, na etapie wykończenia zostają otynkowane. Oryginalna struktura materiału konstrukcyjnego ściany jest utracona. W ten sposób masa termiczna zostaje ukryta pod warstwą tynku, który bez odpowiedniej modyfikacji ma często gorsze możliwości akumulacyjne niż rdzeń ściany. Rozwiązaniem może być zastosowanie tynku cementowego. Wykorzystanie materiałów wykończeniowych modyfikowanych za pomocą PCM to obecnie rozwiązanie najefektywniejsze. Stanowi zarazem rozwiązanie niewidoczne. W porównaniu do tradycyjnych rozwiązań materiałowych cechuje się dużo większą efektywnością, pozwalającą na skuteczniejsze gromadzenie energii cieplnej. Jest to rozwiązanie z utajoną masą termiczną, gdzie świadomie zaprojektowana funkcja akumulacji w materiale nie jest widoczna i nie da się jej odczytać bez wiedzy o zastosowanych materiałach.

Wśród przykładów z utajoną masą termiczną warto zwrócić uwagę na Upcycle House (Lendager Arkitekter) [³¹²] (RYSUNEK 3.3.1, rys. 11–12), gdzie jedna ze ścian w centralnej części budynku została wykonana w mało powszechnej technologii. Ścianę w szkielecie drewnianym wypełniono zbiornikami z wodą, która ma znacznie wyższe ciepło właściwe niż beton czy ceramika. Woda jako płyn ma również większą możliwość akumulacji ze względu na występowanie konwekcji. Płynty w przeciwieństwie do ciał stałych nie tracą efektywności w akumulacji w przypadku stosowania rozwiązań o większej grubości. Powierzchnia ściany w Upcycle House została wykończona cienkim, delikatnie transparentnym białym materiałem, na którym podziały wykonano z białych listew. Rozwiązanie to pozwala na uzyskanie ciekawego efektu wizualnego w nocy. W przypadku zastosowania obustronnie materiału umożliwiającego delikatne przenikanie światła ściana staje się na całej powierzchni świetlikiem. Gdy światło zapalone jest po jednej ze stron, druga oświetlona jest w sposób pośredni.

3.3.2 KSZTAŁTOWANIE BRYŁY

Energooszczędność bryły budynku pojmowana jest głównie przez jej zwartość, a co za tym idzie, dążenie do uzyskania dobrego współczynnika kształtu. Kształtowanie energooszczędnej bryły po części ogranicza dążenie do znacznego uproszczenia. Różne bryły budynku o tożsamy parametrach, takich jak powierzchnia użytkowa, izolacyjność przegród zewnętrznych oraz powierzchnia i orientacja okien, wykazują różnice w zapotrzebowaniu na energię sięgające do 25% [³¹³].

Budynki o zwartej bryle stanowią 41,93% analizowanych przykładów. Można je opisać za pomocą pojedynczej, podstawowej bryły geometrycznej. Wśród nich znajdują się jednak przykłady o znacznie wydłużonych proporcjach, o bokach w proporcji większej niż 1:2. Nie jest również zasadą orientacja dłuższą elewacją w kierunkach południowych. Wśród przykładów występują również budynki, które można opisać jako bryła zwarta, lecz niedająca opisać się podstawową bryłą geometryczną. To budynki o formie prostopadłościanu, np. z dachem pilastym. Pozostałe budynki stanowią formy dużo bardziej skomplikowane, rozczłonkowane, o dużej powierzchni przegród zewnętrznych względem kubatury.

Czynnik ten jest istotny ze względu na niższe straty ciepła przez przegrody przylegające do masy termicznej, jaką jest ziemia. Budynki podziemne mogą zużywać znacznie mniej energii niż budownictwo tradycyjne. W przypadku budynków w Wielkiej Brytanii różnica ta wynosi około 25% [³¹⁴].

³¹² <https://www.archdaily.com/458245/upcycle-house-lendager-arkitekter>, dostęp 10.07.2018.

³¹³ KACZMARZYK M.: *Wpływ współczynnika kształtu A/V na wielkość strat ciepła w budynku w świetle rosnących wymogów dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z.64, nr 2/II: s. 45-54.

³¹⁴ KAMIENIARZ M.: *Dom podziemny – powrót do przeszłości w budownictwie ekologicznym*. „Izolacje”, 2009, R. 14, nr 7-8(138): s. 72-74.



RYSUNEK 3.3.2, rys. 1. Widok od strony południowo zachodniej. Obszerna fasada w części dziennej powoduje, że w tej części budynku nie odczuwa się przytłoczenia. Pozostałe pomieszczenia wyposażone są w znacznie mniejsze okna lub świetliki.
Dutch Mountain (denieuwegeneratie)



RYSUNEK 3.3.2, rys. 2. Widok od strony wschodniej. Budynek usytuowany został w zboczu. By zapewnić jak najmniejszą ingerencję w krajobraz został w całości zagłębiony w ziemi. Fasada stanowi wrażenie muru oporowego wokół tarasu zlokalizowanego w zagłębieniu zbocza.

Villa Vals (SeARCH + CMA)

Pozostałe rozwiązania zakwalifikowane zostały do:

- budynków zlokalizowanych pod ziemią,
- budynków częściowo zagłębionych,
- budynków z zielonymi dachami,
- budynków z nadwieszeniem i wyniesionych.

Budynki z zielonymi dachami formalnie nie są budynkami o innej charakterystyce kontaktu z gruntem niż tradycyjne budownictwo. Ich przykrycie cienką warstwą ziemi, której grubość jest przeważnie nie do określenia na skutek obserwacji, sprawia, że pod względem postrzegania zostały uwzględnione w powyższej klasyfikacji.

Budynki zlokalizowane pod ziemią. Lokalizowanie budynku pod ziemią sprawia, że dla większości przegród zewnętrznych zmniejszony jest przepływ energii w kierunku zewnętrznym w okresie grzewczym. Następuje więc redukcja utraty ciepła. W okresie letnim również utrzymany jest przepływ energii na zewnątrz, co jednak przy upałach może stanowić atut, ponieważ budynek łatwiej jest wychłodzić. Zaletą znacznego zagłębienia budynku w ziemi jest więc otoczenie go środowiskiem o znacznie korzystniejszych warunkach termicznych w okresie letnim i zimowym.

Dutch Mountain (denieuwegeneratie) [³¹⁵] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 1) jest budynkiem zlokalizowanym w lesie liściastym. Wzniesienie, w którym został ukryty, sztucznie usypano. Poza izolacją i masą termiczną pozwala to na ukrycie budynku i redukcję jego wpływu na krajobraz. Od strony północnej budynek jest praktycznie niewidoczny. Zbocze rozdarto jedynie podkreśloną strefą wejściową i wjazdem do garażu. Wykończenie ścianek oporowych ze skorodowanych płyt stalowych współgra z otoczeniem. Od strony południowej obszerna szklana fasada zawijająca się na ścianę zachodnią nastawiona jest na pasywne zyski solarne. Budynek ma stosunkowo głęboki trakt. Pomieszczenia zlokalizowane w północnej części budynku doświetlono praktycznie wyłącznie świetlikami. Wnętrza są jednak przestronne i pełne światła.

Villa Vals (SeARCH + CMA) [³¹⁶] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 2) to budynek zagłębiony w zboczu góry. Nie ma praktycznie elementów wzniesionych ponad teren poza specjalnym ogrodzeniem chroniącym przed upadkiem z wysokości. Budynek wykorzystuje jedną ze ścian oporowych zagłębienia w zboczu jako jedyną fasadę. Samo zagłębienie stanowi natomiast patio przed budynkiem. Zagłębienie w ziemi zapewnia budynkowi lepszą ochronę termiczną, ale sprawia również, że staje się prawie neutralny dla krajobrazu. Jedyna elewacja budynku skierowana jest na wschód, co związane jest z wykorzystaniem naturalnego spadku terenu. Dzięki bardzo płytkiemu traktowi budynek sprawia wrażenie doświetlonego.

Oba przykłady poprzez przykrycie ziemią obchodzą ograniczenia związane z lokalizacją inwazyjnej bryły w chronionym krajobrazie (RYSUNEK 3.3.2, rys. 5).

³¹⁵ <https://www.archdaily.com/213884/dutch-mountain-denieuwegeneratie>, dostęp 12.07.2018.

³¹⁶ <https://www.archdaily.com/43187/villa-vals-search-cma>, dostęp 12.07.2018.



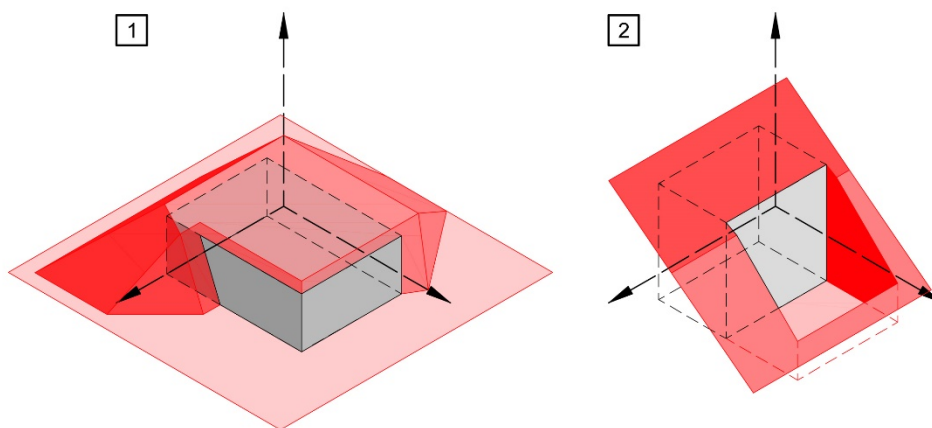
RYСУNEK 3.3.2, rys. 3. Widok od strony południowej. Przed oknami na najniższej kondygnacji znajduje się obniżenie terenu umożliwiające lepsze doświetlenie wnętrza pomieszczeń.

Zero Energy House Lokeren (BLAF Architecten)



RYСУNEK 3.3.2, rys. 4. Widok od strony południowej. Na najniższej kondygnacji od strony południowej znajduje się pomieszczenie zabaw dla dzieci. Okna we wnętrzu znajdują się stosunkowo wysoka. Od zewnątrz obniżony został teren co zwiększa ilość światła docierającego do wnętrza.

Counterpoint House
(Paul Raff Studio Architects)



RYSUNEK 3.3.2, rys. 5. Typy przykrycia ziemi w zależności od uwarunkowań lokalnych:

1. – przysypanie budynku na działce płaskiej.

2. – wkopanie budynku na działce zlokalizowanej na stoku.

Przedstawione schematy nie są pełną typologią budynków podziemnych. Stanowią jedynie przedstawienie rozwiązań, które wystąpiły wśród badanych obiektów.

Opracowanie własne.

Budynki częściowo zagłębione. Najczęściej zagłębienie obejmuje jedną kondygnację lub jej część. To domena budynków na działkach o dużym spadku terenu lub działek miejskich.

W przypadkach budynków zlokalizowanych na płaskim terenie (RYSUNEK 3.3.2, rys. 8, pkt 2), jak Seifert House (Bau Kultur), usytuowane całkowicie poniżej poziomu terenu kondygnacje stanowią raczej pomieszczenia techniczne i składowe. Są one praktycznie pozbawione okien ze względu na ich funkcję. Rzadziej kondygnacje mieszkalne są częściowo usytuowane w ziemi. W przypadku budynków Zero Energy House Lokeren (BLAF Architecten) ^[317] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 3) i Counterpoint House (Paul Raff Studio Architects) ^[318] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 4) kondygnacje mieszkalne zagłębione są do pewnej wysokości, jednak przed samymi oknami wykonane zostało obniżenie terenu umożliwiające lepszy dostęp światła oraz szerszy kontakt wizualny z otoczeniem. W części kondygnacji o większym zagłębieniu i mniejszym dostępie światła zlokalizowano pomieszczenia pomocnicze. Decyzja o jedynie częściowym usytuowaniu kondygnacji w gruncie może być podyktowana koniecznością zachowania wymaganej, przez władze lokalne lub prawo, wysokości budynku.

W kilku przypadkach budynki na działkach w spadku stają się łącznikami pomiędzy różnicami terenu (RYSUNEK 3.3.2, rys. 8, pkt 1). Sposób rozplanowania funkcji jest dość różnorodny, jednak można wyróżnić dwa schematy. Pierwszy to wykorzystanie niższej kondygnacji prawie w całości jako kondygnacji mieszkalnej, gdy przylega do atrakcyjnego terenu. Wartość może stanowić wówczas widok lub funkcja użytkowa terenu. Drugie, odmienne podejście to lokalizacja na niższej kondygnacji w większości pomieszczeń technicznych. Kondygnacje zagłębione częściowo w spadku terenu wykorzystywane są również do zlokalizowania wejścia i miejsc postojowych na poziomie podjazdu, gdy część mieszkalna znajduje się powyżej. Z wyższej kondygnacji zapewnione jest przeważnie wyjście bezpośrednio na teren na górze wzniesienia. Rozwiązanie

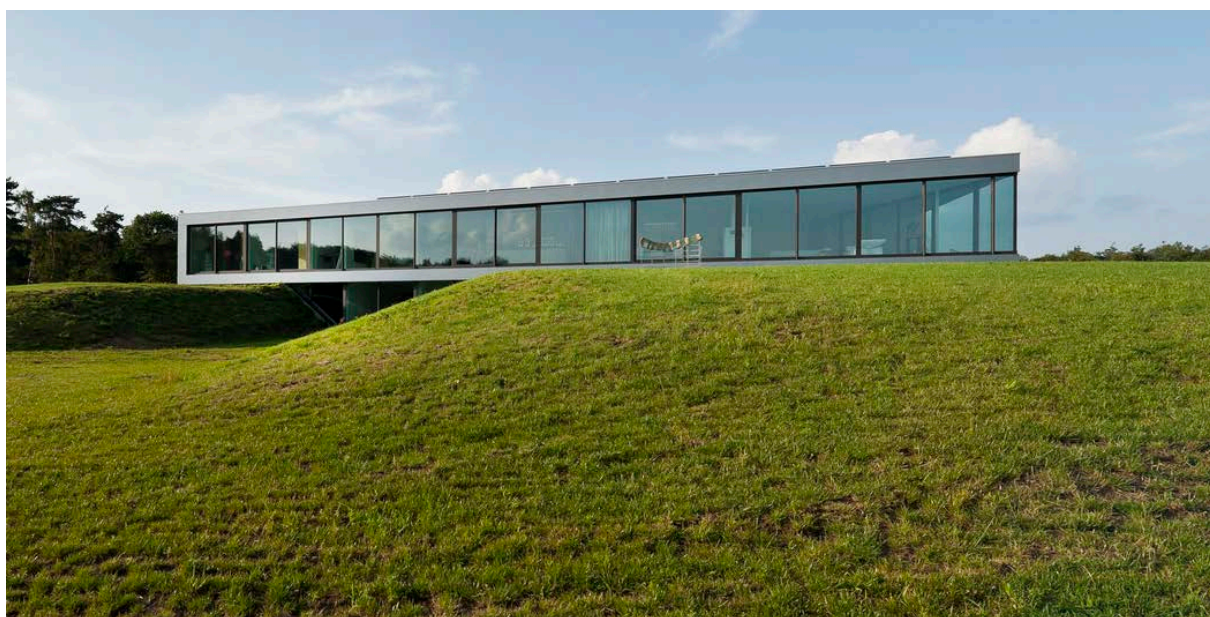
³¹⁷ <https://www.archdaily.com/423857/zero-energy-house-lokeren-blaf-architecten>, dostęp 18.07.2018.

³¹⁸ <https://www.archdaily.com/620758/counterpoint-house-paul-raff-studio-architects>, dostęp 18.07.2018.



RYSUNEK 3.3.2, rys. 6. Na niższej kondygnacji częściowo zagłębionej w ziemi znajduje się garaż i gabinet z oddzielnym wejściem z zewnątrz. Kondygnacje łączy wewnętrzna klatka schodowa.

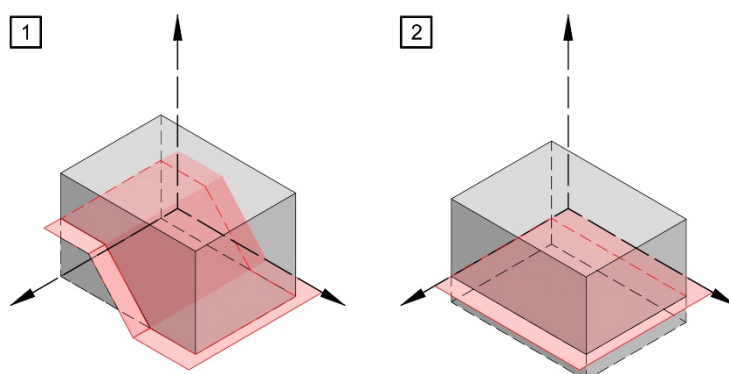
Villa RR (Reitsema and Partners Architects)



RYSUNEK 3.3.2, rys. 7. Pomędzy dwiema sztucznymi skarpami, na których znajduje się główna kondygnacja zlokalizowano strefę wejściową dającą od wejścia wgląd na drugą stronę budynku. Od niewidocznej strony północnej na dolnej kondygnacji zlokalizowany został również garaż. Budynek łączy dwa poziomy terenu w jego najbliższym otoczeniu.

Bridge House (123DV)

takie występuje w Villa RR (Reitsema and Partners Architects) [³¹⁹] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 6) i Bridge House/123DV [³²⁰] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 7).



RYSUNEK 3.2.2, rys. 8. Częściowe zagłębienie w zależności od warunków lokalnych:

1. – częściowe zagłębienie budynku poprzez wpisanie bryły w istniejący na działce spadek terenu,
2. – częściowe zagłębienie kondygnacji budynku na działce płaskiej.

Opracowanie własne.

Zielone dachy. Ogród na dachu poza funkcją estetyczną łączony jest z funkcją zachowania energii w budynku poprzez skojarzenie z budynkiem podziemnym. Dachy zielone występują stosunkowo często w badanych przykładach. Pełnią jednak raczej funkcję estetyczną. Są to nierzadko dachy ekstensywne. Cienka, kilkucentymetrowa warstwa substratu pod ogrody z roślinnością w postaci bylin, traw, porostów i sukulentów ma jednak niewielki wpływ na izolacyjność termiczną przegrody. Dopiero większa grubość warstwy ziemi ma istotniejszy udział w ochronie ciepłej budynku zimą, gdy masa termiczna i izolacyjność zaczynają mieć istotny wpływ na bilans energetyczny.

Wśród analizowanych przykładów zieleni na dachu zaprojektowana została między innymi w Domu przyszłości (JEMS Architekci) [³²¹] i River Bank House (Balance Associates Architects) [³²²]. Roślinność na dachu w tych budynkach ma przede wszystkim wpływ na estetykę. Mieszkańcy Domu przyszłości wskazują to rozwiązanie jednak jako mało widoczne i choć wartościowe ekologicznie to wymagające dużego nakładu pracy na utrzymanie.

Budynki z nadwieszeniami i wyniesione. Wśród analizowanych przykładów stosunkowo często architekci decydowali się na znaczne nadwieszenia wyższych kondygnacji, które choć nierzadko służą jako osłony przeciwsłoneczne czy zadaszenia tarasów, to powodują pogorszenie współczynnika kształtu. Budynki takie przejmują często formę dwóch ułożonych na sobie prostopadłościanów.

Rozwiązania takie reprezentują The Tower House (Gluck+) [³²³] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 9) i Passive House (rouby hemmerlé architects) [³²⁴] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 10). Zabiegi takie nadają zwykle dynamiki bryle, jednak wpływają na straty ciepła. Zwiększa się powierzchnia zewnętrzna

³¹⁹ <https://www.archdaily.com/880166/villa-rr-reitsema-and-partners-architecten>, dostęp 18.07.2018.

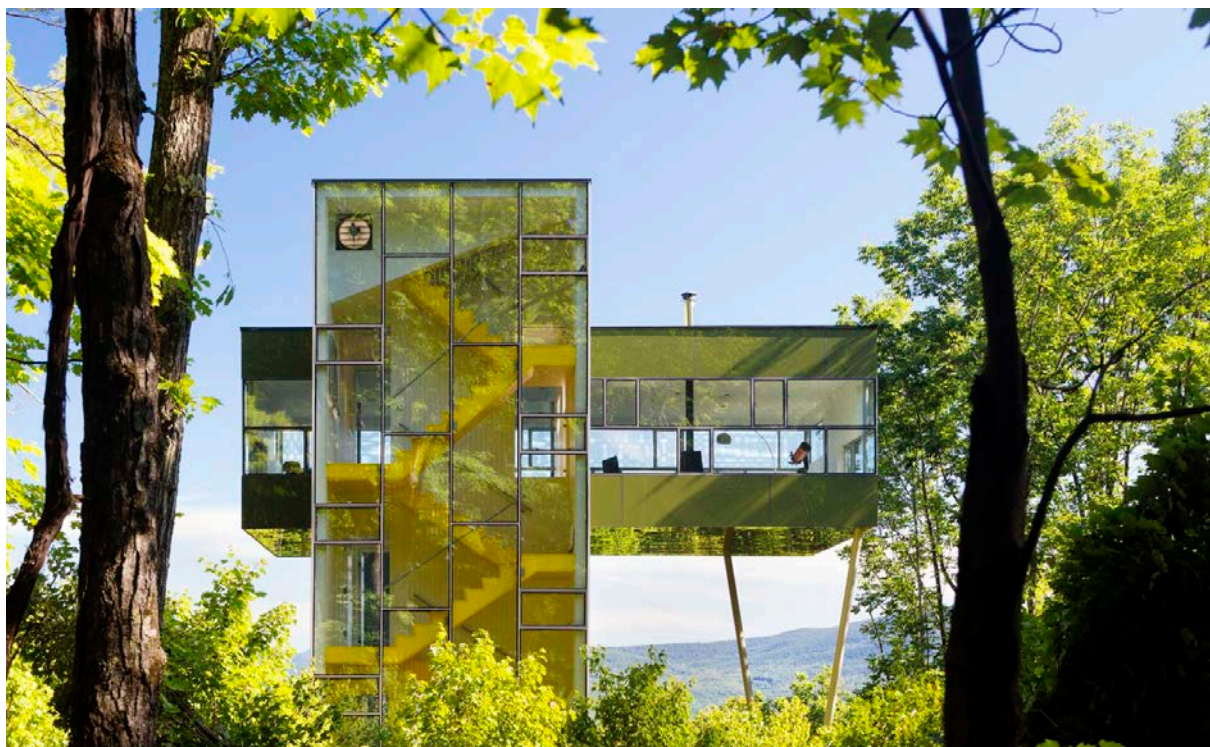
³²⁰ <https://www.archdaily.com/319284/bridge-house-123dv>, dostęp 18.07.2018.

³²¹ <http://jems.pl/nagrody/dom-przyszlosci.html>, dostęp 24.08.2018.

³²² <https://www.archdaily.com/220799/river-bank-house-balance-associates-architects>, dostęp 03.07.2018.

³²³ <https://www.archdaily.com/401816/the-tower-house-gluck>, dostęp 12.07.2018.

³²⁴ <https://www.archdaily.com/786712/passive-house-rouby-hemmerle-architectes>, dostęp 12.07.2018.



RYSUNEK 3.3.2, rys. 9. W części budynku stanowiącej wieżę znajdują się sypialnie i komunikacja pionowa. W nadwieszonej poziomej bryle znajduje się strefa dzienna, która została wyniesiona ponad korony drzew dla uzyskania lepszego widoku.

The Tower House (Gluck+)



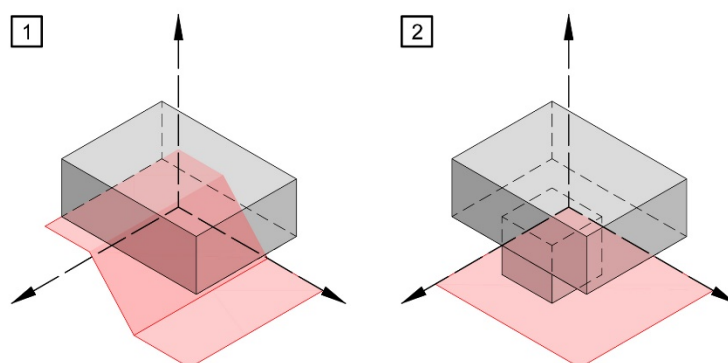
RYSUNEK 3.3.2, rys. 10. W bryle stanowiącej najwyższą kondygnację znajdują się sypialnie. Nadwieszenie stanowi zadaszenie nad tarasem oraz zapewnia stałą osłonę przeciwsłoneczną okien w strefie dziennej.

Passive House (rouby hemmerlé architects)

budynku, która ma bezpośredni kontakt z powietrzem atmosferycznym, stanowiącym pod względem temperatury gorsze środowisko w okresie letnim i zimowym niż grunt.

Podobne w wyrazie, choć odmienne w konsekwencjach energetycznych, zdaje się być częściowe wyniesienie budynku nad ziemię lub prawie całkowite zawieszenie go w powietrzu (RYSUNEK 3.3.2, rys. 11). Bryła budynku usytuowana na gruncie generuje mniej strat ciepła niż ta sama bryła w całości wyniesiona ponad ziemię. Nie zmienia się współczynnik kształtu. Oderwanie budynku od ziemi powoduje jednak zwiększenie powierzchni przegród zewnętrznych w kontakcie z otoczeniem, dla którego występuje większa różnica temperatur, a intensywność strat ciepła w sezonie grzewczym przez przegrody przylegające do gruntu jest mniejsza niż przez te otoczone powietrzem atmosferycznym o niższej temperaturze.

Balancing Barn/MVRDV [³²⁵] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 12) aż w połowie obrysu znajduje się w powietrzu. Jednak dzięki temu, jak wskazuje nazwa, zdaje się balansować na brzegu skarpy. Zabieg ten nadaje budynkowi wyrazistej i choć żartobliwej, to szczerzej idei architektonicznej. Budynki Villa Kogelhof (Paul de Ruiter Architects) [³²⁶] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 13) oraz Skilpod #150 Zero Energy (Skilpod + UAU Collectiv) są natomiast praktycznie w całości oderwane od gruntu. W pierwszym przypadku nadaje to abstrakcyjnej formie lekkości poprzez podparcie budynku punktowo w dwóch miejscach. Wspornik w kształcie litery „V” oraz oszklona klatka schodowa zdają się niknąć pod wydłużoną kondygnacją mieszkalną budynku. W drugim przypadku oderwanie od ziemi jest praktycznie niewidoczne. Monolityczne żelbetowe ściany podpierają kondygnację mieszkalną po obrysie, sprawiając wrażenie, że tworzą ogrzewaną kondygnację pod częścią mieszkalną. Przestrzeń między konstrukcją wsporczą wykorzystywana jest głównie jako garaż.



RYSUNEK 3.2.2, rys. 11. Wyniesienie budynku:

1. – wyniesienie budynku z wykorzystaniem istniejącego na działce spadku terenu,
2. – podniesienie kondygnacji mieszkalnej na działce płaskiej.

Opracowanie własne.

Dla kondygnacji poniżej przestrzeni mieszkalnej w analizowanych budynkach najczęstszy układ funkcjonalny to komunikacja pionowa z pomieszczeniem technicznym oraz otwarte miejsca postojowe. Wydzielenie stanowisk postojowych z ogrzewanej bryły budynku jest korzystne pod kątem zapotrzebowania na energię. Spośród siedmiu budynków o opisywanych cechach aż pięć stanowią te w standardzie budynku pasywnego lub wyższym. W budynkach wykonanych w całości w konstrukcji szkieletowej bez posadowienia na płycie fundamentowej również występuje przestrzeń powietrzna między gruntem a budynkiem. Przez posadowienie na palach lub specjalnych kotwach budynek wyniesiony jest w całości ponad ziemię. W większości przypadków

³²⁵ <https://www.archdaily.com/81757/balancing-barn-mvrdv>, dostęp 12.07.2018.

³²⁶ <https://www.archdaily.com/455402/villa-kogelhof-paul-de-ruiter-architects>, dostęp 12.07.2018.



RYSUNEK 3.3.2, rys. 12. Istniejący spadek terenu na działce stał się inspiracją dla koncepcji architektonicznej. Budynek w połowie oderwany jest od ziemi co sprawia wrażenie balansowania bryły na krawędzi.

Balancing Barn (MVRDV)



RYSUNEK 3.3.2, rys. 13. Kondygnacja mieszkalna willi wyniesiona jest ponad ziemię. Styka się z ziemią wyłącznie trzonem zawierającym komunikację pionową. Transparentność i lekkość bryły osiągnięta jest między innymi dzięki szklanej fasadzie okalającej budynek dookoła.

Villa Kogelhof (Paul de Ruiter Architects)

oderwanie budynku od ziemi jest praktycznie niewidoczne. Rozwiązanie takie zastosowano w Warburg House (bioi) [³²⁷] oraz The Maintenance-Free House (Arkitema Architects) [³²⁸].

3.4 ZYSKI SOLARNE

Konsekwencje architektoniczne wynikające z występowania w budynku rozwiązań umożliwiających pasywne zyski solarne w sposób bezpośredni i pośredni generują rozwiązania możliwe do pogrupowania ze względu na ich charakter.

Jako oddzielne zagadnienie wyodrębniony został wpływ osłon przeciwsłonecznych stanowiących rozwiązanie ograniczające niepożądane oddziaływanie słońca na budynek powodujące przegrzanie wnętrza i lśnienie.

3.4.1 WPŁYW ZYSKÓW SOLARNYCH

Świadome projektowanie z uwzględnieniem pozyskiwania pasywnych zysków solarnych w sposób bezpośredni i pośredni, już na etapie koncepcji, definiuje rozwiązania, które mają wyraźne odzwierciedlenie w elewacji budynku.

Wielkości okien i ich lokalizacja to pierwsze, co ukazuje się oczom widza w kontekście zysków bezpośrednich. W przypadku zysków pośrednich to, co przyciąga wzrok, to duże struktury o szklanych przegrodach. Między tymi dwoma podejściami granice stają się czasami rozmyte, a rozwiązania nie są wizualnie oczywiste.

Dla zysków bezpośrednich wyróżnić można następujące typy kształtowania elewacji:

- elewacje o charakterze solarnym,
- elewacje o znacznym udziale przeszkleń w przegrodach zewnętrznych,
- elewacje o równomiernie rozłożonych oknach,
- elewacje o znacznie ograniczonych przeszkleniach od południa.

W przypadku zysków pośrednich nie można wyłącznie wskazać na kształtowanie elewacji. Konsekwencje tego typu rozwiązań mogą często sięgać dalej i wpływać bardziej na strukturę budynku, uzyskując odzwierciedlenie również w układzie funkcjonalnym. Wśród analizowanych przykładów 5,64% obiektów ma układy do pasywnego pozyskiwania energii słonecznej z przestrzenią buforową. Spośród przykładów wyróżnić można:

- struktury szklarniowe,
- układy buforowe niewidoczne w układzie elewacji.

Elewacje o charakterze budynków solarnych. Wśród badanych obiektów wyraźnie wyróżnia się grupa budynków o jednej elewacji, na której umieszczono dominującą liczbę przeszkleń względem pozostałych. Częściej elewacja taka ma charakter szklanej fasady niż elewacji otworowej z pojedynczymi oknami. Przegroda o znacznym przeszkleniu zorientowana jest w kierunku południowym lub w odchyleniu od tego kierunku. Z pozostałych stron okna mają ograniczoną wielkość. Część obiektów od strony północnej nie ma żadnych okien. Rozpatrywanym układem charakteryzują się budynki klasyfikowane przez ich autorów jako budynki w standardzie domu pasywnego lub nawet net-zero.

W budynkach z dachem skośnym o jednej połaci odnaleźć można nawiązanie do idei Sokratesowskiego domu słonecznego. W obiekcie o nazwie Lacapelle-del-fraisse (Atelier du

³²⁷ <https://www.archdaily.com/236665/warburg-house-bioi>, dostęp 18.07.2018.

³²⁸ <https://www.archdaily.com/546550/the-maintenance-free-house-arkitema-architects>, dostęp 18.07.2018.



RYSUNEK 3.4.1, rys. 1. Bryła budynku z obszerną witryną skierowaną na południe. Dach o spadku w kierunku północnym zwiększa powierzchnię szklenia nastawionego na zyski solarne.

Lacapelle-del-fraisse (Atelier du Rouget Simon Teyssou & associés)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 2. Bryła budynku o dachu wielospadowym z połaciami usytuowanymi w różnych kierunkach. W części bryły gdzie dach ma spadek w kierunku północnym zlokalizowane zostały obszerne witryny nastawione na bezpośrednie zyski solarne. W części gdzie dach nachylony jest w kierunku południowym zamontowane zostały systemy aktywne.

Pond House (forresterarchitects)

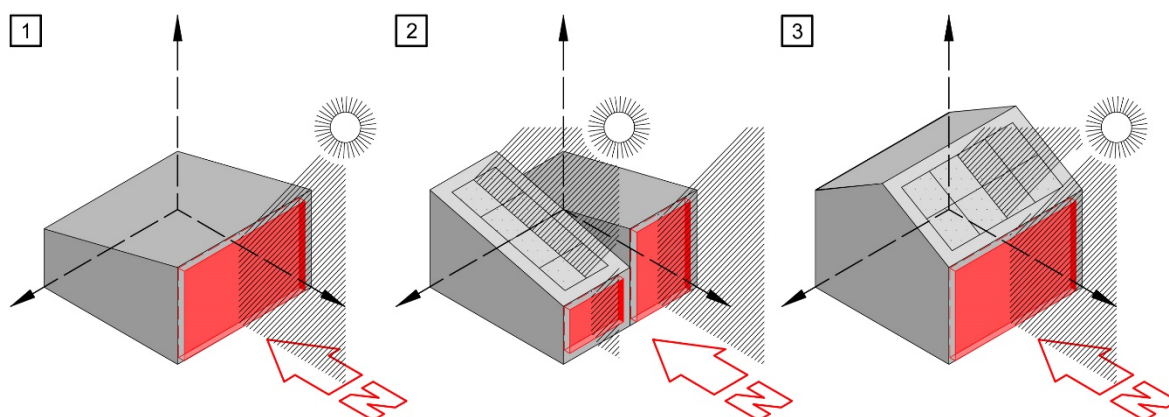


RYSUNEK 3.4.1, rys. 3. Bryła budynku podzielona jest na trzy segmenty. Część środkowa posiada połacie zwróconą w kierunku północnym dzięki czemu zwiększona została powierzchnia szklanej fasady zwróconej na południe. Skrajne połacie zwrócone w kierunku południowym posiadają systemy aktywne.

House Duurzaamheid (Archi3o)

Rouget Simon Teyssou & associés) (RYSUNEK 3.4.1, rys. 1) połąć dachu skierowana jest na północ, zapewniając większą powierzchnię szklenia od południa, która umożliwia pozyskiwanie energii słonecznej (RYSUNEK 3.4.1, rys. 4, pkt 1) [329]. Obszerne szklenia osłonięte są znacznie wysuniętym okapem.

W budynkach, które nastawione są również na pozyskiwanie energii słonecznej do wytworzenia energii elektrycznej czy podgrzania ciepłej wody, widać częściowe odejście od tej idei (RYSUNEK 3.4.1, rys. 4, pkt 2). W budynkach Pond House (forresterarchitects) [330] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 2) oraz House Duurzaamheid (Archi3o) [331] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 3) następuje odwrócenie części połąć dachu. Bryła staje się bardziej rozbudowana, a wysokość elewacji znacznie urozmaicona. W budynkach tych na połąciach zwróconych na południe zainstalowane zostały systemy aktywne, kosztem możliwości pozyskiwania energii w sposób pasywny.



RYSUNEK 3.4.1, rys. 4. Bryły budynków nastawionych na zyski solarne zmieniają się wraz z wykorzystaniem systemów aktywnych, takich jak kolektory słoneczne czy ogniwa fotowoltaiczne. **1.** – bryła budynku o dachu skierowanym na północ oraz obszernym przeszkleciu w elewacji południowej nastawiona jest wyłącznie na zyski pasywne, **2.** – rozbudowana bryła o dachach jednospadowych ukierunkowanych w różnych kierunkach to forma pośrednia częściowo nastawiona na zyski pasywne i aktywne, **3.** – bryła o obszernej szklanej fasadzie południowej i dachu dwuspadowym pozwala na maksymalizację zysków pasywnych przy jednoczesnym zachowaniu dużej powierzchni połąć dachu na zyski aktywne.

Opracowanie własne.

W budynkach o dachach dwuspadowych i płaskich dominują bardzo zwarte i proste bryły, o praktycznie całkowicie przeszklonej ścianie w jednej płaszczyźnie (RYSUNEK 3.4.1, rys. 4, pkt 3). W budynkach House W (Wolfertstetter Architektur) [332] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 5), Haus S. (Selbmann architektur) [333] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 6) czy Passive House (Karawitz Architecture) [334] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 7) występuje widoczny kontrast między ciągłą powłoką ściany północnej wykończoną jednym materiałem a szklaną fasadą południową. Elewacja północna, nawet jeśli posiada okna, to są one niedużej wielkości, a we wskazanych przykładach za dnia nikną pod drewnianą okładziną elewacyjną. Na elewacji południowej projektanci poświęcają wyjątkową uwagę podziałom i kolorowi ram obszerne

³²⁹ <https://www.archdaily.com/786062/lacapelle-del-fraisse-atelier-du-rouget-simon-teyssou-and-associates>, dostęp 06.07.2018.

³³⁰ <https://www.archdaily.com/784191/pond-house-forresterarchitects>, dostęp 06.07.2018.

³³¹ <https://www.archdaily.com/887393/house-duurzaamheid-archi3o>, dostęp 06.07.2018.

³³² <https://www.archdaily.com/780002/house-w-wolfertstetter-architektur>, dostęp 06.07.2018.

³³³ <https://divisare.com/projects/283466-selbmann-architektur-haus-s>, dostęp 06.07.2018.

³³⁴ <https://www.archdaily.com/84165/passive-house-karawitz-architecture>, dostęp 06.07.2018.



RYSUNEK 3.4.1, rys. 5. Widok elewacji południowej. Jako osłony przeciwsłoneczne zaprojektowane zostały żaluzje regulowane.

House W (Wolfertstetter Architektur)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 6. Widok elewacji południowej. Jako osłony przeciwsłoneczne zaprojektowane zostały rolety oraz osłony stałe pionowe i poziome na skraju fasady.

HAUS S.
(SELBMANN ARCHITEKTUR)

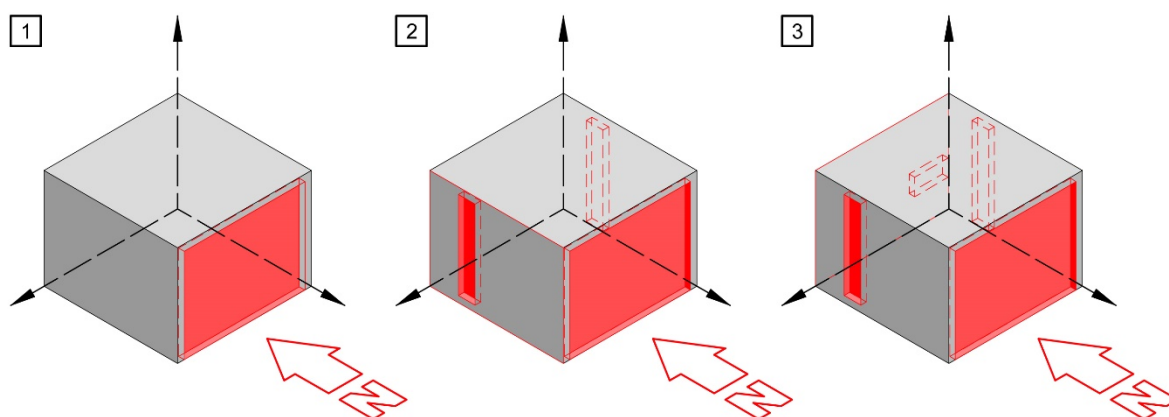


RYSUNEK 3.4.1, rys. 7. Widok elewacji południowej. Jako osłony przeciwsłoneczne zaprojektowane zostały okiennice.

Passive House
(Karawitz Architecture)

witryn oraz indywidualnym rozwiązaniom osłon przeciwsłonecznych, często wysuniętych o szerokość tarasu na piętrze i tworzących podwójną fasadę.

W budynkach o bardziej rozbudowanej formie może występować kilka zestawów obszernych witryn zlokalizowanych w różnych częściach budynku, jak w Home for Life (AART Architects) [335]. Mniej oczywiste wydaje się zlokalizowanie dość zamkniętych brył budynku wokół fasady zorganizowanej na kształt szklarni. Rozwiązanie takie występuje w CO₂-Saver-House (Piotr Kuczia) [336]. W centralnej części budynku, otoczonej od wschodu i zachodu parterowymi skrzydłami, a od północy trzykondygnacyjną wieżą, znajduje się witryna zapewniająca zyski pasywne oraz oświetlenie naturalne dla części dziennej.



RYСУNEK 3.4.1, rys. 8. Budynki, w których pasywne zyski solarne stanowią ważną część strategii ogrzewania charakteryzują bryły: **1.** – obszernych szklanych fasadach południowych i praktycznie zredukowanych do zera przeszkleń w pozostałych elewacjach, **2.** – z oknami również od wschodu i zachodu, zapewniającymi lepsze doświetlenie wnętrza i większą swobodę w kształtowaniu rzutów, **3.** – bryły z ewentualnymi małymi oknami od północy.

Opracowanie własne.

Elewacje o znacznym udziale przeszkleń w przegrodach zewnętrznych. Wiele wśród analizowanych budynków jednokondygnacyjnych zlokalizowanych na bardzo dużych działkach lub w oddaleniu od sąsiednich zabudowań ma obszerne przeszkleńia na więcej niż jednej elewacji (RYSUNEK 3.4.1, rys. 11). Oddalenie od innych budynków dające poczucie intymności oraz niezwykle warunki krajobrazowe zdają się ośmielać architektów do projektowania wręcz transparentnych budynków. Lokalizacja przegród przeziernych nie jest w tym przypadku podyktowana wyłącznie zyskami słonecznymi. Wartość płynąca z widoków niejednokrotnie decyduje o rozszerzeniu szklanych elewacji na wschodnią i zachodnią stronę, a w niektórych sytuacjach nawet na wszystkie strony, jak w L House (Architects Collective) [337] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 9) i Villa Kogelhof (Paul de Ruiter Architects) [338].

W opisach tego typu budynków wielokrotnie podkreślane jest zastosowanie trójszybowych, a nawet czteroszybowych pakietów szyb ograniczających wychładzanie. Budynki zlokalizowane na działkach o dużej wartości krajobrazowej zorientowane są często dłuższą elewacją w znacznym odchyleniu od południa, faworyzując oś północ-południe, gdy wynika to ściśle z uwarunkowań terenu lub widoku.

³³⁵ <https://www.archdaily.com/889593/home-for-life-aart-architects>, dostęp 06.07.2018.

³³⁶ <https://www.archdaily.com/674/co2-saver-house-peter-kuczia>, dostęp 06.07.2018.

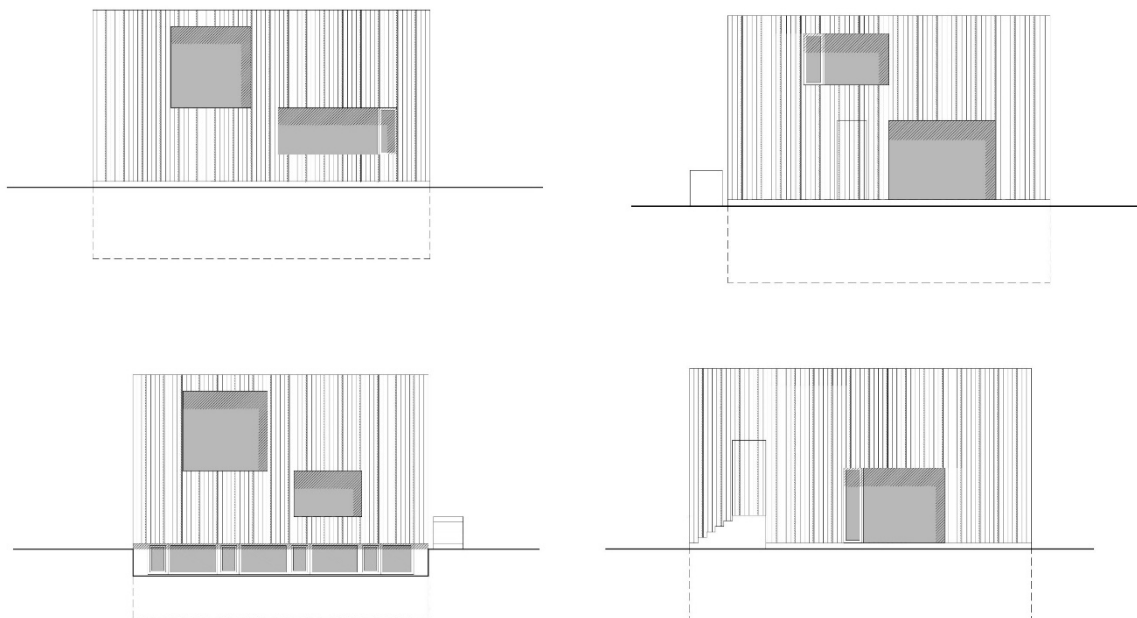
³³⁷ <https://www.archdaily.com/242734/l-house-architects-collective>, dostęp 06.07.2018.

³³⁸ <https://www.archdaily.com/455402/villa-kogelhof-paul-de-ruiter-architects>, dostęp 06.07.2018.



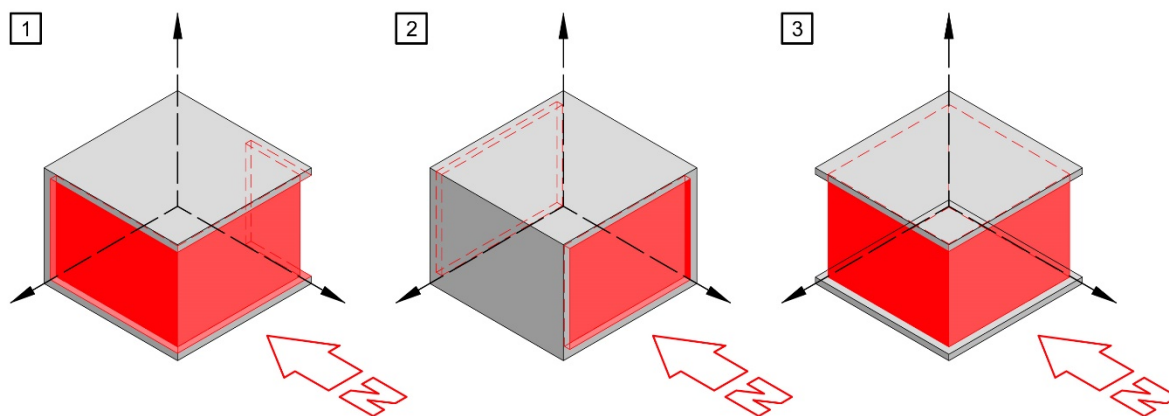
RYSUNEK 3.4.1, rys. 9. Budynki na działce o przepięknych widokach otwiera się obszernymi przeszkleniami na inne kierunki niż południe. Okna przestają zależeć jedynie od energii, pozyskują również piękno otoczenia.

L House (Architects Collective)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 10. Równomiernie rozmieszczone okna na elewacji nie pozwalają na jednoznaczne określenie, która elewacja znajduje się od strony południowej, bez znajomości orientacji budynku. Układ okien tworzy kompozycję na fakturowanej drewnianej elewacji.

Zero Energy House Lokeren (BLAF Architecten)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 11. Budynki o znacznym udziale przestrzeni w elewacjach można opisać trzema podstawowymi typami:

1. – obszerne szklenia stanowiące fasadę przechodzącą na przylegające do siebie elewacje, przeważnie okalające część dzienną z dwóch lub trzech stron,
2. – obszerne fasady szklane po przeciwnych stronach budynku, często powodujące, że budynek jest transparentny w jednym z kierunków,
3. – budynek w formie pawilonu, nieposiadający zewnętrznych ścian pełnych.

Opracowanie własne.

Elewacje o równomiernie rozłożonych oknach. Część budynków z elewacjami o charakterze otworowym, gdzie okna stanowią większe i mniejsze elementy kompozycji lub wynikają z aspektów funkcjonalnych, nie faworyzują szczególnie żadnego kierunku (RYSUNEK 3.4.1, rys. 14). W przypadkach takich na elewacjach, niezależnie od kierunku, widoczny jest podobny udział szkła w pełnej ścianie. Największe witryny znajdują się przeważnie w części dziennej, w salonie i jadalni. Wyraźnie widoczne jest to w budynkach o proporcjach rzutu zbliżonych do kwadratu, jak w Skilpod #150 Zero Energy (Skilpod + UAU Collectiv) ^[339] i Zero Energy House Lokeren (BLAF Architecten) ^[340] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 10). Pomimo braku czynników takich jak wyjątkowe krajobrazy czy lokalizacja na działce miejskiej budynki te mają dość równomiernie rozmieszczone okna, w tym od strony północnej. Podobne podejście można odczytać w budynkach Low Energy Bamboo House (AST 77 Architecten) ^[341] oraz Balancing Barn (MVRDV) ^[342]. Charakterystyczne, znacznie wydłużone rzuty zostały wyposażone w dość rytmicznie rozmieszczone okna. Wizualnie proporcja otworów okiennych została zachowana zarówno na krótkich, jak i długich elewacjach budynku, niezależnie od kierunków świata.

³³⁹ <https://www.archdaily.com/802443/skilpod-number-150-zero-energy-skilpod-plus-uau-collectiv>, dostęp 06.07.2018.

³⁴⁰ <https://www.archdaily.com/423857/zero-energy-house-lokeren-blaf-architecten>, dostęp 06.07.2018.

³⁴¹ <https://www.archdaily.com/306183/low-energy-bamboo-house-ast-77-architecten>, dostęp 09.07.2018.

³⁴² <https://www.archdaily.com/81757/balancing-barn-mvrdv/5012b42528ba0d147d000556-balancing-barn-mvrdv-elevation>, dostęp 09.07.2018.



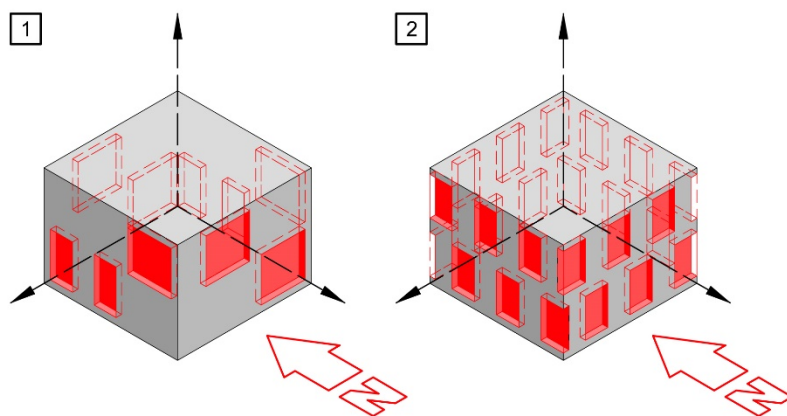
RYSUNEK 3.4.1, rys. 12. Budynek prawie w całości wypełnia działkę w zwartej miejskiej zabudowie. Lokalizacja taka ogranicza możliwość stosowania okien w ścianach, w związku z czym projektanci zaproponowali doświetlenie świetlikami tworzącymi charakter budynku.

Vaulted House (vPPR)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 13. Widok wnętrza doświetlanego głównie przez świetliki.

Vaulted House (vPPR)



RYСУNEK 3.4.1, rys. 14. Budynki o stosunkowo równomiernym rozkładzie okien na elewacji:

1. – rozkład okien na elewacji wynikający z funkcji,

2. – układ funkcjonalny częściowo podporządkowany konsekwentnemu rozmieszczeniu okien na elewacji.

Opracowanie własne.

Elewacje o znacznie ograniczonych przeszkleniach od południa. Energia słoneczna jako pasywne źródło ogrzewania budynku w niektórych koncepcjach traktowana jest bardziej jako zagrożenie niż jako realna korzyść. Budynkiem reprezentującym odwrócenie od słońca ze względów energetycznych jest Kingspan Lighthouse (Sheppard Robson) ^[343]. Od strony południowej elewację charakteryzują niskie podłużne okna, stanowiące znacznie mniejszy udział w ścianie pełnej, niż ma to miejsce na elewacjach wschodniej i zachodniej. Takie postrzeganie słońca reprezentuje również niewielki budynek Retreat House (John DeSalvo Design) ^[344].

O usytuowaniu mniejszych powierzchni przeszklonych od strony północnej wydaje się częściej decydować lokalizacja na działce miejskiej z podwórkiem od północy, jak w Haus Elise (Synn Architekten) ^[345]. W przypadku tym jest to jednak decyzja wynikająca bardziej z potrzeb klienta i decyzji projektantów, w jaki sposób zapewnić intymność od strony ulicy. Skrajnym przykładem wpływu uwarunkowań wynikających z działki miejskiej jest przypadek Vaulted House (vPPR) ^[346] (RYСУNEK 3.4.1, rys. 12–13). Budynek zlokalizowany jest na działce w ścisłej zabudowie miejskiej, w miejscu, gdzie kiedyś znajdowały się garaże i warsztaty. Działka wypełniona jest praktycznie w całości przez nowo zaprojektowany budynek. Ściany znajdujące się w granicy działki właściwie pozbawione są okien. Większe przeszklenia znajdują się wyłącznie w patiach ogrodzonych wysokim na dwie kondygnacje pełnym murem, który w okresie zimowym znacznie ogranicza dostęp promieniowania, w szczególności do niższej kondygnacji. Głównym motywem architektonicznym w budynku są świetliki dachowe tworzące charakterystyczną kompozycję. To główne źródło światła dla górnej kondygnacji wyraźnie wyróżnia się zarówno we wnętrzu, jak i na zewnątrz.

Równie radykalne podejście reprezentuje Seifert House (Bau Kultur) ^[347] (RYСУNEK 3.4.1, rys. 15), który od strony południowej ma pełną żelbetową ścianę wyłącznie z drzwiami wejściowymi. Załamanie ściany w kierunku wnętrza budynku oraz monolityczny betonowy okap podkreślają strefę wejściową. Ściana odgradza budynek od ulicy i domów przy niej stojących.

³⁴³ ALSHARHAN D., OZCELIK E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.pub-lic.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>, dostęp 03.07.2018.

³⁴⁴ <https://www.archdaily.com/169043/retreat-house-john-desalvo-design>, dostęp 06.07.2018.

³⁴⁵ <https://www.archdaily.com/54911/haus-elise-synn-architekten>, dostęp 06.07.2018.

³⁴⁶ <https://www.archdaily.com/639760/vaulted-house-vppr>, dostęp 06.07.2018.

³⁴⁷ <https://www.archdaily.com/1182/seifert-house-bau-kultur>, dostęp 09.07.2018.



RYSUNEK 3.4.1, rys. 15. Elewację południową stanowi monolityczna betonowa ściana z okapem. Akcent kolorystyczny w postaci wyróżniających się kolorystycznie drzwi znajduje się w załamaniu fasady zapraszając do wejścia. Pełna ściana kontrastuje z obszernymi przeszkleniami na pozostałych elewacjach.

Seifert House (Bau Kultur)

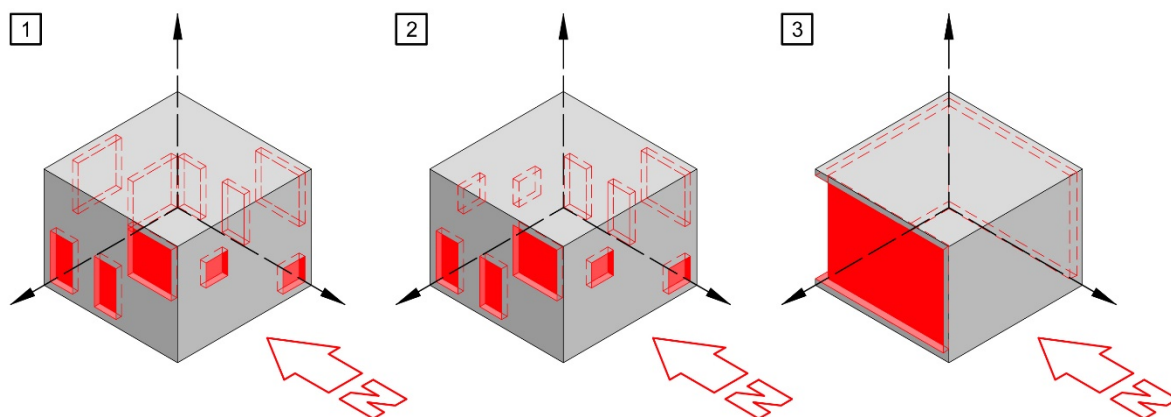


RYSUNEK 3.4.1, rys. 16. Masywna bryła z kompozycją okien z czarnymi ramami dopełniona została szklarnią o subtelnej konstrukcji. Struktura szklarniowa dopełnia budynek do bryły domu o dwuspadowej połaci dachu.

The Green House (Sigurd Larsen)

Budynek z pozostałych stron ma fasadę szklaną, co jest pewnym zaskoczeniem po przejściu przez monolityczną ścianę frontową. Obiekt wydaje się nieracjonalnie odwracać od słońca pod względem energetycznym, jednak zgodnie z opisem jest budynkiem zaprojektowanym w standardzie budynku pasywnego.

Schemat najczęściej występujących rozwiązań w analizowanych przykładach przedstawia Rysunek 3.4.1, rys. 17.

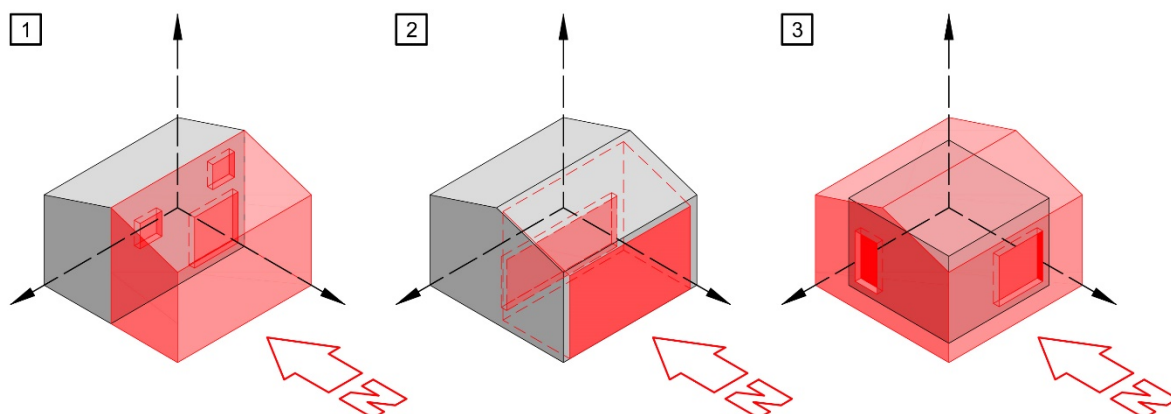


RYСУNEK 3.4.1, rys. 17.

1. – Lokalizacja małych okien od południa przy większych oknach od północy może świadczyć o decyzji projektowej wynikającej z uwarunkowań takich jak widok czy orientacja względem ulicy.
2. – Lokalizacja niewielkich okien od południa i północy zapewnia ochronę przed przegrzaniem od południowego słońca przy jednoczesnej redukcji strat ciepła przez elewację północną.
3. – Całkowite odwrócenie od kierunku południowego.

Opracowanie własne.

Struktury szklarniowe. Wśród analizowanych przykładów można zauważyć trzy charakterystyczne podejścia tworzenia przestrzeni buforowych o charakterze szklarni (RYSUNEK 3.4.1, rys. 18).



RYСУNEK 3.4.1, rys. 18. Wpływ struktur szklarniowych na budynek:

1. – usytuowanie szklarni jako struktury dodanej do budynku,
2. – zintegrowanie poprzez wpisanie w bryłę budynku z zastosowaniem części ścian pełnych,
3. – usytuowanie budynku wewnątrz szklarni.

Opracowanie własne.



RYSUNEK 3.4.1, rys. 19. Budynek wewnątrz szklarni. Powłoka zewnętrzna z tworzywa sztucznego, tłoczonego w falę.

Maison D (Fouquet Architecture Urbanisme)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 20. Elewacja całego budynku wraz z dachem pokryta jest powłoką z tworzywa sztucznego. Na zdjęciu widać południowo-zachodni narożnik budynku w którym znajduje się cieplarnia-taras i dalej kuchnia w wewnętrznej bryle budynku.

Pendu (Brut Architectes)

Cieplarnie mogą być bardzo widoczne, jak w przypadku ^[348] The Green House (Sigurd Larsen) ^[349] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 16), lub mocno zintegrowane, jak w Upcycle House (Lendager Arkitekter). W szczególności w pierwszym przypadku skojarzenie ze szklarnią jest wyraźne dzięki bardzo delikatnej konstrukcji. Architektonicznie szklana struktura dopełnia budynek do formy domu z dwuspadowym dachem, stając się motywem przewodnim dla koncepcji. Połowa bryły jest niezwykle transparentna, druga stanowi monolityczny graniastosłup. W obu budynkach przestrzeń buforowa powiększa powierzchnię użytkową budynku. Pełni rolę przeszklonego tarasu i miejsca przeznaczonego pod uprawę roślin. W The Green House szklarnia zwrócona jest bezpośrednio na południe, natomiast w Upcycle House znajduje się od strony wschodniej. W obu przypadkach przestrzenie buforowe wyposażone zostały w posadzki przeznaczone do akumulacji ciepła wykonane z betonu lub cegły.

W The Tower House (Gluck+) ^[350] od strony południowej znajduje się klatka schodowa ze szklaną fasadą wysoką na cztery kondygnacje. To również przykład integracji struktury szklarniowej. Przestrzeń komunikacji pionowej odcięta jest pełną masywną ścianą z drzwiami do pomieszczeń użytkowych zlokalizowanych po północnej stronie budynku. To swoisty bufor do pozyskiwania pasywnych zysków solarnych, w którym akumulacja energii może odbywać się w ścianach i biegach schodów. W szczycie wieży znajduje się wentylator i wyjście na taras nad ostatnią kondygnacją, które umożliwiają usunięcie nadmiaru ciepła.

W Maison D (Fouquet Architecture Urbanisme) ^[351] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 19) oraz Pendu (Brut Architectes) ^[352] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 20) można mówić o swoistej przeźroczystej drugiej skórze budynku. Właściwa mieszkalna kubatura zamknięta jest w transparentnej obudowie. W pierwszym przypadku to właściwie dom umieszczony wewnątrz szklarni. W Pendu, choć efekt wizualny przypomina szklarnię, właściwa kubatura przylega tak ściśle do przeźroczystej powłoki, że przestrzeń buforowa ogranicza się już tylko do pustki powietrznej, pomiędzy. W obu przypadkach dużą część przestrzeni pod zewnętrzną skórą zajmują tarasy na poziomie parteru i piętra.

Układy buforowe niewidoczne w układzie elewacji. Dwa spośród analizowanych przykładów charakteryzują układy buforowe niewidoczne na elewacji. Zewnętrzna szklana powłoka w obu przypadkach kontynuuje graficznie rozwiązania zastosowane na elewacji (RYSUNEK 3.4.1, rys. 23). Jednak na rzucie budynku widoczna jest wydzielona przestrzeń między szklaną ścianą kolektora a pomieszczeniami. W obu przypadkach przestrzeń wykorzystano na komunikację. W Fethard Residence (Aughey O'Flaherty Architects) ^[353] (RYSUNEK 3.4.1, rys. 21–22) znajduje się korytarz z prawie całkowicie przeszkloną ścianą skierowaną na południe. Z tej wydzielonej przestrzeni prowadzą wejścia do sypialni skierowanych na północ. Jest to układ buforowy z wewnętrzną ścianą pełną. W Villa Sterk (Inbo) ^[354] znajduje się przestrzeń buforowa pomiędzy dwiema szklanymi przegrodami. W obu budynkach zaprojektowana została podłoga o dobrej pojemności cieplnej.

³⁴⁸ <https://www.archdaily.com/458245/upcycle-house-lendager-arkitekter>, dostęp 09.07.2018.

³⁴⁹ <https://www.archdaily.com/872330/the-green-house-sigurd-larsen>, dostęp 09.07.2018.

³⁵⁰ <https://www.archdaily.com/401816/the-tower-house-gluck>, dostęp 09.07.2018.

³⁵¹ <https://www.archdaily.com/625974/maison-d-fouquet-architecture-urbanisme>, dostęp 09.07.2018.

³⁵² <https://divisare.com/projects/341737-brut-architectes-maxime-castric-pendu>, dostęp 09.07.2018.

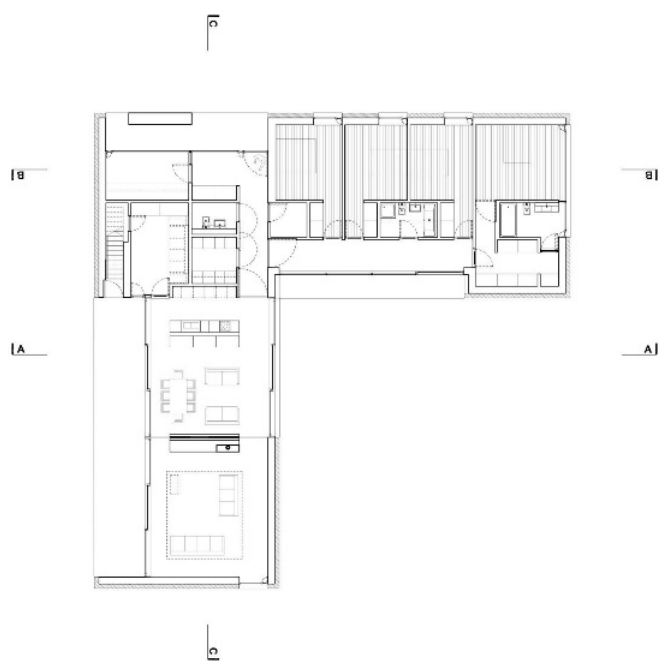
³⁵³ <https://www.archdaily.com/392838/fethard-residence-aughey-o-flaherty-architects>, dostęp 09.07.2018.

³⁵⁴ <https://www.archdaily.com/460669/villa-sterk-inbo>, dostęp 09.07.2018.



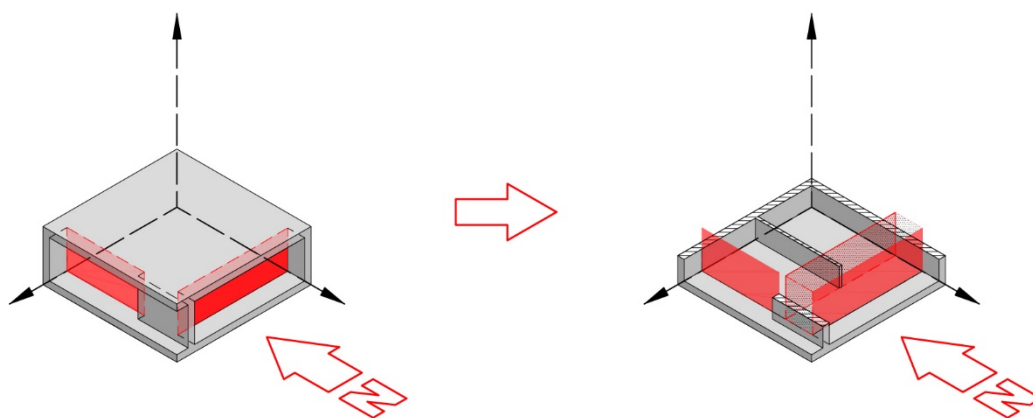
RYSUNEK 3.4.1, rys. 21.
Widok na skrzydło budynku z witryną skierowaną na południe. Przestrzeń buforowa stanowi korytarz prowadzący do sypialni.

Fethard Residence
(Aughey O'Flaherty Architects)



RYSUNEK 3.4.1, rys. 22.
Rzut przyziemia.
Korytarz prowadzący do sypialni w skrzydle wschodnim stanowi przestrzeń buforową, która nie jest w znaczący sposób podkreślona na elewacji.

Fethard Residence
(Aughey O'Flaherty Architects)



RYSUNEK 3.2.1, rys. 23. Przestrzeń buforowa może stanowić również część układu funkcjonalnego, taką jak komunikacja. Wahania temperatury w pomieszczeniu nieprzeznaczonym na pobyt ludzi nie wpływają w sposób znaczący na komfort użytkownika. Rozwiązania takie w analizowanych przykładach nie są wizualnie podkreślone w elewacji budynku. Szklana powłoka zewnętrzna przestrzeni buforowej powtarza rozwiązania zastosowane przy zyskach bezpośrednich w tym samym budynku.

Opracowanie własne.

3.4.2 WPŁYW OSŁON PRZECIWSŁONECZNYCH

Przeprowadzone badania wykazały, że osłony przeciwsłoneczne nie pełnią wyłącznie funkcji regulacji dostępu promieniowania do wnętrza, ale stanowią również pretekst do tworzenia efektu wizualnego elewacji, co ma różny stopień wpływu na formę architektoniczną. Zdecydowana większość badanych obiektów posiada różnego typu osłony przeciwsłoneczne, a ich stosowanie powoduje różne konsekwencje architektoniczne, w odmienny sposób wykorzystywane przez projektantów. W podejściu do kształtowania elewacji z udziałem osłon przeciwsłonecznych można wyróżnić:

- osłony stanowiące główny motyw architektoniczny,
- osłony dopełniające strukturę budynku,
- osłony w postaci obszernych okapów dachu,
- osłony kontynuujące wykończenie pokrycia elewacji,
- osłony *sensu stricto*,
- brak osłon.

Oslony stanowiące główny motyw architektoniczny. Osłony mogą stać się motywem przewodnim dla koncepcji architektonicznej, stanowiąc o wyrazie budynku. Wśród analizowanych budynków można dostrzec rozmaite podejścia, takie jak tworzenie plam kompozycyjnych na prostych elewacjach, tworzenie swoistego efektu rozmycia, warstwowości, zamknięcia czy dodatkowych struktur podkreślających dynamikę i rozróżnienie formy.

Passive House Hradec Králové (Echorost Architekti) [³⁵⁵] to prosty budynek o jednolitej elewacji, w którym główny efekt wizualny tworzą pionowe pasy okien z czerwonymi ramami,

³⁵⁵ <https://www.archdaily.com/397749/passive-house-hradec-kralove-echorost-architekti>, dostęp 29.06.2018.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 1. Zamknięte okiennice izolują całkowicie wnętrze budynku i redukują bryłę do prostopadłościanu.

Dom Bezpieczny (Robert Konieczny)



RYSUNEK 3.4.2, rys. 2. Otwarte okiennice zmieniają wygląd budynku. Wnętrze otwiera się obszernymi przeszkleniami na odcięty od strefy wejściowej ogród.

Dom Bezpieczny (Robert Konieczny)

podkreślone wykończeniem wnek oraz żaluzjami w tym samym kolorze. Osłony po całkowitym rozwinięciu tworzą wraz z kasetami wyraziste czerwone plamy na jasnej piaskowej elewacji.

Stosowanie konwencjonalnych, fabrycznych żaluzji ogranicza się w większości przypadków do funkcji osłon przeciwsłonecznych. Rzadko stosowane są jako element stanowiący akcent kolorystyczny czy wpływający na zmianę faktury. Zmienną kompozycję można uzyskać przy zastosowaniu kontrastowych do elewacji paneli przesuwanych, stanowiących jedyny akcent na gładkiej elewacji, pozbawionej innego detalu. Rozwiązania takie charakteryzują się większą zmiennością kompozycji niż z wykorzystaniem żaluzji, które po zwinieniu przestają być widoczne.

Część projektantów dosłownie buduje całą koncepcję budynku za pomocą stosowanych typów osłon. W Haus 33 (Zoran Bodrozic) [³⁵⁶] osłony mają powodować rozmycie granicy wnętrza budynku. Efekt ten uzyskano dzięki zastosowaniu różnego typu osłon – od stałych elementów poziomych dopełniających bryłę poprzez objęcie jej poziomymi ramami, stosowane ruchome żaluzje na szklanych fasadach po stałe osłony ażurowe w postaci paneli z perforowanej blachy.

Zupełnie odwrotny efekt uzyskano w budynku Dom Bezpieczny (Robert Konieczny) [³⁵⁷] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 1–2). Masywne okiennice i przesuwne fragmenty ścian o grubości bliskiej ścianie zewnętrznej po zamknięciu sprawiają, że bryła budynku staje się jednolita, zredukowana praktycznie do prostopadłościanu. Po zamknięciu osłon budynek tworzy bezpieczne schronienie, niedostępne dla świata zewnętrznego.

W House Moser (Madritsch + Pfurtscheller) [³⁵⁸] można odczytać kolejną ideę, która wyraźnie przedstawia historię miejsca. Architekci zaprojektowali nowy budynek wewnątrz starej stodoły znajdującej się na działce. Budynek o stosunkowo dużej liczbie szklanych ścian zyskał powłokę, która stanowi o jego charakterze i szacunku do krajobrazu austriackiej wsi, gdzie został zbudowany. Podobnie jak w koncepcji Domu Bezpiecznego, zamknięte drzwi zabytkowej stodoły jak okiennice odcinają budynek od otoczenia, z zewnątrz pozostawiając jej nienaruszony obraz. Dopiero po ich otwarciu zauważyć można, że pod starą skórą znajduje się nowoczesny, wręcz transparentny budynek.

Wśród analizowanych budynków uwagę zwracają również formy o większej ekspresji, za których dynamikę odpowiadają elementy budynku służące również zacienianiu. Villa Willemsdorp to budynek o prawie jednolitej obudowie z gontu. Od strony wejścia statyczna, z podkreślonym wejściem. Od strony ogrodu znajdującego się po południowej stronie budynku – niezwykle dynamiczna. Dieter De Vos Architecten zaproponowali rzeźbiarską formę monolitycznego zadaszenia wykładającego jakby uniesiony fragment powłoki otaczającej cały budynek, ukazujący jego wnętrze [³⁵⁹]. Krok dalej wydaje się być natomiast budynek Villa A (Najjar-Najjar Architects) [³⁶⁰]. Pozbawiony osłon przeciwsłonecznych dom straciłby charakter. Wijąca się wstęga wokół pięter ma stałe elementy będące jednocześnie tarasami i jest wypełniona masywnymi lamelami dopuszczającymi zmienne ilości światła w zależności od pory roku i dnia. Również jej wysięg dostosowany jest do kierunków, z których pada promieniowanie. Od wschodu znacznie dłuższy niż od południa. Ta dramatycznie łamiąca się osłona nadaje rzeźbiarski charakter budynkowi.

Osłony dopełniające strukturę budynku. Stosowanie stałych, często masywnych osłon przeciwsłonecznych może służyć do redukcji bryły do prostszej formy geometrycznej. Przez

³⁵⁶ <https://www.archdaily.com/796214/haus-33-zoran-bodrozic>, dostęp 29.06.2018.

³⁵⁷ <https://divisare.com/projects/292552-robert-konieczny-kwk-promes-safe-house>, dostęp 29.06.2018.

³⁵⁸ <https://www.archdaily.com/803369/house-moser-madritsch-plus-pfurtscheller>, dostęp 29.06.2018.

³⁵⁹ <https://www.archdaily.com/769479/villa-willemsdorp-dieter-de-vos-architecten/559378cbe58ece2c8300036f-villa-willemsdorp-dieter-de-vos-architecten-photo>, dostęp 29.06.2018.

³⁶⁰ <https://www.archdaily.com/73638/villa-a-najjar-najjar-architects>, dostęp 29.06.2018.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 3. Szczyt budynku pokreślony ramą wysuniętą przed lico ściany.

Warburg House (bioi)

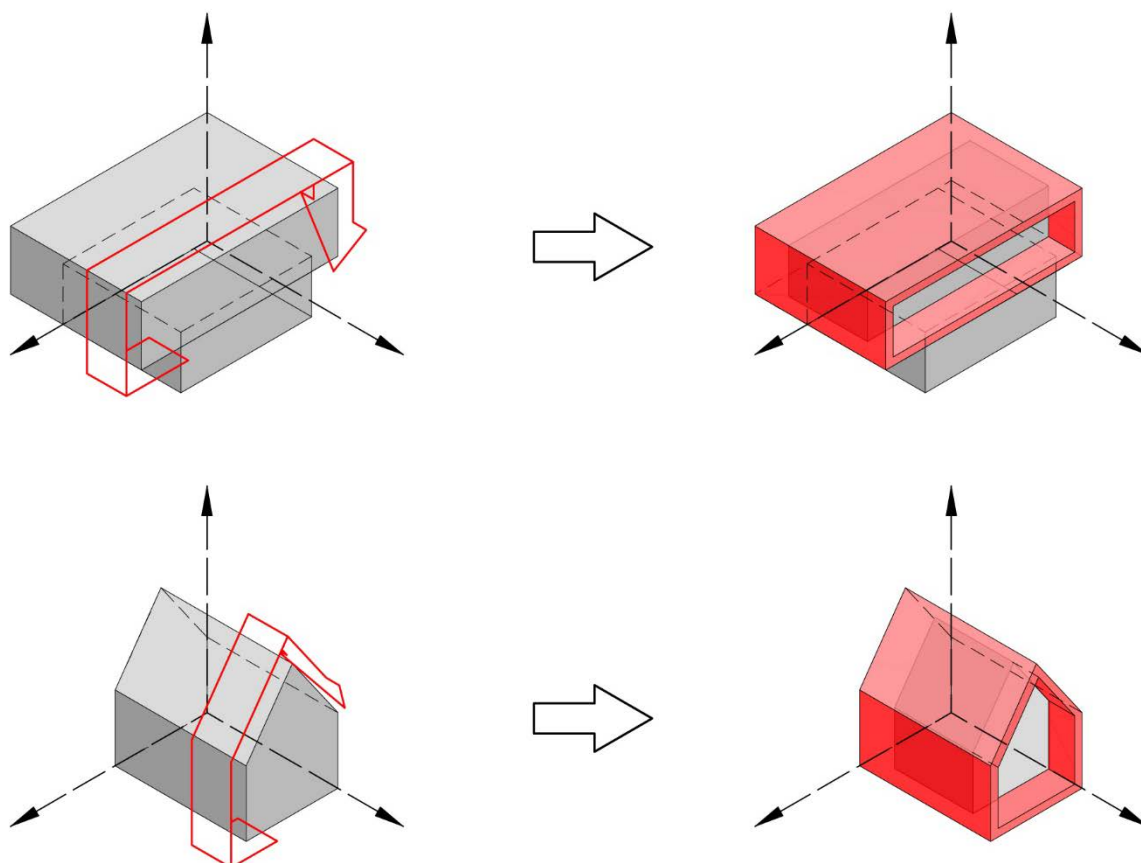


RYSUNEK 3.4.2, rys. 4. Taras, okap, oraz ściany tworzą ramę okalającą piętro.

Hurst House (John Pardey Architects + Ström Architects)

wypchnięcie lub cofnięcie pewnych elementów w głąb bryły uzyskana zostaje archetypiczna forma domu, czytana jako zestawienie prostych brył geometrycznych.

Wśród analizowanych przykładów występują budynki, gdzie całość układu funkcjonalnego lub pojedynczej kondygnacji zamknięta jest w ramie kształtem przypominającej uproszczony obrys domu z płaskim dachem lub dachem dwuspadowym, jakby narysowanym grubą linią podkreślającą obrys (RYSUNEK 3.4.2, rys. 5). Linię tę tworzą połączone ze sobą okapy, ściany boczne oraz taras, stanowiące jednocześnie pionowe i poziome osłony przeciwsłoneczne, często o znacznym wysięgu. Koncepcję taką można zauważyć między innymi w Warburg House (*bioi*) ^[361] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 3) i w Hurst House (John Pardey Architects + Ström Architects) ^[362] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 4).



RYSUNEK 3.4.2, rys. 5. Osłony przeciwsłoneczne stanowiące podkreślenie formy budynku poprzez wprowadzenie z elewacji ramy składającej się z elementów strukturalnych budynku. Cały budynek, lub jego kondygnacja, sprawia wrażenie opakowanego dodatkową „skórą”, tworząc charakterystyczny efekt obramowania na ścianach szczytowych.

Opracowanie własne.

Pojawiają się przykłady, w których układ funkcjonalny zamknięty jest w skomplikowanej bryle, uproszczonej poprzez jej odpowiednie obudowanie (RYSUNEK 3.3.2, rys. 8). Zadaszenia, okapy, tarasów i ściany osłonowe dla powierzchni zewnętrznych tworzą złudzenie prostej formy geometrycznej. W ten sposób w budynkach o skomplikowanym obrysie rzutu następuje redukcja do prostszego wizualnie rozwiązania. Efekt podkreśla często jednolite wykorzystanie materiału,

³⁶¹ <https://www.archdaily.com/236665/warburg-house-bioi>, dostęp 29.06.2018.

³⁶² <https://www.archdaily.com/265486/hurst-house-john-pardey-architects-strom-architects>, dostęp 29.06.2018.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 6. Bryła budynku dopełniona osłonami przeciwsłonecznymi i tarasem do prostokąta.

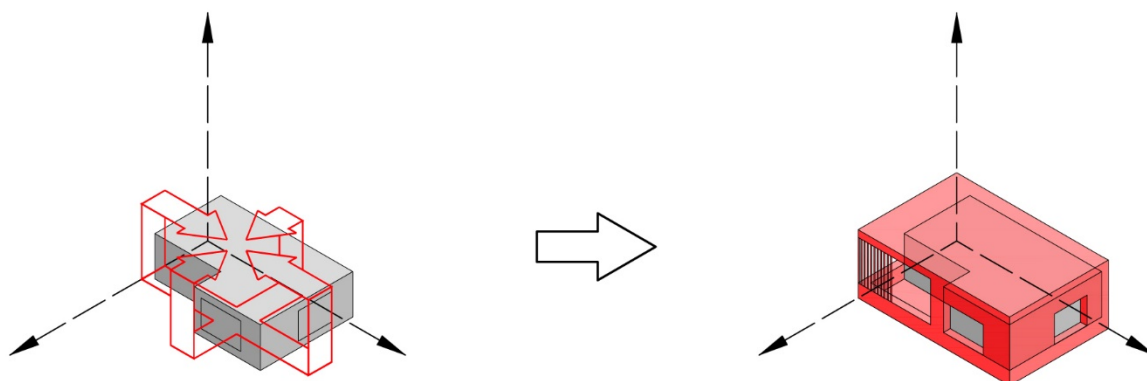
House under the Oaks (Juri Troy Architects)



RYSUNEK 3.4.2, rys. 7. Widok z wnętrza. Przez okna widać taras osłonięty stałymi osłonami.

House under the Oaks (Juri Troy Architects)

którym wykończona jest elewacja. Pokrycie staje się jednocześnie balustradami, ściankami, a czasami stałymi osłonami słonecznymi dla wybranych okien.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 8. Dopełnienie głównej bryły budynku do prostszej formy poprzez elementy struktury budynku, takie jak ściany, zadaszenia i tarasy.

Opracowanie własne.

Podjęciem takim wyróżniają się między innymi House Under the Oaks (Juri Troy Architects) [³⁶³] (RYSUNEK 3.3.2, rys. 6–7) czy Kramer House (LP architektur) [³⁶⁴].

Zdarzają się również rozwiązania o zupełnie odwrotnym wrażeniu wizualnym. W przypadkach tych wydaje się, że budynek nie zyskał dodatkowych elementów, ale jego bryła była kształtowana poprzez przesunięcie w kierunku jego wnętrza wybranych płaszczyzn (RYSUNEK 3.4.2, rys. 9). W prostej formie dającej się opisać za pomocą jednej bryły wycofane są ku wnętrzu ściany z oknami bądź całe witryny.

W geometrii reprezentowanej przez budynek Fethard Residence (Aughey O'Flaherty Architects) [³⁶⁵] ścięte okapy pozwalają na większe zyski solarne w okresie zimowym niż okapy proste w Makkinga House (DP6 architectuurstudio) [³⁶⁶]. Odpowiednio ścięte okapy zwiększają powierzchnię czynną pozyskiwania energii słonecznej w przypadku stosowania witryn okiennych na wysokość całej kondygnacji. W Makkinga House górna część okien we wnękach jest zacieniona nawet w okresie zimowym, gdy słońce pada pod małym kątem. Niskie usytuowanie zadaszenia nad oknem powoduje, że część jego powierzchni znajdująca się zimą w cieniu generuje wyłącznie większe straty energii. Oba rozwiązania pozwalają na skuteczną ochronę przed słońcem z południa w okresie letnim.

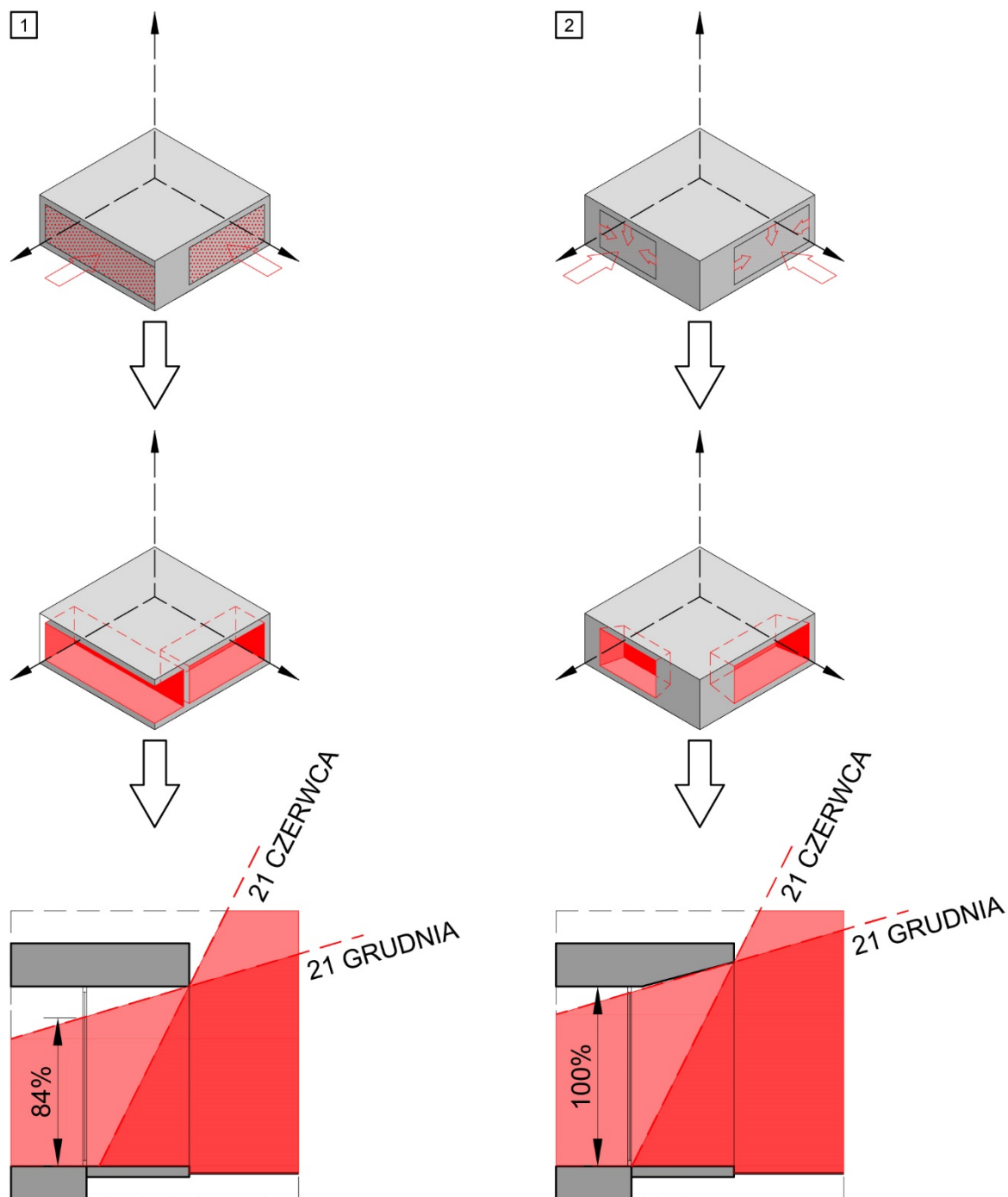
Kształtowanie okapu wpływa zarówno na konsekwencje architektoniczne, jak i na możliwość pozyskiwania pasywnych zysków solarnych w przypadku otworów okiennych na całą wysokość kondygnacji. Kształtowanie wnęk okiennych na zewnątrz i wewnątrz wpływa również na jakość oświetlenia. Głębokość cofnięcia powinna być dopasowana do kierunków światła. Od sposobu kształtowania elewacji w tym przypadku będzie zależała aktywna słonecznie powierzchnia okien.

³⁶³ <https://www.archdaily.com/457693/house-under-the-oaks-juri-troy-architects>, dostęp 03.07.2018.

³⁶⁴ <https://www.archdaily.com/89847/kramer-house-lp-architektur>, dostęp 03.07.2018.

³⁶⁵ <https://www.archdaily.com/392838/fethard-residence-aughey-o-flaherty-architects>, dostęp 03.07.2018.

³⁶⁶ <https://www.archdaily.com/779842/makkinga-house-dp6-architectuurstudio>, dostęp 03.07.2018.



RYСУNEK 3.4.2, rys. 9. Wpływ kształtu okapu na możliwość pozyskiwania pasywnych zysków solarnych.
 1. – Okap, który redukuje zyski solarne zimą przy skutecznej ochronie latem.
 2. – Okap poprawiający zyski solarne zimą przy skutecznej ochronie latem.

Opracowanie własne.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 10. Widok od południowego zachodu. Wielospadowy dach z obszernymi okapami stanowiącymi osłony przeciwsłoneczne. Wycofane do wnętrza bryły witryny w ścianach północnej i południowej zwiększają zacienienie.

Brick House (LETH & GORI)



RYSUNEK 3.4.2, rys. 11. Płaski dach z okapami o znacznym wysięgu, tworzącymi zadaszenia tarasów.

River Bank House
(Balance Associates Architects)

Oslony w postaci obszernych okapów dachu. Rozwiązania, które często w widoczny sposób nawiązują do regionalnej tradycji budowlanej, opierają się na wykorzystaniu jako osłony przeciwsłoneczne połaci dachu z obszernymi okapami.

Takie podejście do tradycji budowlanej widoczne jest w modelowym budynku Brick House (LETH & GORI) (RYSUNEK 3.4.2, rys. 10). Zgodnie z opisem autorów budynek zarówno formą, jak i materiałami nawiązuje do lokalnej tradycji budowlanej [367]. Czterospadowy dach o okapach znacznie wystających poza obrys ścian tworzy ganek wokół domu. Dodatkowo od wschodu i zachodu zaprojektowane zostały wycofane do wnętrza witryny tworzące zadaszone przestrzenie tarasów. Zabieg ten zwiększa również skuteczność osłony witryn narażonych na promieniowanie słoneczne padające pod małym kątem. Osłony w postaci okapu mogą świadczyć o szacunku dla lokalnej architektury poprzez przerysowanie jej charakterystycznych cech w tym zakresie i uczynienie z takiego podejścia atutu.

Przykłady w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie zdają się nawiązywać do tradycji Domów Prioryw, których prekursorem był m.in. Frank Lloyd Wright [368]. River Bank House (Balance Associates Architects) [369] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 11) czy Cliff House (Altius Architecture Inc) [370] są budynkami zlokalizowanymi w niezwykłych krajobrazach, którym poddaje się koncepcja architektoniczna. Orientacja okien wybierana jest również z uwzględnieniem niezwykłych widoków. Domy te charakteryzują się płaskimi dachami o krawędziach podkreślających ich poziomą kompozycję. Wysięg dachu jest znaczny i umożliwia skuteczną ochronę przed południowym letnim promieniowaniem słonecznym.

Oslony kontynuujące wykończenie pokrycia elewacji. Współczesną architekturę budynków jednorodzinnych cechuje często dążenie do ujednolicenia pokrycia całego budynku jednym materiałem. Pokrycia wszystkich przegród zewnętrznych materiałem o tym samym wyglądzie redukuje kompozycję do postrzegania samej bryły i układu okien. Takie podejście skierowane ku możliwie dużemu uproszczeniu i archetypizacji bryły zapoczątkował współcześnie Rudin House (Herzog & de Meuron) [371]. Rozwinięcie tej idei można zauważyć w Passive House autorstwa Karawitz Architecture, gdzie cały budynek pokryty jest bambusowymi tyczkami zamykającymi go w pozornie pozbawionej okien bryle. Od strony południowej praktycznie cała elewacja składa się z okiennic odsuniętych od głównej elewacji o szerokość tarasu. To one tworzą dynamikę fasady. Od pozostałych stron większość okien osłonięta jest na stałe przez ażur stworzony przez poziomo ustawione bambusowe łodygi [372]. W House Zilvar (ASGK Design) [373] zabieg ujednolicenia materiału na przegrodach zewnętrznych oraz sposób wykorzystania go na przesuwanych panelach osłon przeciwsłonecznych powoduje, że nowoczesna i dynamiczna bryła budynku nawiązuje do wiejskiej drewnianej zabudowy i pozwala łatwiej wpisać się w krajobraz. Duże, przesuwne, drewniane osłony z ukośnymi zastrzałami nawiązują estetycznie do konstrukcji wrót zabudowy gospodarczej. Podobne, choć dużo bardziej nowoczesne w wyrazie podejście można odczytać w House S (becker architekten) [374], gdzie zaprojektowane zostały przesuwne ażurowe i pełne panele. Zamknięcie osłon przeciwsłonecznych powoduje, że budynek staje się prostą graficzną formą z drewna, pozbawioną nawet widocznych okien. Odwrócenie zasady, gdzie ze względu na charakter materiału elewacyjnego to materiał osłon przeciwsłonecznych zdaje się przechodzić z okien na pełne ściany, można odczytać w Passive House with Textile Skin (BLAF

³⁶⁷ <https://www.archdaily.com/516624/brick-house-leth-and-gori>, dostęp 03.07.2018.

³⁶⁸ PFEIFFER B.B., WRIGHT F.L.: 1867-1959: Building for Democracy. Taschen, Köln, 2004.

³⁶⁹ <https://www.archdaily.com/220799/river-bank-house-balance-associates-architects>, dostęp 03.07.2018.

³⁷⁰ <https://www.archdaily.com/472598/cliff-house-altius-architecture-inc>, dostęp 03.07.2018.

³⁷¹ http://www.bryla.pl/bryla/1,85298,6128286,Dom_dla_konesera.html, dostęp 03.07.2018.

³⁷² <https://www.archdaily.com/84165/passive-house-karawitz-architecture>, dostęp 03.07.2018.

³⁷³ <https://www.archdaily.com/773151/house-zilvar-asgk-design>, dostęp 03.07.2018.

³⁷⁴ <https://www.archdaily.com/351962/house-s-becker-architekten>, dostęp 03.07.2018.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 12. Ściany budynku kontynuują wizualnie charakter osłon przeciwsłonecznych poprzez kolor, fakturę i obramowanie.

Passive House with Textile Skin (BLAF Architecten)



RYSUNEK 3.4.2, rys. 13. Rolety po zamknięciu zmieniają dynamikę elewacji. Ujednolicenie materiału sprawia, że przy opuszczonych osłonach trudno określić lokalizację okien.

Passive House with Textile Skin
(BLAF Architecten)

Architecten) [³⁷⁵] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 12–13). W projekcie zastosowano czarne tekstylne rolety zewnętrzne. Ich obramowanie drewnianym stelażem i kontynuacja motywu na ścianach pełnych sprawiają wrażenie, jak gdyby budynek pod wszystkimi czarnymi płaszczyznami był przezroczystą szklaną formą.

Oslony *sensu stricto*. Prawie połowa analizowanych budynków posiada osłony słoneczne w postaci urządzeń takich jak rolety, żaluzje, markizy, okiennice, zasłony oraz pergole zastosowane bez wyraźnej ich dominacji jako detalu architektonicznego. Większość budynków z tej grupy ma osłony, które po zwinięciu są praktycznie niewidoczne, chowając się w grubości ściany zewnętrznej. Osłony zewnętrzne są tu traktowane jako element istotny pod względem komfortu termicznego czy jako osłona przed lśnieniem i regulacją dopływu światła do wnętrza, ale w większości jako element nieodgrywający wizualnie znaczącej roli.

Estetyka elementów zacieniających ogranicza się głównie do doboru ich kolorystyki współgrającej z elewacją. Żaluzje mogą stać się odniesieniem do interesującego materiału elewacyjnego, jak w budynku Green Orchard (Paul Archer Design) [³⁷⁶], gdzie aluminiowe lamele żaluzji dopełniają po rozwinięciu lustrzaną powłokę budynku, reagując w podobny sposób na zmianę światła o różnych porach dnia. Nie stanowią jednak elementu dominującego na elewacji.

Rzadziej typowe, masowe rozwiązania osłon przeciwsłonecznych stają się w pewien sposób atutem i są dodatkowo eksponowane z zachowaniem wysokiego poziomu estetyki, jak w The Marly House (L'agence KARAWITZ) [³⁷⁷], gdzie na fakturowanej drewnianej elewacji zastosowano zewnętrzne czarne rolety tekstylne, wyraźnie widoczne również po całkowitym zwinięciu.

W przykładach pojawiają się też osłony słoneczne w postaci pergol o różnej konstrukcji. Stosowane są one jako konstrukcje niezależne na poziomie terenu, na tarasach oraz jako elementy wspornikowe montowane do budynku. Dopełnieniem tego typu konstrukcji mogą być lekkie materiałowe markizy chroniące skutecznie przed promieniowaniem i opadami deszczu oraz roślinność pnąca, gubiąca liście na zimę. Pergole mogą stać się swoistym rozmyciem budynku w kierunku otaczającej przyrody, jak w przypadku Domu przyszłości (JEMS Architekci) [³⁷⁸]. Dzięki pnączom na poziomych elementach następuje regulacja zysków słonecznych, zgodna z oczekiwaniami zależnymi od pory roku.

Osłony wewnętrzne pojawiają się głównie w postaci zasłon z jasnych materiałów, które mogą pełnić funkcję regulacji dopływu światła słonecznego, chroniąc przed lśnieniem. Bez odpowiednich osłon zewnętrznych nie są rozwiązaniem efektywnym energetycznie, powodując konwersję fototermiczną wewnątrz pomieszczenia. Jest to rozwiązanie niekorzystne, szczególnie w okresie letnim. Zimą zasłony mogą natomiast wpłynąć na nieznaczną redukcję strat ciepła jedynie, gdy brak jest insolacji [³⁷⁹]. Pod względem energetycznym w przypadku osłon wewnętrznych powinny być rozważane specjalne materiały o wysokiej refleksyjności pozwalające na odbicie znacznej części promieniowania.

W części przykładów zauważyć można, że stosowanie osłon niestanowiących elementu strukturalnego budynku jest bezpośrednio uwarunkowane wpływem insolacji. Podejście takie zauważyć można w Residential Building DMT ([tp3] architekten) [³⁸⁰]. Lokalizacja osłon wyłącznie w miejscach nieosłoniętych okapami lub wraz z okapami na wschodniej i zachodniej elewacji przy braku osłon od północy oraz na wschodniej i zachodniej ścianie patio wskazuje, że to

³⁷⁵ <https://www.archdaily.com/423832/passive-house-with-textile-skin-blaf-architecten>, dostęp 03.07.2018.

³⁷⁶ <https://www.archdaily.com/396535/green-orchard-paul-archer-design>, dostęp 03.07.2018.

³⁷⁷ <https://www.archdaily.com/805456/the-marly-house-lagence-karawitz>, dostęp 03.07.2018.

³⁷⁸ <http://jems.pl/nagrody/dom-przyszlosci.html>, dostęp 24.08.2018.

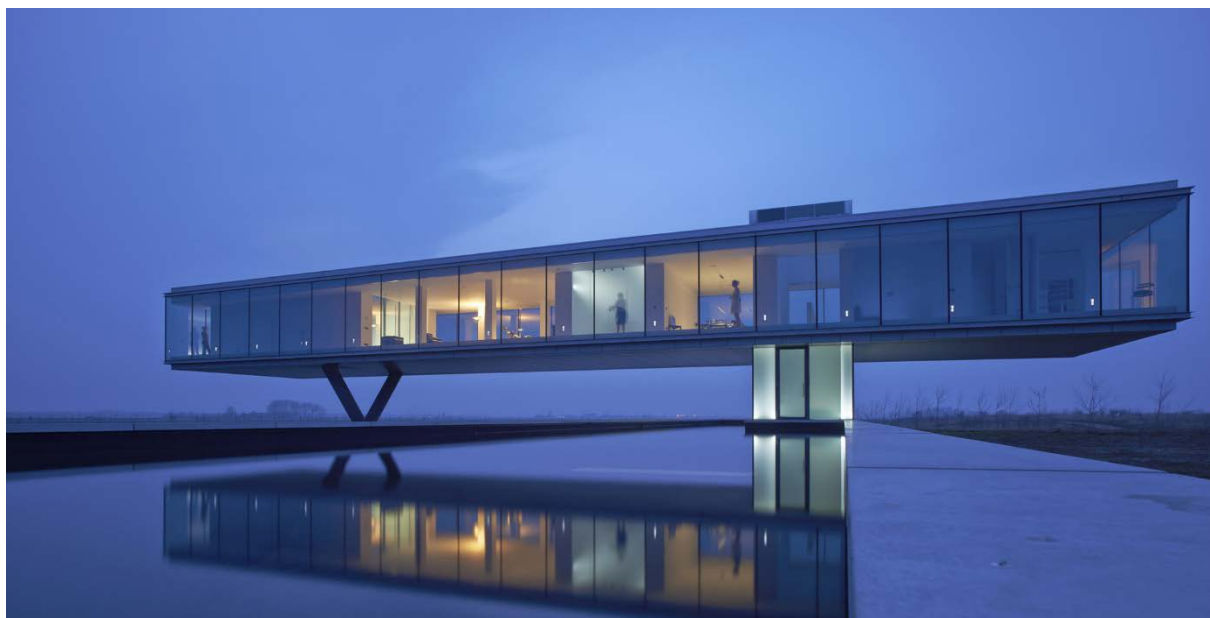
³⁷⁹ ŻURAWSKI J.: *Energooszczędność w budownictwie. Cz. 20. Izolacyjność termiczna przegród przezroczystych przy zastosowaniu osłon przeciwsłonecznych*. „Izolacje”, 2009, 14.11-12: 42-45.

³⁸⁰ <https://www.archdaily.com/543390/residential-building-dmt-tp3-architekten>, dostęp 03.07.2018.



RYSUNEK 3.4.2, rys. 14. Obszerne przeszklenia w części dziennej bez osłon przeciwsłonecznych zintegrowanych z budynkiem.

Villa RR (Reitsema and Partners Architects)



RYSUNEK 3.4.2, rys. 15. Elewacje całkowicie przeszklone pozbawione zewnętrznych osłon przeciwsłonecznych.

Villa Kogelhof (Paul de Ruiter Architects)

podejście ściśle pragmatyczne pod względem energetycznym. Osłony w takim przypadku nie są stosowane konsekwentnie na wszystkich oknach jako element mający zasadniczy wpływ na postrzeganie kompozycji elewacji. Nie stanowią również osłon chroniących przed wglądem obcych do wnętrza budynku.

Brak osłon. Decydująca większość badanych obiektów pozbawiona jest tradycyjnych form osłon przeciwsłonecznych. 36,29% analizowanych budynków nie ma widocznych elementów zacieniających w postaci elementów strukturalnych budynku lub urządzeń do tego przeznaczonych. Niewielka grupa budynków zacieniona jest przez znajdujące się w bliskiej odległości drzewa, w tym często drzewa liściaste, korzystniejsze ze względu na regulację dopływu energii zgodnie z zapotrzebowaniem budynku w cyklu rocznym. W grupie tej znajdują się budynki zlokalizowane na działkach leśnych lub z istniejącym drzewostanem wykorzystywanym przez autorów, często świadomie, jako skuteczne osłony. Świadczą o tym między innymi autorskie opisy koncepcji, takie jak przy budynku Villa RR (Reitsema and Partners Architects) [³⁸¹] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 14). Zgodnie z opisem otoczenie liściastego lasu pozwala na zachowanie komfortowej temperatury wnętrza latem oraz zapewnia zyski solarne zimą.

Na podstawie istniejącej w literaturze typologii osłon zieleń stanowi osłony przeciwsłoneczne, jednak w kontekście rozpatrywanej problematyki zieleń niezwiązana ze strukturą budynku nie kształtuje jego elewacji. W tak postawionym problemie badawczym jest więc przypisana do opisywanej kategorii. Na uwagę zasługuje fakt, że praktycznie żaden analizowany budynek nie posiada zieleni projektowanej o potencjale do zacieniania w przyszłości. Projektanci wykorzystują natomiast zastaną zieleń na działce i w otoczeniu. Znacząca liczba budynków bez osłon znajduje się jednak na działkach pozbawionych uwarunkowań lokalnych mogących wpływać na zacienianie w okresie letnim. Bridge House (123DV) [³⁸²] i Villa Kogelhof (Paul de Ruiter Architects) [³⁸³] (RYSUNEK 3.4.2, rys. 15) nie posiadają zewnętrznych osłon przeciwsłonecznych na elewacjach skierowanych na południe. Oba budynki wyposażono w osłony wewnętrzne o niższej skuteczności w ochronie przed przegrzewaniem. W Villa Kogelhof są to rolety z materiału o wysokim współczynniku odbicia.

3.5 OŚWIETLENIE

Wśród analizowanych obiektów znaleźć można wiele podejść do kształtowania elewacji w kontekście wprowadzania do wnętrza światła naturalnego. Pojedyncze przykłady reprezentują rozwiązania, gdzie zauważalne jest ograniczenie ilości oświetlenia dziennego we wnętrzu. Są to jednak rozwiązania ściśle wynikające z uwarunkowań danej lokalizacji. W przypadkach takich jak Vaulted House (vPPR) [³⁸⁴] są one konsekwencją lokalizacji w istniejącej ciasnej zabudowie miejskiej. Zaprojektowane w przyziemiu sypialnie doświetlają dwukondygnacyjne atria o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Budynek wypełniający prawie całą działkę praktycznie pozbawiony jest możliwości lokalizacji okien w innych kierunkach.

W przypadkach takich jak Dutch Mountain (Denieuwegeneratie) [³⁸⁵] ograniczenia spowodowane są częściową lokalizacją budynku pod ziemią, która jest odpowiedzią na obostrzenia wynikające z prawa lokalnego lub warunki stawiane przez lokalne organy nadzorujące proces urbanizacji. Zdecydowana większość to przykłady domów wolnostojących, gdzie lokalne uwarunkowania nie wpływają w sposób znaczący na możliwości projektowe.

³⁸¹ <https://www.archdaily.com/880166/villa-rr-reitsema-and-partners-architecten>, dostęp 03.07.2018.

³⁸² <https://www.archdaily.com/319284/bridge-house-123dv>, dostęp 23.07.2018.

³⁸³ <https://www.archdaily.com/455402/villa-kogelhof-paul-de-ruiter-architects>, dostęp 23.07.2018.

³⁸⁴ <https://www.archdaily.com/639760/vaulted-house-vppr>, dostęp 12.07.2018.

³⁸⁵ <https://www.archdaily.com/213884/dutch-mountain-denieuwegeneratie>, dostęp 12.07.2018.



RYSUNEK 3.5, rys. 1. Naświetla w ścianie między korytarzem a pokojami. Ich lokalizacja w bliskiej odległości od okien połaciowych poprawia warunki oświetleniowe.

Sunlighthouse (Juri Troy Architects)



RYSUNEK 3.5, rys. 2. Okno połaciowe w strefie dziennej zlokalizowane w charakterystycznej głębokiej wnęcie,

Sunlighthouse (Juri Troy Architects)

W analizowanych przypadkach najczęściej pomieszczenia sanitarne i pomocnicze pozbawione są dopływu światła dziennego. Wynika to przeważnie z ich lokalizacji w oddaleniu od ścian zewnętrznych. Lokalizacja taka ma zalety ze względu na ograniczenie strat ciepła z pomieszczeń o wyższej temperaturze użytkowej. Decyzje projektowe w zakresie zarządzania oświetleniem dziennym zdają się być często podporządkowane priorytetowemu podejściu do otwarcia na widoki czy zysków solarnych i strat ciepła. Zapewnienie oświetlenia naturalnego ma swoje konsekwencje architektoniczne w postaci:

- rozwiązań o małej ingerencji w bryłę budynku,
- rozwiązań o wyraźnym indywidualnym charakterze,
- wpływu elementów niezwiązanych z budynkiem.

Rozwiązania o małej ingerencji w bryłę budynku. Dobre oświetlenie wnętrza światłem dziennym realizowane jest głównie za pomocą odpowiednio rozmieszczonych okien. W wielu przypadkach pomieszczenia doświetlone są przez okna umieszczone przynajmniej w dwóch różnych ścianach zewnętrznych, co zapewnia im bardziej jednolity rozkład oświetlenia. W szczególności w projektach realizowanych w ramach Model House 2020 [³⁸⁶] zauważyć można dużą staranność w zapewnieniu odpowiedniego oświetlenia naturalnego. Domy wykonane w ramach projektu charakteryzują się bardzo jasnymi wnętrzami wykończonymi w bieli lub jasnych odcieniach drewna. Jak w przypadku SOLTAG Energy Housing (Nielsen and Rubow) [³⁸⁷] okna dachowe lokowane są również na połaciach północnych w celu głębszej penetracji dużych pomieszczeń światłem słonecznym. O wyjątkowo dobrych warunkach oświetlenia można mówić w przypadku parterowych pawilonów o szklanych fasadach stanowiących przynajmniej dwie ściany. Transparentność budynków takich jak Villa Sterk (Inbo) [³⁸⁸] nie wpływa więc jedynie na efekt wizualny. Dzięki rozplanowaniu budynku na stosunkowo płytkim trakcie i zastosowaniu szklanych przegród zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz projektanci zapewnili wyjątkowo dobre oświetlenie światłem dziennym.

W pojedynczych przykładach budynków wzniesionych z bardziej tradycyjnym sposobem wydzielania przestrzeni zagwarantowano lepsze doświetlenie poprzez naświetla w ścianach. Doświetla w Sunlighthouse (Juri Troy Architects) [³⁸⁹] (RYSUNEK 3.5, rys. 1) to właściwie jedna tafla szkła bez podziałów, osadzona w drewnianej ścianie, co stanowi charakterystyczny detal we wnętrzu. Przykład ten reprezentuje również nietypowy sposób kształtowania bryły w sposób podążający za słońcem. Zgodnie z opisem autorów charakterystycznie osadzone okna połaciowe są konsekwencją unikania zacienienia wynikającego z lokalizacji na stoku oraz w pobliżu drzew. W otworach zlokalizowanych w ścianie pomieszczenia umieszczone zostały głębokie wnęki prowadzące do okien w połaci (RYSUNEK 3.5, rys. 2). To wyjątkowy detal zaskakujący formą zarówno we wnętrzu, jak i w bryle budynku.

W większych obiektach o bardziej zwartych bryłach, a co za tym idzie, o głębszym trakcie, występują często przestrzenie, które trudno jest doświetlić przez okna rozmieszczone w ścianach, w związku z czym stosowane jest oświetlanie naturalne od góry. W budynkach o dachach płaskich świetliki stosowane są głównie do oświetlenia przestrzeni komunikacji zlokalizowanej w centralnej części budynku lub przy ścianie północnej. Dzięki klatce schodowej lub odpowiednio zaprojektowanej pustce, jak w House On Mount Anville (Aughey O'flaherty Architects) [³⁹⁰], doświetlona zostaje również przestrzeń na niższych kondygnacjach. W przykładzie interesującym

³⁸⁶ <https://www.velux.com/innovation/research-papers/model-home-2020-one-year-on>, dostęp 10.07.2018.

³⁸⁷ <https://www.activehouse.info/cases/soltag/>, dostęp 10.07.2018.

³⁸⁸ <https://www.archdaily.com/460669/villa-sterk-inbo>, dostęp 11.07.2018.

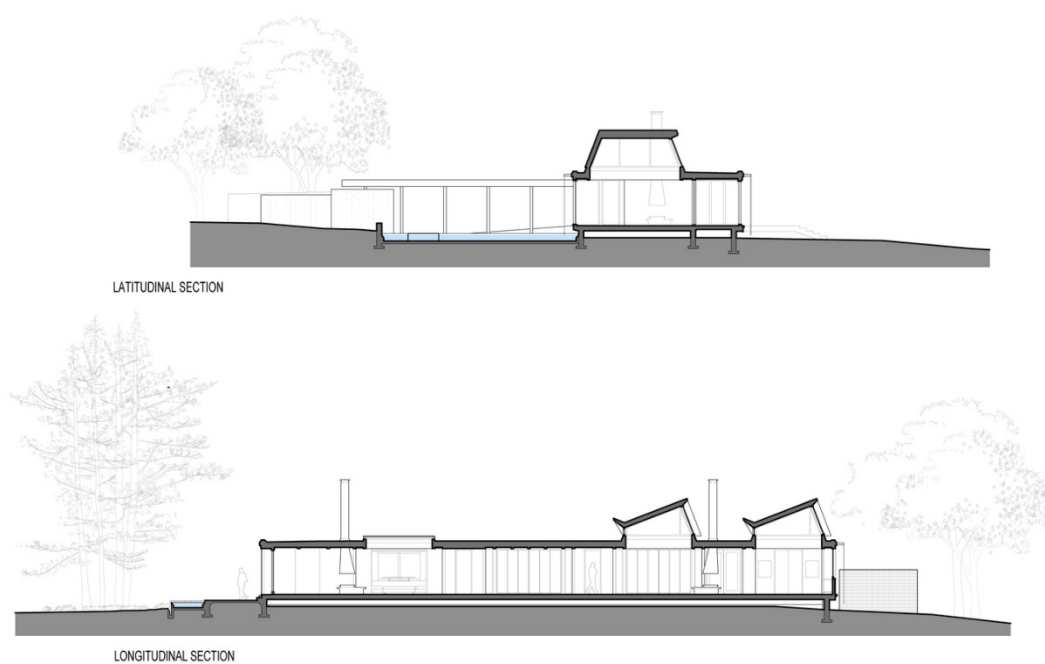
³⁸⁹ <https://www.archdaily.com/457737/sunlighthouse-juri-troy-architects>, dostęp 11.07.2018.

³⁹⁰ <https://www.archdaily.com/391232/house-on-mount-anville-aughey-o-flaherty-architects>, dostęp 10.07.2018.



RYSUNEK 3.5, rys. 3. Świetliki o charakterystycznej dynamicznej bryle zlokalizowane na dachu budynku.

Pound Ridge House (Tsao & McKown Architects)



SECTION
1/16" = 1'-0"

RYSUNEK 3.5, rys. 4. Przekroje ukazujące kształt świetlików.

Pound Ridge House (Tsao & McKown Architects)

rozwiązaniem jest też świetlik bezpośrednio nad wyspą kuchenną, oświetlający przestrzeń roboczą. Rozwiązanie to jest wyjątkowe wśród badanych domów pod względem precyzyjnego powiązania z wykonywanymi czynnościami w konkretnej przestrzeni. W większości przypadków stosowanie świetlików ogranicza się do rozwiązań opartych na produktach gotowych dostępnych na rynku.

Rozwiązania o wyraźnym, indywidualnym charakterze. Formy doświetlenia wnętrza, które w sposób szczególny mają swoje odzwierciedlenie w bryle budynku, to indywidualnie zaprojektowane świetliki stanowiące nadbudowy i odpowiednio ukształtowane struktury dachu. GRAN – Passive House Skatchkoff (HUB) [391] otrzymał specjalnie zaprojektowany dach szedowy z połaciami o większym spadku od południa, gdzie znajdują się okna doświetlające różne przestrzenie we wnętrzu. W pojedynczą nadbudowę wyposażony jest KIKO (Ohnmacht Flamm Architekten) [392]. Świetlik zaprojektowano tak, by północnym światłem doświetlać bezpośrednio klatkę schodową. Dzięki zastosowaniu naświetli w ścianach pośrednio zostają również doświetlone pomieszczenia o dość głębokim trakcie, zlokalizowane od południa. Rozwiązanie o dużo większym wpływie na architekturę można wskazać w pawilonowym budynku Pound Ridge House (Tsao & McKown Architects) [393] (RYSUNEK 3.5, rys. 3–4). Dwa obszerne świetliki zlokalizowane nad strefą dzienną zdają się dominować nad spokojnym pawilonem. Dość skomplikowane bryły pokryte spatynowaną blachą łączoną na rąbek dodają obiektowi dynamiki. Świetliki mają małe szklenia od strony południowej, osłonięte niewielkim okapem, oraz obszerne szklenia skierowane na północ. Rozwiązanie takie wraz z obszernymi witrynami w ścianach przepelnia wnętrze światłem oraz otwiera widok również w kierunku nieba.

Jedynym przykładem występowania specjalnie zaprojektowanych stałych elementów zwiększających penetrację światłem wnętrza jest Counterpoint House (Paul Raff Studio Architects) [394]. Na elewacji południowej zastosowano wykończenie ściany w postaci poziomych cienkich lameli o wysokim współczynniku odbicia promieni słonecznych. Tak pomyślana elewacja złożona z wielu półek świetlnych z zewnątrz wygląda jak delikatna siatka znajdująca się w niewielkiej odległości od ściany, tworząc charakterystyczny efekt wizualny. Światło rozproszone przez lamele na elewacji zgodnie z opisem autorów tworzy niepowtarzalną grę refleksów. Rozwiązanie to zapewnia dostęp odbitego światła do pomieszczeń na piętrze, ale również wprowadza światło w głąb części dziennej przez specjalnie do tego zaprojektowane naświetla. Prawie jednoprzestrzenny parter ma zapewnione oświetlenie naturalne przez okna na wysokość wzroku, które są skierowane na południe i północ, ale również poprzez odbite światła przez naświetla zorientowane na południe.

Wpływ elementów niezwiązanych z budynkiem. Potencjał w wykorzystaniu światła odbitego występuje również w elementach zagospodarowania terenu, takich jak zbiorniki wodne. Odpowiednio zlokalizowane mogą spowodować głębszą penetrację pomieszczeń przez światło odbite od tafli wody. Im mniejszy kąt padania promieni na powierzchnię zbiornika, tym mniej promieniowania zostaje pochłonięte. Zależność taka pozwala na lepsze wykorzystanie światła zimą, ale również – z kierunków wschodniego i zachodniego – latem.

W pięciu spośród analizowanych budynków występują większe zbiorniki wodne mogące wpłynąć na poziom światła docierającego do wnętrza. Najlepsze warunki zdaje się oferować lokalizacja nad brzegiem jeziora, jak w przypadku Backwater (Platform 5 Architects) [395]. Lokalizacja w pobliżu dużego lustra wody pozwala przez dłuższy czas na wnikanie odbitego światła do jego wnętrza. Odbicia rzucają niejednorodne refleksy na ściany i sufity. W przypadku lokalizacji mniejszych, sztucznych zbiorników skuteczniejsze zdaje się być usytuowanie lustra

³⁹¹ <https://www.archdaily.com/525736/gran-passive-house-skatchkoff-hub>, dostęp 10.07.2018.

³⁹² <https://www.archdaily.com/202322/kiko-ohnmacht-flamm-architekten>, dostęp 10.07.2018.

³⁹³ <https://www.archdaily.com/886114/pound-ridge-house-tsao-and-mckown-architects>, dostęp 10.07.2018.

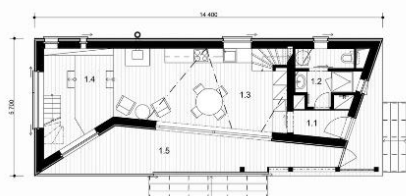
³⁹⁴ <https://www.archdaily.com/620758/counterpoint-house-paul-raff-studio-architects>, dostęp 11.07.2018.

³⁹⁵ <https://www.archdaily.com/866817/backwater-platform-5-architects>, dostęp 11.07.2018.



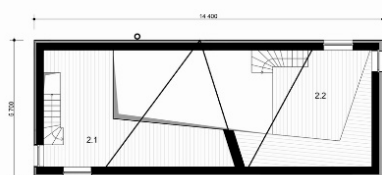
RYSUNEK 3.6, rys. 1. Widok od strony południowo-zachodniej. Wysoko zlokalizowane okna, doświetlają przestrzeń antresoli i zwiększają skuteczność przewietrzania otwartego wnętrza.

House Zilvar (ASGK Design)



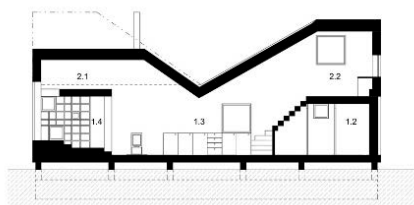
RYSUNEK 3.6, rys. 2. Rzut parteru. Jednoprzestrzenne wnętrze ze strefą dzienną i antresolami posiada otwory okienne z trzech stron, oraz wejście z czwartej, co pozwala na skuteczniejsze przewietrzanie.

House Zilvar (ASGK Design)



RYSUNEK 3.6, rys. 3. Rzut antresoli. Okna na tym poziomie zorientowane są w różne kierunki światła co ułatwia przewietrzanie.

House Zilvar (ASGK Design)



RYSUNEK 3.6, rys. 4. Przekrój.

House Zilvar (ASGK Design)



wody blisko szklanych fasad budynku, jak w przypadku Pound Ridge House (Tsao & McKown Architects) [³⁹⁶].

3.6 WENTYLACJA

W opisach analizowanych budynków projektanci wielokrotnie wskazują wykorzystanie wentylacji naturalnej w projekcie. Często naturalne sposoby usuwania zużytego powietrza stanowią okresową alternatywę dla wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, której działanie jest korzystniejsze w okresie grzewczym, oraz podczas upałów. Zasadniczo każdy budynek z otwieralnymi oknami pozwala na stosowanie jednego z typów wentylacji naturalnej. Można jednak wskazać zbiór rozwiązań poprawiających jej funkcjonowanie. Na podstawie przeanalizowanych obiektów określono trzy zagadnienia związane z wentylacją, mające swoje odzwierciedlenie w koncepcji architektonicznej:

- wpływ przewietrzania na rzut,
- wpływ efektu kominowego na przekrój,
- rozwiązania instalacyjne.

Jako oddzielne zagadnienie należy wyodrębnić możliwość naturalnego chłodzenia wnętrza z wykorzystaniem cech układu funkcjonalnego i wykończenia wnętrza oraz stosowaniem specjalnych rozwiązań służących obniżaniu temperatury powietrza wprowadzanego do pomieszczeń. Takie podejście zostało zakwalifikowane do wentylacji. Ochrona przed przegrzewaniem związanym bezpośrednio z ograniczeniem konwersji fototermicznej w budynku opisana została w podrozdziałach 3.3.2 oraz 3.4.2.

Wpływ przewietrzania na rzut. Dla przewietrzania istotnym zagadnieniem jest odpowiednie rozmieszczenie okien i układ rzutu. Dobrą możliwością naturalnej wentylacji w tym zakresie charakteryzują się budynki o oknach rozmieszczonych we wszystkich elewacjach zewnętrznych i o otwartym rzucie. W House Zilvar (ASGK Design) [³⁹⁷] (RYSUNEK 3.6, rys. 1–4) i House on Limekiln Line (Studio Moffitt) [³⁹⁸] zostały wydzielone tylko nieliczne pomieszczenia. To jedne z najbardziej otwartych układów funkcjonalnych. Strefowanie odbywa się poprzez wydzielanie wizualne stref z jednej przestrzeni, poprzez wynoszenie takich funkcji jak sypialnie na antresole. W House on Limekiln Line przestrzeń rozdzielona jest blokiem sanitarnym. Brak drzwi – poza łazienkami – i dużej liczby masywnych przegród pozwala na swobodny przepływ powietrza we wnętrzu. W obu przypadkach okna zlokalizowane są we wszystkich ścianach zewnętrznych. Pozwala to na łatwiejszą wymianę powietrza. Bardziej tradycyjne rozwiązania to układy dwutraktowe, jak w Cousins River Residence (GO Logic) [³⁹⁹], i półotraktowe, które sprzyjają wentylacji naturalnej. W rozwiązaniach takich powietrze ma stosunkowo mało barier do pokonania w postaci otwieranych okien i drzwi. Forest Lodge (PAD) studio [⁴⁰⁰] i Villa Sterk (Inbo) [⁴⁰¹] zaprojektowano częściowo w układzie półotraktowym, a w strefie dziennej i głównej sypialni – jako jednotraktowe.

³⁹⁶ <https://www.archdaily.com/886114/pound-ridge-house-tsao-and-mckown-architects>, dostęp 11.07.2018.

³⁹⁷ <https://www.archdaily.com/787054/cousins-river-residence-go-logic>, dostęp 23.07.2018.

³⁹⁸ <https://www.archdaily.com/314277/house-on-limekiln-line-studio-moffitt>, dostęp 23.07.2018.

³⁹⁹ <https://www.archdaily.com/787054/cousins-river-residence-go-logic>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰⁰ <https://www.archdaily.com/794161/forest-lodge-pad-studio>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰¹ <https://www.archdaily.com/460669/villa-sterk-inbo>, dostęp 23.07.2018.



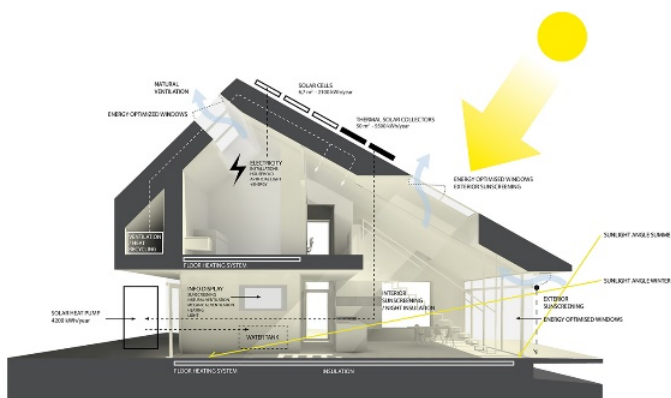
RYSUNEK 3.6, rys. 5.
Widok od strony północno zachodniej. W szczycie dachu widać baterię okien wspomagających wentylację naturalną

Home for life (AART Architects)



RYSUNEK 3.6, rys. 6.
Pustka nad strefą dzienną z otwartą klatką schodową. W tle widoczne okna dachowe na północnej połaci umożliwiające łatwiejsze usunięcie powietrza z górnych partii budynku.

Home for life (AART Architects)



RYSUNEK 3.6, rys. 7.
Schemat pokazujące zastosowane w budynku rozwiązania, w tym wykorzystanie wentylacji naturalnej.

Home for life (AART Architects)

W domach o układzie podłużnym dwu- i półtoratraktowym mogą wystąpić znaczne trudności z przewietrzaniem ze względu na częste występowanie wydzielonych wewnętrznych korytarzy. Powietrze musi zostać dostarczone lub usunięte przez trzy kolejne wydzielone pomieszczenia. Rozwiązanie takie znaleźć można w Villa RR (Reitsem and Partners Architects) ^[402] oraz The Quota House (Pluskontoret Arkitekter) ^[403] w części, gdzie zlokalizowane są sypialnie. Znaczne ograniczenia w zakresie kształtowania otwartego rzutu mogą występować również w budynkach zlokalizowanych na działkach miejskich w zabudowie uzupełniającej. Lokalizowanie sypialni przy krótkich ścianach zewnętrznych powoduje często wytworzenie się zamkniętej komunikacji we wnętrzu rzutu. Odpowiednie strefowanie w pionie pozwala jednak na zachowanie otwartości poszczególnych pięter. W Slip House (Carl Turner Architects) ^[404] wydzielenie dwóch niezależnych sypialni na jednej kondygnacji odbywa się poprzez usytuowanie pomiędzy nimi bloku sanitarnego. Pozostałe kondygnacje są zaplanowane jako otwarte przestrzenie.

Wpływ efektu kominowego na przekrój. Przepływ powietrza w budynku w pionie, poza kanałami wentylacji grawitacyjnej, odbywa się głównie poprzez pustki powietrzne zaprojektowane w budynku oraz odpowiednio kształtowane klatki schodowe. Schody z obszerną pustką o ażurowej konstrukcji, jak w przypadku House Duurzaamheid (Archi3o) ^[405] lub KIKO (Ohnmacht Flamm Architekten) ^[406], pozwalają na swobodny przepływ powietrza między kondygnacjami. Brak ścian i podstopnic zmniejsza opory na drodze powietrza, dając jednocześnie większą przezierność we wnętrzu. W obu przypadkach nad klatką schodową w najwyższym punkcie budynku zlokalizowano okna stanowiące otwory wylotowe dla powietrza. Jednocześnie sposób ukształtowania tych elementów w postaci nadbudów lub pionowej ściany dachu szedowego niesie duży potencjał dla aeracji lub może być wykorzystywany jako łapacz wiatru. Wydajność efektu kominowego zależy również od wysokości budynku, co wykorzystano w budynkach Sunlighthouse (Juri Troy Architects) ^[407] i Kingspan Lighthouse (Sheppard Robson) ^[408], gdzie otwarta klatka schodowa ma trzy kondygnacje. W Kingspan Lighthouse na dolnej kondygnacji zaprojektowane jest niskie okno stanowiące wlot powietrza. Jego lokalizacja od strony północno-zachodniej pozwala na wprowadzanie powietrza z obszaru zacienionego przez większość dnia. Nad schodami jako otwór wylotowy zaprojektowano okna dachowe.

Do wentylacji naturalnej z wykorzystaniem różnicy wysokości między otworem wlotowym i wylotowym powietrza wykorzystywane są często podwyższone przestrzenie w strefach dziennych. W SOLTAG Energy Housing (Nielsen and Rubow) ^[409] i Home for life (AART Architects) ^[410,411] (RYSUNEK 3.6, rys. 5–7) strefa dzienna otwiera się na wyższą kondygnację, uzyskując większą wysokość. Okna usytuowane w połaci dachu na południu i północy pozwalają na usunięcie ciepłego powietrza unoszącego się ku górnym partiom domu. Lokalizacja okien na obu połaciach pozwala również w określonych sytuacjach na przewietrzanie z udziałem ciśnień wytworzonych na obudowie budynku przez wiatr.

Rozwiązania instalacyjne. W rozmaitych kulturach budownictwie przez lata rozwijali techniki i technologie związaną z chłodzeniem wewnątrz mieszkalnych. Łapacze wiatru, wieże wiatrowe i kominy słoneczne to efekt wielopokoleniowych analiz i obserwacji. Są to rozwiązania stanowiące przeważnie wyraźny detal architektoniczny, często charakterystyczny dla konkretnego

⁴⁰² <https://www.archdaily.com/880166/villa-rr-reitsem-and-partners-architecten>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰³ <https://www.archdaily.com/546579/the-quota-house-pluskontoret-arkitekter>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰⁴ <https://www.archdaily.com/300175/slip-house-carl-turner-architects>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰⁵ <https://www.archdaily.com/887393/house-duurzaamheid-archi3o>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰⁶ <https://www.archdaily.com/202322/kiko-ohnmacht-flamm-architekten>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰⁷ <https://www.archdaily.com/457737/sunlighthouse-juri-troy-architects>, dostęp 23.07.2018.

⁴⁰⁸ <https://www.sheppardrobson.com/architecture/view/lighthouse>, dostęp 19.07.2018.

⁴⁰⁹ <https://www.activehouse.info/cases/soltag/>, dostęp 07.06.2018.

⁴¹⁰ <https://www.archdaily.com/889593/home-for-life-aart-architects>, dostęp 07.06.2018.

⁴¹¹ <https://www.activehouse.info/cases/home-for-life/>, dostęp 07.06.2018.



RYSUNEK 3.6, rys. 8. Na dachu widać szklaną nadbudowę z metalowymi lamelami będącą łapaczem wiatru, pozwala na doświetlenie wnętrza i wykorzystanie efektu szklarniowego do zwiększenia przepływu powietrza.

Kingspan Lighthouse (Sheppard Robbison)



RYSUNEK 3.6, rys. 9. We wnętrzu widoczne są okna połaciowe za pomocą których regulowany jest przepływ powietrza. Otwarta przestrzeń wnętrza ułatwia wentylację.

Kingspan Lighthouse (Sheppard Robbison)



RYSUNEK 3.6, rys. 10. Schemat ukazujący przekrój przez budynek ukazuje otwarty charakter wnętrza i nadbudowę łapacza wiatru.

Kingspan Lighthouse (Sheppard Robbison)

regionu na świecie. Współcześnie wyposażenie budynków w wentylację mechaniczną pozbawia budynki detali takich, jak kominy różnego przeznaczenia.

W analizowanych budynkach wyraziste rozwiązania przywodzące na myśl łapacze wiatru po dokładniejszej analizie okazują się być pozbawione elementów otwieralnych. Charakterystyczna forma nadbudowy, jak w przypadku Pound Ridge House (Tsao & McKown Architects) [⁴¹²], pełni wyłącznie funkcję świetlików. Ich dynamika i kształt przypominają wloty powietrza w samochodach sportowych czy samolotach, jednak w swej istocie pozbawione są wpływu na ruch powietrza w budynku.

The Tower House (Gluck+) [⁴¹³] jest jednym z dwóch przykładów, których autorzy wskazują na wykorzystanie rozwiązania opartego na działaniu komina słonecznego. Pionowa bryła z klatką schodową łączącą wszystkie kondygnacje została wyposażona w szklaną ścianę skierowaną na południe. Jest to właściwie bardzo duży kolektor słoneczny, w którego wnętrzu zlokalizowana została klatka schodowa. Dzięki drzwiom na taras nad ostatnią kondygnacją możliwa jest ucieczka ogrzanego powietrza na zewnątrz budynku. Zasysane przez sypialnie, zorientowane na północ powietrze schładza budynek. W przypadku gdy przy małym nasłonecznieniu ciąg powietrza jest zbyt słaby, proces wspomaga niewielki wentylator w górnej części przeszklonej elewacji klatki schodowej. W przypadku tym struktura domu stanowi jednocześnie komin słoneczny.

W Kingspan Lighthouse (Sheppard Robson) [⁴¹⁴] niezwykle świadome podejście do wentylacji naturalnej pozwoliło na stworzenie wyjątkowego architektonicznie detalu łapacza wiatru. W szczycie jednospadowego dachu zlokalizowana została szklana konstrukcja z czterema komorami. Każda z nich ma otwór wlotowy z innej strony, co zapewnia optymalny układ podciśnienia i nadciśnienia wpływający na przepływ powietrza przy rozmaitych kierunkach wiatru. W dni bezwietrzne urządzenie działa jak komin słoneczny, podgrzewając powietrze wypierane z budynku dzięki efektowi kominowemu. Dzięki szklanej konstrukcji i przepustnicom w postaci okien połaciowych rozwiązanie to zapewnia również oświetlenie wnętrza światłem dziennym. Jest to przykład wyjątkowy pod względem przyłożenia tak wielkiej wagi do detalu, jakim jest komin – i w zasadzie jedyny z badanych stosujący tego typu urządzenie.

Chłodzenie. Wielu projektantów w opisach budynków zwraca uwagę na naturalne chłodzenie domów. Widocznymi rozwiązaniami wspomagającymi ten proces są otwartość układu funkcjonalnego w zakresie rzutu i przekroju opisane powyżej oraz wykorzystanie masy termicznej. Wpływ na formę architektoniczną zaprojektowania naturalnego chłodzenia budynku to przeważnie wypadkowa wcześniej wskazanych rozwiązań, które w szczególnych przypadkach wzbogacone są o detale takie jak kominy słoneczne czy wieże wiatrowe.

W analizowanych przykładach nie występują – lub nie wpływają w sposób zasadniczy na architekturę – rozwiązania takie jak gruntowe wymienniki ciepła czy stosowanie ewaporacji. Jako przykład o bardzo dużym potencjale pod względem występującego rozwiązania wspomagającego chłodzenie można wskazać Villa Vals (SeARCH + CMA) [⁴¹⁵]. Zaprojektowany podziemny betonowy tunel prowadzący od zachowanej na działce starej stodoły do nowego budynku może posłużyć jako gruntowy wymiennik ciepła. Jest to zapewne rozwiązanie o niskiej efektywności ze względu na niedostosowaną konstrukcję do takiej funkcji, jednak może stanowić okresowo źródło chłodu [⁴¹⁶]. Przejście to nie jest jednak wskazane przez autorów jako część strategii chłodzenia budynku. Wskazane rozwiązanie jest skutkiem ubocznym koncepcji strefy wejściowej.

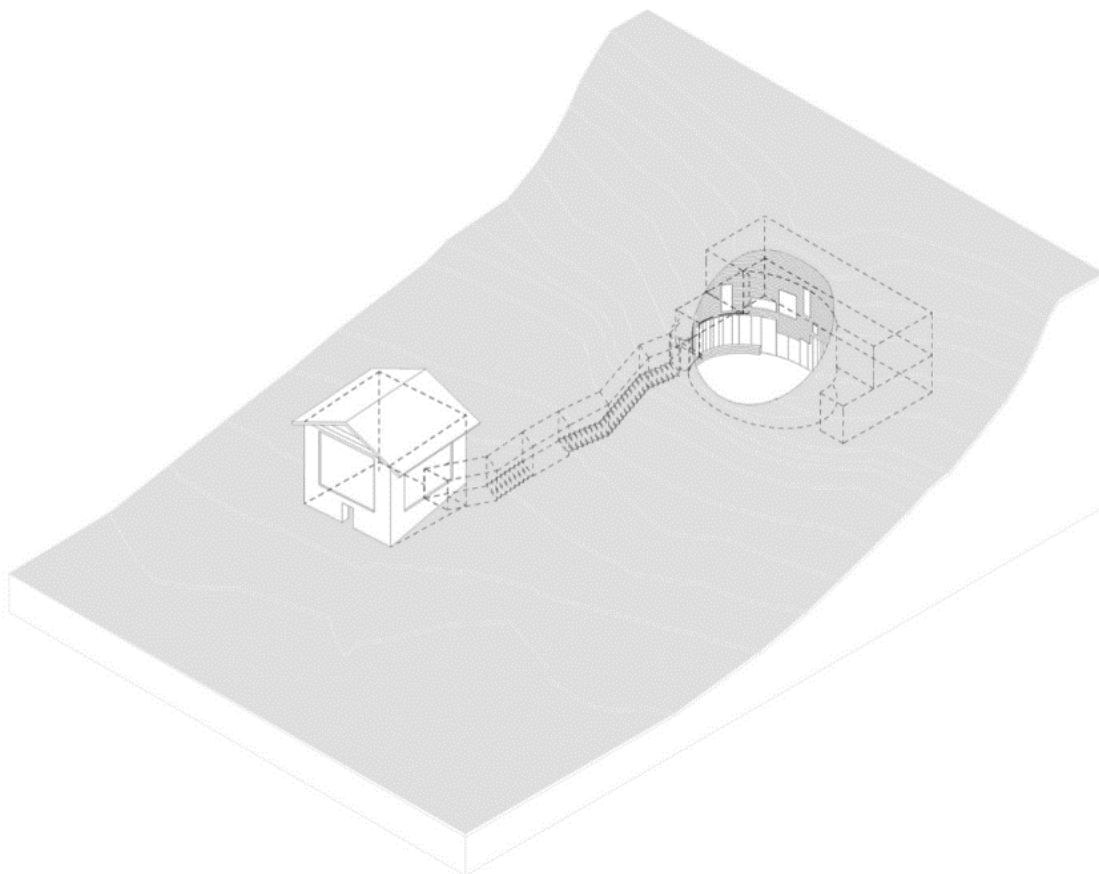
⁴¹² <https://www.archdaily.com/886114/pound-ridge-house-tsao-and-mckown-architects>, dostęp 09.06.2018.

⁴¹³ <https://www.archdaily.com/401816/the-tower-house-gluck>, dostęp 19.07.2018.

⁴¹⁴ <https://www.sheppardrobson.com/architecture/view/lighthouse>, dostęp 19.07.2018.

⁴¹⁵ <https://www.archdaily.com/43187/villa-vals-search-cma>, dostęp 19.07.2018.

⁴¹⁶ GACZOŁ T.: *Wentylacja naturalna systemu nawiewu – wybrane przykłady*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2007, 104.4-A: 63-70.



RYSUNEK 3.6, rys. 11. Schemat przedstawiający budynek. Bryłę starej stodoły połączono podziemnym tunelem z projektowanym budynkiem.

Villa Vals (SeARCH + CMA)

Zarówno w przypadku większości naturalnych sposobów wentylacji, jak i chłodzenia należy wskazać jako niezwykle istotny czynnik ludzki. Bez ingerencji człowieka strategie oparte na przepływie powietrza w budynku nie mogą zadziałać poprawnie, prowadząc w zależności od sytuacji do przegrzania, nadmiernego wychłodzenia lub pogorszenia parametrów powietrza.

Wśród analizowanych przykładów znajdują się budynki, gdzie sterowanie systemem przez człowieka zastąpione jest systemem komputerowym. Część tego typu rozwiązań należy ze względu na sposób działania zakwalifikować do rozwiązań semipasywnych.

3.7 PODSUMOWANIE

Rozwiązania pasywne w analizowanych przykładach przyjmują rozmaite rozwiązania wizualne. Nie jest możliwe jednoznaczne określenie grupy cech, wizualnych tych rozwiązań, definiujących architekturę energooszczędną. Świadczy to o dużej elastyczności i potencjale stosowania ich w budynkach jednorodzinnych. Znaczna dowolność w kreowaniu estetyki jest korzystną cechą pozwalającą projektantom na implementację strategii pasywnych w różnych konwencjach.

Wśród zagadnień dotyczących układu funkcjonalnego warto zwrócić uwagę na rozwiązania funkcjonalne oparte na idei *trzonu egzotermicznego* - to najbardziej wyraziste rozwiązanie w zakresie rozplanowania pomieszczeń

Ciągły, dynamiczny rozwój materiałów budowlanych i technologii wpływa na zmianę konsekwencji architektonicznych powszechnie stosowanych rozwiązań. Zmieniają się więc możliwości kształtowania domów, a rozwiązania kojarzone dotychczas z architekturą energooszczędną wraz z rozwojem technologii przestają jednoznacznie ją definiować wizualnie.

Rozwój izolacji termicznych powoduje, że zmieniają się możliwości kształtowania bryły, w konsekwencji czego domy mogą przyjmować bardziej rozbudowane formy. Domeną budynku energooszczędnego przestają być zwarte bryły.

Rozwiązania pasywne mają różny potencjał wpływu na formę architektoniczną. Najbardziej widoczne w obudowie budynku są elementy odpowiadające za pozyskiwanie energii słonecznej i ochronę przed jej nadmiarem. W analizowanych przykładach to właśnie rozwiązania z tych grup mają bardzo wyraźne odzwierciedlenie w formie architektonicznej. W oparciu o elementy zacieniające i przystosowane do pozyskiwania energii, budowana jest estetyka obudowy.

Strategie pasywne w zakresie oświetlania otrzymują głównie formy tożsame z rozwiązaniami przystosowującymi budynek do pozyskiwania energii cieplnej ze słońca w sposób bezpośredni. Pojedyncze przykłady wykorzystują rozwiązania o bardziej indywidualnych formach takich jak świetliki czy półki świetlne.

Strategie oparte na wentylacji powiązane są głównie ze sposobem kształtowania wnętrza w celu zapewnienia jak najmniejszej ilości przeszkód dla przepływającego przez budynek powietrza. Równie ważne jest zapewnienie odpowiednio zaprojektowanych otworów umożliwiających napływ i usuwanie powietrza z wnętrza. To właśnie te zagadnienia oddziałują w większości przypadków na architekturę budynku. Rzadkimi choć posiadającymi bardzo duży potencjał w kształtowaniu formy architektonicznej są rozwiązania takie jak łapacze wiatru i kominy słoneczne.

PODSUMOWANIE

4.1 WPROWADZENIE

W tej części pracy podsumowano rezultaty dysertacji, jej podstawowych założeń i osiągnięć. Podsumowanie zawiera:

- ocenę poprawności hipotezy badawczej,
- rozważania na temat kształtowania formy architektonicznej z udziałem rozwiązań pasywnych,
- ocenę przydatności rezultatów badań,
- wskazanie dalszych kierunków badań.

Wkład dysertacji w rozwój dziedziny architektury dotyczy wpływu stosowania rozwiązań pasywnych na tkankę architektoniczną w kontekście dążenia do zminimalizowania zapotrzebowania budynku na energię.

Badania własne wykazały dużą różnorodność form, kształtowania obudów, układów funkcjonalnych, konstrukcji oraz doboru rozwiązań pasywnych lub ich zbioru będącego całymi strategiami zaprojektowanymi do osiągnięcia celu, jakim jest energooszczędność.

Problem badawczy podjęty na przykładzie budynków jednorodzinnych o różnym poziomie energooszczędności wykazał odmienny charakter i intensywność występowania w nich rozwiązań pasywnych, co pozwoliło wykazać tendencję w kształtowaniu architektury domów energooszczędnych.

Poza celami badawczymi, pogłębienia wiedzy i jej usystematyzowania praca jest podstawą do dalszych badań. Ma stanowić również materiał dydaktyczny służący studentom architektury i innych dyscyplin oraz prezentować charakter popularyzatorski i informacyjny. Może więc posłużyć również grupie czytelników będących potencjalnymi inwestorami i użytkownikami domów jednorodzinnych.

4.2 POPRAWNOŚĆ HIPOTEZY BADAWCZEJ

Przed podjęciem badań w świadomości autora wygląd budynków energooszczędnych zbliżony był raczej do przykładów budynków solarnych. Zwarta bryła, orientacja południowa, obszerne przeszklenia do pozyskiwania energii solarnej i ograniczenie okien od północy miały być dominującymi cechami. Tymczasem – jak wykazały badania – budynki energooszczędne posiadają dużo bardziej urozmaicone formy, a intensywność występowania pewnych cech zależna jest w dużym stopniu od poziomu energooszczędności domu. Brak jest więc stałego zestawu cech definiującego architekturę energooszczędną. Konsekwencje architektoniczne stosowania rozwiązań pasywnych stanowią jednak bogaty wachlarz rozwiązań estetycznych mogących stać się myślą przewodnią w kształtowaniu estetyki domów.

Praca udowadnia wpływ rozwiązań i strategii pasywnych na formę architektoniczną. Wykazuje jednak, że choć występowanie widocznych rozwiązań świadczących o energooszczędności jest dominujące w badanych budynkach, to w niektórych domach tendencje są odmienne, a część obiektów pozbawiona jest praktycznie poszukiwanych cech. Można wskazać tu zależność występowania rozwiązań pasywnych od przynależności budynku do jednej z pięciu grup określających poziom energooszczędności i wpływ na środowisko. Badania wykazują, że elementy architektury stanowiące charakterystyczne detale mogą być redukowane przy zastosowaniu odpowiednich parametrów przegród.

4.3 KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY ENERGOOSZCZĘDNEJ – WNIOSKI

Badania wykazują, że konsekwencje wizualne związane z wysoką izolacyjnością i szczelnością powłoki zewnętrznej budynku dynamicznie zmieniają się wraz z rozwojem technologii. Zagadnienia związane z izolacyjnością i szczelnością powłoki mają według autora mały potencjał wpływu na formę architektoniczną. Podobne wnioski wyciągnąć można względem rozwiązań stanowiących z zasady elementy ukryte, instalacyjne, takie jak podzespoły gruntowego wymiennika ciepła.

Obecny rozwój technologii izolacji termicznych sprawia, że projektowanie budynków wysokowydajnych energetycznie przestaje być ograniczone ich kształtem. Znaczenie współczynnika A/V w przyszłości prawdopodobnie będzie maleć. Pozwala to na znaczne rozczłonkowanie bryły lub projektowanie brył z nadwieszeniem bądź też całkowicie wyniesionych. Zabiegi takie nadają zwykle dynamiki w wyglądzie budynku i są atrakcyjne wizualnie. Zwiększenie powierzchni zewnętrznej budynku, która ma bezpośredni kontakt z powietrzem atmosferycznym, stanowiącym pod względem temperatury gorsze środowisko w okresie letnim i zimowym niż grunt, przestanie być znaczącym zagrożeniem dla bilansu energetycznego. Bezwzględna ilość strat energii przez budynek wraz z przyrostem izolacyjności przegród zewnętrznych zaczyna być wartością akceptowalną dla projektantów, co pozwala na dużo większą dowolność w kształtowaniu bryły. Należy pamiętać jednak, że współczynnik kształtu procentowo ma podobny wpływ na straty ciepła. Może się więc okazać istotnym wskaźnikiem w projektach o niższym budżecie lub dążącym do skrajnego obniżenia strat przez obudowę.

Przykłady, które eksponują w dużym stopniu masę termiczną, charakteryzują się szczerością materiału. Architekci wykorzystują prawdziwą naturę elementów budynku, nie próbując ukryć ich pod warstwą tynku, czy innych materiałów wykończeniowych. Niejednokrotnie podkreślana jest konstrukcja, ale również prawdziwa struktura przegród z elementów mało gabarytowych. Ekspozowanie innych materiałów konstrukcyjnych niż beton jest jednak rzadkością. W przypadku odsłonięcia oryginalnego materiału przegród niezwykle istotny staje się również sposób wykonania instalacji w budynku. Już na etapie projektu należy precyzyjnie podjąć decyzje rozmieszczenia osprzętu elektrycznego czy sanitarnego ze względu na niekorzystny wpływ wizualny brudzenia w ścianach. Instalacje zakładane są często równolegle z wykonywaniem ścian lub prowadzone w odpowiednich osłonach po wierzchu. Rozwój technologii materiałów zmiennofazowych może w znaczącym stopniu zwiększyć wydajność obecnie stosowanych rozwiązań. Nie zmieniają się prawdopodobnie konsekwencje architektoniczne stosowania masy termicznej w budynku, natomiast wzrośnie udział tynku z domieszką PCM w akumulacji ciepła.

Świadome projektowanie z uwzględnieniem pozyskiwania pasywnych zysków solarnych w sposób bezpośredni i pośredni, już na etapie koncepcji, definiuje rozwiązania, które mają wyraźne odzwierciedlenie w elewacji budynku.

Wśród zbadanych przykładów znalazło się również zaskakująco mało obiektów ze strukturami szklarniowymi do pozyskiwania energii w sposób pośredni. Temat cieplarni jest dość często poruszany w literaturze, a jadąc przez takie kraje jak Niemcy, można zaobserwować popularność stosowania tego typu struktur. Fakt tak niskiego udziału w próbie badawczej może jednak wynikać ze źródeł, do jakich sięgnięto.

Analiza przykładów wykazała, że bardzo wysoki potencjał w kształtowaniu architektury domów energooszczędnych mają osłony przeciwsłoneczne, struktury przeznaczone do pozyskiwania bezpośrednich zysków solarnych i akumulacji. To właśnie rozwiązania z tych grup mają największe konsekwencje architektoniczne i wykorzystywane są do nadania indywidualnego charakteru domu.

Zauważyć należy, że brak widocznych osłon przeciwsłonecznych w ponad połowie badanych domów i liczne przykłady z fasadami szklanymi zwróconymi na północ świadczą o rozwoju technologii związanej ze szkleniem. Przegląd literatury wykazał znaczną dynamikę w rozwoju powłok przeziernych. Zauważyć można tendencję, w której budynki energooszczędne z powodzeniem będą mogły zostać wyposażone w obszerne okna również od północy, jeśli będzie to uzasadnione np. walorami otoczenia. Brak okien lub niewielkie okna od północy przestaną być cechą charakterystyczną dla wydajnych energetycznie domów.

Wraz z rozwojem technologii zmieniać się będzie również język architektury energooszczędnej. Semantyka poszczególnych rozwiązań prawdopodobnie ulegnie rozmyciu, zwiększy się jednak zakres możliwości w wyrazie architektonicznym.

Dużo większy potencjał upatrywany jest również w rozwiązaniach z pogranicza architektury i instalacji. Występowanie rozwiązań pasywnych opierających się na elementach instalacyjnych, takich jak GWC, kominy słoneczne i łapacze wiatru, jest jednak znikome lub wcale nie występuje w analizowanych przykładach. Współczesne tendencje w kształtowaniu architektury, jak dążenie do uproszczenia budynku poprzez ukrycie lub rezygnację z detali takich jak kominy, rury spustowe, itp., mogą na etapie koncepcji powodować odrzucenie rozwiązań o charakterze wyrazistego detalu o addytywnej formie. Takie podejście faworyzuje stosowanie wentylacji mechanicznej.

Wizualnie problematyczne zdają się być również ściany kolektorowo-akumulacyjne różnego typu, które nie wystąpiły wśród badanych obiektów. Przyczyną może być ich wygląd, który odbiega od współczesnych oczekiwań względem budynków prezentowanych na popularnych stronach internetowych poświęconych architekturze. Rozwój technologii szkła i materiałów zmienno fazowych może w przyszłości zaowocować rozwojem technologii elewacyjnych.

Przeprowadzone badania pokazują, że udział rozwiązań pasywnych w budynkach energooszczędnych może być w znaczący sposób zależny od dwóch czynników.

Pierwszy to poziom energooszczędności. Dla budynków zeroenergetycznych, oraz o bilansie dodatnim zauważyć można spadek udziału rozwiązań pasywnych, które przy tak postawionych wymaganiach przestają być wystarczające do ich osiągnięcia. Oparcie bilansu energetycznego budynku na ogniwach fotowoltaicznych i kolektorach słonecznych pozwala na odstępianie od zasad kształtowania budynku na podstawie rozwiązań pasywnych na rzecz systemów aktywnych. Przykładem mogą być budynki takie jak Kingspan LightHouse oraz NetZeb, gdzie od strony południowej powłoka budynku jest poddana systemom aktywnym. Połącze dachu w obu przypadkach są wyposażone w dużą powierzchnię ogniów fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych, a elewacje południowe – pozbawione praktycznie okien.

Drugi czynnik, po części związany z pierwszym, to koszt inwestycji. We wszystkich grupach budynków energooszczędnych przeanalizowanych w pracy zauważyć można mniejszy udział rozwiązań pasywnych w budynkach o znaczącym koszcie. To właśnie te budynki wyposażone są w systemy aktywne niezależnie od ich wydajności energetycznej.

Uzyskane wyniki badań pozwalają określić tendencje w stosowaniu rozwiązań pasywnych, budownictwie energooszczędnym. Zdaniem autora budownictwo blisko zeroenergetyczne i o dodatnim bilansie będzie wykazywać trzy kierunki rozwoju.

Pierwszy z nich będzie oznaczał rezygnację z wykorzystania rozwiązań pasywnych na rzecz systemów aktywnych do pozyskiwania energii. Kształtowanie elewacji w tego typu budynkach będzie podporządkowane w znacznym stopniu możliwości pozyskiwania energii przez ogniwa i kolektory słoneczne. Ilość produkowanej energii elektrycznej lub cieplnej pozwoli uniezależnić się od jej pasywnego pozyskiwania przez okna. W związku z powyższym kształtowanie powłoki będzie mniej zależne od generowanych przez nią strat w okresie grzewczym i od nadmiernych zysków z insolacji w okresie letnim.

Drugi kierunek opierać się będzie na wykorzystaniu rozwiązań pasywnych w nowoczesnej postaci jako tych, które w ujęciu holistycznym mają mniejszy wpływ na środowisko. Podstawowym założeniem stanie się oszczędność i rozważne korzystanie z energii stawiane ponad jej produkowanie w dużych ilościach.

W trzecim nurcie wykorzystane zostaną możliwości, które dają systemy aktywne i pasywne. Hybrydowe podejście do pozyskiwania energii stawiać będzie przede wszystkim na optymalizację budynku w celu oszczędności energii za pomocą rozwiązań pasywnych. Rozwiązania aktywne będą rozważane w przypadkach, gdy osiągną wyraźnie lepsze rezultaty niż ich pasywne odpowiedniki lub dla osiągnięcia niezależności od energii z sieci przy możliwie niskim nakładzie finansowym. Podejście hybrydowe wykorzystywać będzie rozwiązania mechaniczne z dużą świadomością wtedy, kiedy faktycznie jest to korzystniejsze dla utrzymania odpowiedniego komfortu wnętrza.

Kolejnym wnioskiem, który pozwoliła wykazać praca, jest sposób sterowania zastosowanymi rozwiązaniami pasywnymi, a nawet całymi strategiami. Zagadnienie to dotyczy głównie wentylacji naturalnej oraz osłon przeciwsłonecznych. Może również dotyczyć ochrony budynku przed utratą ciepła w przypadku stosowania pełnych okiennic o charakterze osłon termicznych. Za główny sposób zarządzania podzespołami rozwiązań pasywnych uznać można czynnik ludzki. To swoiste przyzwyczajenia i wiedza przekazywana z pokolenia na pokolenie lub nabyte doświadczenie odnośnie przewietrzania, chłodzenia, ochrony przed słońcem mogą wpływać na energochłonność budynku. Kierunek rozwoju to zmiana sposobu zarządzania podzespołami rozwiązań pasywnych na automatyczny, oparty na pomiarach parametrów klimatu wnętrza i zewnątrz. Jak wskazały niektóre z analizowanych przykładów, technologia nie musi być w tym przypadku traktowana priorytetowo, ale poprzez obrazowanie danych z użytkowania budynku może edukować w zakresie użytkowania budynku, sugerując postępowanie lub kontrolując decyzje użytkowników.

W budynkach, gdzie energooszczędność bazuje w dużym stopniu na rozwiązaniach pasywnych, znaczenie świadomości i zwyczajów użytkowników jest bardzo istotne. Dostosowanie przyzwyczajzeń oraz świadome użytkowanie domu staje się więc elementem istotnym strategii w budynkach. Prowadzenie kampanii w zakresie ekologii, dbania o środowisko dotyczy wielu aspektów ludzkiego życia. Zasadnym zdaje się edukowanie również w zakresie użytkowania budynku w celu osiągnięcia i zachowania komfortu klimatu wewnętrznego przy ograniczaniu konsekwencji środowiskowych.

Nasuwa się więc postulat, że dla budynków powinna powstawać indywidualna instrukcja pozwalająca na wykorzystanie potencjału zaprojektowanych rozwiązań, w szczególności pasywnych, które oparte są na podzespołach sterowanych ręcznie przez człowieka.

Można założyć, że zarówno w rozwiązaniach aktywnych, jak i pasywnych rozwijać się będą technologie inteligentne pozwalające na monitorowanie parametrów wnętrza. Na podstawie analizy danych system zarządzał będzie podzespołami zastosowanych rozwiązań lub będzie udzielał wskazówek co do korzystania z budynku.

Przykłady opracowane szerzej w Rozdziale II wskazują również na tendencję stosowania rozwiązań pasywnych w zakresie wentylacji naturalnej jako systemów zastępujących zastosowaną w budynku wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła w okresie letnim. Postępowanie takie może zmniejszyć straty ciepła w okresie grzewczym przez wentylację przy ograniczaniu kosztów użytkowania w okresie letnim przy poprawnie działającej wentylacji naturalnej służącej również do chłodzenia wnętrza z użyciem masy termicznej.

Badane przykłady wskazują na niezwykle istotne działanie podczas projektowania, jakim są analizy wydajności i opłacalności poszczególnych rozwiązań. Proces projektowania podparty analizami i optymalizacjami odbywającymi się na wszystkich etapach projektowania podkreślany

jest przede wszystkim w obiektach projektowanych w ramach programów badawczych oraz przez projektantów związanych ze środowiskiem naukowym, specjalizujących się w projektach energooszczędnych.

4.4 KIERUNEK BADAŃ

Przeprowadzone badania w ramach pracy wyznaczyły potencjalne kierunki dalszych poszukiwań związanych z tematem energooszczędnego budownictwa wykorzystującego rozwiązania pasywne.

Możliwe do przeprowadzenia analizy powinny dotyczyć rozszerzenia zakresu badań o budynki niewskazane przez autorów jako energooszczędne. Badania na szerszej grupie obiektów wraz z ankietami, pozwoliłyby wykazać, czy stosowanie tego typu rozwiązań jest obecnie pożądane i projektowane. Istotnym wynikiem badań może być wykazanie, jak znaczna różnica występuje między budynkami typowymi, zgodnymi z aktualnymi wymaganiami prawa a budynkami projektowanymi z uwzględnieniem wysokiego standardu energooszczędności.

Badanie przeprowadzone na podstawie ankiet mogłoby określić świadomość projektantów w zakresie zagadnień związanych z jednorodzinym budownictwem energooszczędnym, wykazując jednocześnie ich stosunek do tematu.

Ankiety skierowane do użytkowników pozwoliłyby wskazać występowanie działań i przyzwyczajzeń mieszkańców domów, które wpływają na energochłonność budynku.

Istotnym zagadnieniem nieuwjętym w pracy jest przedstawienie analizowanych rozwiązań pasywnych w kontekście polskich warunków prawnych oraz wymagań Warunków Technicznych na rok 2021. To właśnie ten aspekt badań według autora stanowiłby ważną część pracy, gdyby temat został podjęty obecnie.

Różnorodność występujących rozwiązań wizualnych jest bardzo duża. Dość łatwo zauważyć różnice między estetyką wybranych obiektów realizowanych w Ameryce Północnej i Europie. Wśród badanych przykładów pojawia się jednak zdecydowanie mniej przykładów z innych kontynentów, po części z powodu węższego zakresu występowania zadanego klimatu. Trudno jest więc jednoznacznie wypunktować różnice wynikające z lokalizacji na innych kontynentach niż Ameryka Północna i Europa. Tu również wskazać można na tendencje wynikające z lokalnej kultury i tradycji, a więc i występowanie znamion inspiracji architekturą wernakularną. Fakt, że badania ujawniły występowanie regulowanych systemowych żaluzji zewnętrznych wyłącznie w Europie, może również wskazywać na zależność stosowanych rozwiązań od popularyzacji w danym regionie lub dostępności systemowych rozwiązań zależnych od lokalizacji.

Badane rozwiązania wykazują różny stopień zaawansowania technologicznego. Również pod tym kątem należałoby przeprowadzić badania, określając stosowanie rozwiązań prostych technologicznie oraz tych bardziej zaawansowanych. Przebadanie tych dwóch grup rozwiązań pod względem ich ekonomiki może również okazać się przydatne przy wdrażaniu rozwiązań pasywnych.

BIBLIOGRAFIA

5.1 LITERATURA

- 1) BAĆ A., CEBRAT K.: *Budynki energooszczędne w praktyce*, [W:] M. Wesołowska (red.), Budownictwo energooszczędne w Polsce: stan i perspektywy. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2015: s. 333-342.
- 2) BAĆ A., CEBRAT, K. NOWAK Ł.: *Podwójna przegroda w zrównoważonym domu blisko zeroenergetycznym*, „Materiały Budowlane”, 2014, nr 1: s. 22-23.
- 3) BAĆ A.: *Zrównoważenie w architekturze : od idei do realizacji na tle doświadczeń kanadyjskich*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2016.
- 4) BASIŃSKA M., MICHAŁKIEWICZ M.: *Mikrobiologiczna jakość powietrza w budynku pasywnym w czasie jego eksploatacji*. „Instal”, 2011, nr 10: s. 36-39.
- 5) BESLER G.J., BURZYŃSKI Z., MAŁECKI W.: *Efekty pozyskiwania naturalnej energii gruntu. Badania systemów w ogrzewnictwie wentylacji, klimatyzacji i ciepłownictwie*. Wrocław, 1986: s. 205-212.
- 6) BESLER M., SCHWITALLA A., BESLER G.J.: *Intensyfikacja wymiany ciepła i masy w żwirowych wymiennikach*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2011, T. 42, nr 4: s. 132-134.
- 7) BELOK J., WILK-SŁOMKA B.: *Wpływ parametrów oszklenia na zużycie energii w strefie o regulowanej temperaturze*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, z. 63, nr 3: s. 9-16.
- 8) BIEDROŃSKA J.: *Możliwości kształtowania przylegających struktur szklarniowych i ich wpływ na gospodarkę energetyczną budynku*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 9-18.
- 9) BIEDROŃSKA J., FIGASZEWSKI J.: *Wykorzystanie schematów energetycznych w projektowaniu budynków energooszczędnych*. [W:] Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska, red. Bać A., i Kasperski J., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, s. 61-70.
- 10) BŁASZCZYŃSKI T.: *Ecological construction and new technology. Discussion of some technological innovations while improving the building's performance*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2014, z. 2-B, nr 6: s. 173-182.
- 11) BZOWSKA D.: *Ryzyko przegrzania budynków izolowanych cieplnie w okresie letnim*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, a. 63, nr 4: s. 43-52.
- 12) BZOWSKA D.: *Wpływ zmian klimatycznych na temperaturę wewnętrzną budynku*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, z. 2-B, nr 109: s. 37-44.
- 13) CABEZA L.F.: *Introduction to thermal energy storage (TES) systems*. [W:] Advances in Thermal Energy Storage Systems. Woodhead Publishing, 2015: s. 1-28.
- 14) CELADYN W.: *Architektura a systemy roślinne. Studium relacji między elementami architektonicznymi a roślinnymi*. Wydawnictwo PK, Kraków, 1992.

- 15) CELADYN, W.: *Energia w architekturze*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki: teoria i historia”, 2012, T. 57, z. 3: s. 36-56.
- 16) CELADYN W.: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*. Wydawnictwo PK, Kraków, 2004.
- 17) CEPIŃSKI M., BESLER M., BESLER G.J.: *Bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2011, T. 42, nr 3: s. 98-101.
- 18) CHILICKA E., MIJAKOWSKI M.: *Zacienienie budynku przez koronę drzewa – całoroczne natężenie promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni fasady*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2010, T. 41, nr 4: s. 135-140.
- 19) CHOŁAJ M.: *Na rynku – moduł mieszkalny SOLTAG*, „Architektura. Murator”, 2007, nr 03(150): s. 107.
- 20) CHWIEDUK D., JAWORSKI M., JĘDRZEJUK H.: *Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu*. Prace IPPT/Inst. podstawowych problemów techniki, Warszawa, 1990.
- 21) CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2015.
- 22) CHWIEDUK D.: *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*. IPPT, Warszawa, 2006.
- 23) CHWIEDUK D.: *Solar Energy Use for Thermal Application in Poland*. „Polish Journal of Environmental Studies”, 2010, 19, nr 3: s. 473-478.
- 24) CHWIEDUK D.: *Wybrane przykłady zastosowania materiałów PCM w budownictwie*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 29-38.
- 25) CHWIEDUK D.: *Wytyczne tworzenia koncepcji energetycznej budynku*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, R. 109, z. 2-B: s. 45-54.
- 26) CIECHANOWSKI K.: *Podstawy projektowania architektonicznego*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1976.
- 27) COOK J.: *Passive Cooling*. MIT Press, Cambridge, 1989.
- 28) DANIELS K.: *The technology of ecological buildings: Basic principles and measures, examples and ideas*. Birkhäuser Verlag, Boston, 1997.
- 29) DUNNETT N., KINGSBURY N.: *Planting green roofs and living walls*. Timber press, Portland, 2008.
- 30) DYLLA A., HOŁOWNIA P.: *Trójwymiarowe mostki termiczne w narożniku przegród*. „Zeszyty Naukowe. Budownictwo i Inżynieria Środowiska/Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy”, 2001, z. 32(235): s. 53-58.
- 31) ERSKINE R.: *Arctic Architect-Form Follows Climate; Housing in the Tundra; Usage to Conserve Energy*. „Architectural Design”, UK, 1977, 47. nr 11-12: s. 783-790.
- 32) FERENCOWICZ J.: *Wentylacja i klimatyzacja*, Arkady, Warszawa, 1964.
- 33) FILIPPÍN C., LARSEN S.F., GAY E.L.: *Energy improvement of a conventional dwelling in Argentina through thermal simulation*. „Renewable Energy”, 2008, 33, nr 10: s. 2246-2257.

- 34) FIGASZEWSKI J., BIEDROŃSKA J.: *Graficzna prezentacja strategii pasywnego ogrzewania i chłodzenia w budynku*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2014, T. 45, nr 1: s. 19-23.
- 35) FIRLAĞ S., MISZCZUK A.: *Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia*. „Rynek Instalacyjny”, 2016, nr 6: s. 68-72.
- 36) FIRLAĞ S.: *Ograniczenie ryzyka przegrzewania budynków pasywnych*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2013, T. 44, nr 3: s. 111-116.
- 37) FIRLAĞ S.: *Szczelność powietrzna budynków pasywnych i energooszczędnych – wyniki badań*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, R. 109, z. 2-B: s. 105-113.
- 38) FIUK P., KOCZYK H.: *Przegrody zielone – wpływ na ochronę cieplną budynku i jego otoczenie, Cz. 1. Analiza rozwiązań*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2014, T. 45, nr 3: s. 99-105.
- 39) FUCHS M.: *Energy manual: sustainable architecture*. Birkhauser, Basel-Boston-Berlin, 2008.
- 40) GACZOŁ T.: *Kominy słoneczne – wybrane przykłady*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2010, R. 107, z. 8-A: s. 129-136.
- 41) GACZOŁ T.: *Wentylacja grawitacyjna w budynkach mieszkalnych – wybrane zagadnienia*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 81-88.
- 42) GACZOŁ T.: *Wentylacja jako czynnik kształtowania architektonicznego: praca doktorska*. 2002.
- 43) GACZOŁ T.: *Wentylacja naturalna systemu nawiewu – wybrane przykłady*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2007, z. 4-A, nr 10: s. 64-70.
- 44) GAŁĄZKA T.: *Krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii*. „Izolacje”, 2016, R. 21 nr 1: s. 20-26.
- 45) GARBALIŃSKA H., STRZAŁKOWSKI J.: *Kruszywo jako czynnik kształtujący parametry cieplne betonów o niemodyfikowanej matrycy cementowej*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, z. 63, nr 3: s. 95-104.
- 46) GARBALIŃSKA H.: *Wpływ rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych na ich charakterystyki cieplne*. [W:] *Polityka państwa i kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego*. red. Wesołowska M., Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2015: s. 143-154.
- 47) GERYŁO R.: *Współdziałanie osłon przeziernych i osłon przeciwsłonecznych w zapewnieniu komfortu cieplnego*. „Świat Szkła” 2015, R. 20, nr 4(195): s. 24-27.
- 48) GOLĄŃSKI M.: *Materiały budowlane jako masa termiczna w budynkach*. „Przegląd Budowlany”, 2011, R. 82, nr 12: s. 88-93.
- 49) GÓRECKA M.: *Słoneczna termomodernizacja na przykładzie projektu architektonicznego*. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 2015, 14, nr 2: s. 63-73.
- 50) GÓRKA A., GÓRZAŃSKI R.: *Bezpośrednie chłodzenie wyparne budynków*. „Rynek Instalacyjny”, 2014, nr 7-8: s. 69-73.
- 51) GRUDZIŃSKA M.: *Czynniki wpływające na efektywność energetyczną obudowy balkonu*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, R. 109, z. 2-B: s. 149-157.

- 52) GRUNDKOWSKI J.: *Energooszczędne przeszklenia*. „Świat Szkła” 2012, r. 17, nr 2(160): s. 26-27.
- 53) GRYGIEREK K., FERDYN-GRYGIEREK J.: *Efektywne energetycznie projektowanie okien w budynku jednorodzinnym*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2017, T. 48, nr 10: s. 412-417.
- 54) GUZOWSKI M.: *Towards zero-energy architecture: new solar design*. Laurence King, London, 2010.
- 55) HOLZER P.: *Die Bilanz des Experimenters*, „DETAIL GREEN”, 2011, nr 2/11: s. 28-31.
- 56) JADWISZCZAK P.: *Budynek energooszczędny – wprowadzenie*. „Rynek Instalacyjny”, 2013, nr 3: s. 48-52.
- 57) JADWISZCZAK P.: *Caloroczny bilans cieplny budynku energooszczędnego*. „Rynek Instalacyjny”, 2013, nr 4: s. 29-32.
- 58) JADWISZCZAK P.: *Wpływ otoczenia na bilans energetyczny budynku energooszczędnego*. „Rynek Instalacyjny”, 2013, nr 5: s. 61-64.
- 59) JAWORSKI M.: *Zastosowanie materiałów zmiennofazowych (PCM) do zwiększenia efektywności energetycznej budynków*. „Izolacje”, 2009, R. 14, nr 4(135): s. 56-61.
- 60) JEZIERSKI W., BOROWSKA J.: *Analiza parametrów cieplnych współczesnej stolarki okiennej*. „Izolacje”, 2017, R. 22, nr 4(221): s. 50-53.
- 61) JEZIERSKI W., BOROWSKA J.: *Wpływ przenikania ciepła stolarki okiennej o zmiennej konfiguracji*. „Izolacje”, 2017, R. 22, nr 11-12(215): s. 90-94.
- 62) JĘDRZEJEWSKI L.: *GWC – tania energia z własnego podwórka. Gruntowne oszczędności*. „Magazyn Instalatora”, 2003, nr 11: s. 50-51.
- 63) KACZMARZYK M.: *Ocena efektywności izolacyjno-akumulacyjnej przegród zewnętrznych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2014, z. 61, nr 3/II: s. 237-250.
- 64) KACZMARZYK M.: *Wpływ współczynnika kształtu A/V na wielkość strat ciepła w budynku w świetle rosnących wymogów dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 2/II: s. 45-54.
- 65) KAMAL M.A.: *An overview of passive cooling techniques in buildings: design concepts and architectural interventions*. „Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture”, 2012, 55.1: s. 84-97.
- 66) KAMIENIARZ M.: *Dom podziemny – powrót do przeszłości w budownictwie ekologicznym*. „Izolacje”, 2009, R. 14, nr 7-8(138): s. 72-74.
- 67) KASPERKIEWICZ K.: *Wybrane zagadnienia oceny i projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych*. „Prace Instytutu Techniki Budowlanej”, 2005, R. 34, nr 2: s. 23-37.
- 68) KIDO E.M., CYWIŃSKI Z.: *O nowych gatunkach szkła w Japonii*. „Świat Szkła”, 2015, R. 20, nr 5(196): s. 44-49.
- 69) KISILEWICZ T.: *Pasywne możliwości kształtowania komfortu cieplnego w budynkach energooszczędnych*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2014, nr 12(45): s. 463-468.

- 70) KISIELEWICZ T.: *Termiczne i ekonomiczne aspekty stosowania izolacji transparentnej*. „Izolacje”, 2010, R. 15, nr 1(142): s. 30-35.
- 71) KIEJNA K.: *Jak gruby powinien być styropian?* „Izolacje”, 2017, R. 22, 7-8(218): s. 66-70.
- 72) KLEMM P.: *Budownictwo ogólne*. Tom 2. Fizyka budowli. Arkady, Warszawa, 2005.
- 73) KNERA D., SZCZEPAŃSKA-ROSIĄK E., HEIM D.: *Providing an interior daylight environment through the use of light pipes*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2015, R.111, z. 3-B: s. 195-203.
- 74) KOKOZOW K.: *Podstawy projektowania architektonicznego*. Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego, Warszawa, 1962.
- 75) KOTARSKA K., KOTARSKI Z.: *Ogrzewanie energią słoneczną*. Wydawnictwo czasopism i książek techn. NOT-SIGMA, Warszawa 1989.
- 76) KRASOŃ J.: *Możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w pasywnych rozwiązaniach ściennych elementów murowych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2014, z. 61, nr 3/II: s. 297-306.
- 77) KRAUSE C.: *Prefabrykowane ściany zewnętrzne: przykłady rozwiązań, złącza i spoiny, faktury elewacyjne, osłony przeciwsłoneczne*. Arkady, Warszawa, 1974.
- 78) KRAWCZYK D.A., SERRANO A.R.: *Analiza struktury zapotrzebowania na energię do celów grzewczych i chłodniczych w zależności od lokalizacji budynku*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2016, T. 47, nr 3: s. 118-120.
- 79) KRICK B.: *Okna domu pasywnego – dotychczasowy rozwój i perspektywy*. „Świat Szkła”, 2015, nr 3(194): s. 26-29.
- 80) KUCZIA P.: *Solarna aktywacja budynków: 10 rozwiązań strukturalnych*, „Czasopismo techniczne. Architektura”, 2011, z. 11, z. 2-A2: s. 128-134.
- 81) KUZNIK F., JOHANNES K., DAVID D.: *Integrating phase change materials (PCMs) in thermal energy storage systems for buildings*. [W:] *Advances in Thermal Energy Storage Systems*. 2015: s. 325-353.
- 82) LAL S., KAUSHIK S.C., BHARGAV P.K.: *Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning*. „International Journal of Development and Sustainability”, 2013, 2.1: s. 277-279.
- 83) LASKOWSKI L.: *Leksykon podstaw budownictwa niskoenergochłonnego*. Polcen, Warszawa, 2009.
- 84) LASKOWSKI L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
- 85) LEWANDOWSKI Maciej, KUCZIA Piotr.: *Dom ekologiczny koło Pszczyny*, „Architektura. Murator”, 2007, nr 6(153): s. 54-59.
- 86) LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku*. „Rynek Instalacyjny”, 2010, nr 10: s. 32-38.
- 87) LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA-IWANIAK W.: *Bilans cieplny w budynku, zastosowanie izolacji transparentnych (cz. 2)*. „Rynek Instalacyjny”, 2011, nr 1-2: s. 34-36.

- 88) LICHOLAI L., KRASOŃ J.: Udział materiału zmienno-fazowego w pracy energetycznej przegrody kolektorowo-akumulacyjnej w przejściowych warunkach klimatycznych. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 1: s. 495-504.
- 89) LICHOLAI L., MUSIAŁ M., MIĄSIK P., STARAKIEWICZ A.: *Wpływ organicznych materiałów zmienno-fazowych na efektywność energetyczną przegrody przezroczystej*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, 63, nr 4: s. 329-337.
- 90) MARCHWIŃSKI J., ZIELONKO-JUNG K.: Współczesna architektura proekologiczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.
- 91) MARKIEWICZ P.: *Zintegrowane projektowanie energetyczne*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2015.
- 92) MARKOWSKI A.: *Przyszłość jest teraz*, „Ładny Dom”, 2008, nr 3(113): s. 36-43.
- 93) MATRIUK G.: *Szkło SunGuard PVGU z ogniwami fotowoltaicznymi*. „Świat Szkła”, 2012, nr 11(168): s. 32.
- 94) MIKOŚ J.: *Budownictwo ekologiczne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1996.
- 95) MUSIAŁ M.: *Zastosowania materiałów PCM we współpracy z przegrodami transparentnymi*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 1: s. 15-22.
- 96) NAKIELSKA M., PAWŁOWSKI K.: *Komin słoneczny jako przykład pasywnego systemu chłodzenia budynku*. „Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, 2016, v. 7, nr 3: s. 149-152.
- 97) NAKIELSKA M.: *Komin słoneczny – studium przypadku*. „Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska/Uniwersytet Zielonogórski”, 2015, nr 160(40): s. 88-95.
- 98) NALEPA K., NEUGEBAUER M., SOŁOWIEJ P.: *Koncepcja i budowa gruntowego wymiennika ciepła jako elementu systemu wentylacyjnego budynku mieszkalnego*. „Inżynieria Rolnicza”, 2008, R. 12, nr 2(100): s. 203-208.
- 99) NANTKA M.B.: *Wentylacja z elementami klimatyzacji*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015.
- 100) NEYFERT E.: *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego*. Arkady, Warszawa, 2011.
- 101) NIEZABITOWSKI A.: *Narracja architektoniczna – interpretacje, spekulacje czy fakty empiryczne?* „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, 2016, T. 61, z. 1: s. 5-30.
- 102) NOWAK K., ZASTAWNA-RUMIN A.: *Analysis of test studies of the building barrier containing PCM*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2015, R.111, z. 5-B: s. 207-213.
- 103) NOWAK K., ZASTAWNA-RUMIN A.: *The possibility of using PCM impregnated gypsum boards of different temperature phase change*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2014, R. 111, z. 3-B: s. 343-351.
- 104) NOWAK, Ł. , CEBRAT, K. , BAĆ, A.: *Double skin house concept – a study of buffer zone usage in a single family home*, „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2014, R. 111, z. 3-B: s. 353-361.

- 105) NOWAK-DZIESZKO K., ROJEWSKA-WARCHAŁ M.: Simulation of night cooling in a single dwellings of large-panel building. „Czasopismo Techniczne, Budownictwo”, 2015, z. 4-B: s. 15-20.
- 106) NOWAK-DZIESZKO K., ROJEWSKA-WARCHAŁ M.: Simulation of night cooling in a single dwellings of large-panel building. „Czasopismo Techniczne, Budownictwo”, 2016, z. 1-B, nr 6: 2016: s. 73-78.
- 107) NOWAKOWSKI E.: *Kaprysy działania wentylacji naturalnej pomieszczeń*. „Rynek Instalacyjny”, 2012, nr 6: s. 77-79.
- 108) NOWAKOWSKI E.: *Kominy wentylacyjne w budownictwie*, BIT 2000, 5.
- 109) NOGAJ K., TURSKI M., SEKRET R.: *Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych PCM do akumulacji ciepła w systemach ciepłowniczych. Cz. 1. Metodyka wyboru materiału PCM*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2017, T. 48, nr 2: s. 47-52.
- 110) OKOŁOWICZ W., MARTYN D.: *Regiony klimatyczne. Atlas Geograficzny Polski*. PPWK, Warszawa, 1984.
- 111) OLGYAY V.: *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, Princeton-Oxford, 2015.
- 112) OSTROWSKA B.: *Energooszczędność jako czynnik kształtowania architektury. Tradycja i współczesność*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, 2012, R. 109, z. 7-A: s. 121-138.
- 113) OSTRÝ M., BEČKOVSKÝ D.: *Konstrukcje z wykorzystaniem fazowo-zmiennych materiałów*, „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2010, R. 107, z. 2-B: s. 172-176.
- 114) OWCZAREK Z.: *Wpływ nachylenia okien i szyb zespolonych na współczynnik przenikania ciepła*. „Prace Instytutu Techniki Budowlanej”, 2009, R. 38, nr 2: 3-22.
- 115) PEŁECH A.: *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, OW Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 2013.
- 116) PFEIFFER B.B., WRIGHT F.L.: *1867-1959: Building for Democracy*. Taschen, Koln, 2004.
- 117) PIĄTEK G., KONIECZNY R.: *Dom Bezpieczny*. „Architektura. Murator”, 2009, nr 12(183): s. 64-73.
- 118) PIEBIAK I.: *Energooszczędne metody kształtowania przyziemia oraz posadowienia budynków*. „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2012, R. 109, z. 2-B: s. 331-336.
- 119) PIEBIAK I.: *Zasady doboru współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przeszkleń w energooszczędnych budynkach jednorodzinnych*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2017, z. 64, nr 1: s. 181-188.
- 120) PLUTA Z.: *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013.
- 121) PŁAZIAK M.: *Domy energooszczędne i pasywne jako nieunikniona przyszłość budownictwa w Polsce*. „Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego”, 2013, v. 21: s. 173-188.

- 122) PŁUSZKA P.: *Układ pasywnego chłodzenia budynku jednorodzinnego z wykorzystaniem gruntowego wymiennika ciepła i komina solarnego*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2017, T. 48 nr 3: s. 119-125.
- 123) RAMCZYK M.: Uwarunkowania prawne budownictwa energooszczędnego w Polsce. [W:] *Budownictwo energooszczędne w Polsce-stan i perspektywy*, red. Wesołowska M., Wyd. Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz, 2015: s. 45-56.
- 124) RYŃSKA E.D., KOŹMIŃSKA U., WÓJTOWICZ B.: Okna w przepisach i praktyce. [W:] *Warunki techniczne*.pl red. Lewandowska K., Warszawa 2018 nr 2(23): s. 24-31.
- 125) RZEŹNIK I., ŁADECKA B.: *Wpływ usytuowania okna i osłony przeciwsłonecznej w formie balkonu na bilans cieplny okna*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2013, T. 44 nr 9: s. 394-397.
- 126) SABINIAK G.H.: *Wentylacja*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2017.
- 127) SADOWSKA B.: *Model projektowania niskoenergochłonnych budynków mieszkalnych w zabudowie jednorodzinnej*. „Izolacje”, 2013, R. 18, nr 1(172): s. 14-20.
- 128) SAROSIEK W., KALINOWSKA-WICHROWSKA K.: *Energetyczno-ekonomiczny aspekt okien w budynkach niskoenergetycznych*. „Izolacje”, 2014, R. 19, nr 7-8(188): s. 56-60.
- 129) SMOLEC W.: *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*. Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa, 2000.
- 130) SOBIECH M.: *O akumulacji ciepła w budynkach*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2017, R. 73, nr 2: s. 74-76.
- 131) SPRINGER M.: *Dobór materiałów izolacyjnych w warunkach budownictwa zrównoważonego*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2011, T. 42, nr 7-8: s. 303-305.
- 132) STAISNY G., MIŁOBĘDZKI M.: *Dom przyszłości*. „Architektura. Murator”, 2002, nr 11(98): s. 9-19.
- 133) STEC W., BAĆ A., CEBRAT K.: *Zintegrowany proces projektowy w praktyce*. „Instal”, 2012, nr 1: s. 8-12.
- 134) SZCZEPANIAK P., WESOŁOWSKA M.: *Wentylacja grawitacyjna budynku jako element jego charakterystyki energetycznej*. „Izolacje”, 2009, R. 14, nr 10(140): s. 32-35.
- 135) SZPARKOWSKI Z.: *System ekologiczny architektury zakładu przemysłowego*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.
- 136) SZYSZKA J., LICHOLAI L., STARAKIEWICZ A.: *Przegrody słonecznie aktywne – szczelinowa przegroda kolektorowo-akumulacyjna SPKA*. „Izolacje”, 2011, R 16, nr 3(153): s. 30-35.
- 137) TĄTA D., FOIT H.: *Poszukiwanie najkorzystniejszej wielkości okien budynku pasywnego*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, z. 63, nr 3: s. 497-506.
- 138) TOPOLAŃSKA J., KRAWCZYK D.: *Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła – przegląd stosowanych rozwiązań*. „Rynek Instalacyjny”, 2014, nr 4: s. 78-81.

- 139) TOPOLAŃSKA J., KRAWCZYK D.A.: *Gruntowy powietrzny wymiennik ciepła typu żwirowego jako przykład wykorzystania OZE przy budynkach jednorodzinnych – efekty energetyczne i ekonomiczne*. „Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, 2017, v. 8 nr 3: s. 141-147.
- 140) TOPOLAŃSKA J.: *Porównanie charakterystyk termicznych gruntowych powietrznych wymienników ciepła typu rurowego i płytowego*. Praca doktorska, Politechnika Białostocka, 2017.
- 141) TRZASKOWSKA E.: *Wykorzystanie roślin w projektowaniu architektonicznym (pnącza, ogrody wertykalne)*. „Teka. Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr.”, 2010, T. 6: s. 110-121.
- 142) TWAROWSKI M.: *Słońce w architekturze*. Arkady, Warszawa, 1960.
- 143) WCISŁO-KUCHAREK P., RYMS M., KLUGMANN-RADZIEMSKA E., DENDA, H.: *Materiały zmiennofazowe używane w budownictwie do zapewnienia komfortu cieplnego w pomieszczeniach*. „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2017, T. 48, nr 5: s. 196-201.
- 144) WEHLE-STRZELECKA S.: *Architektura słoneczna w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym: wybrane problemy*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2004.
- 145) WEHLE-STRZELECKA S.: *Związki z tradycją we współczesnych energooszczędnych rozwiązaniach architektoniczno-urbanistycznych – na przykładzie architektury słonecznej. The relation with tradition in modern energy-efficient architecture and urbanism on the example of solar architecture*. [W:] Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych, Commission of Architecture, Urban Planning and Landscape Studies, Polska Akademia Nauk, Oddział w Lublinie, 2006, nr 2: 170-183 r.
- 146) WESOŁOWSKI Ł.: *Wpływ przeszklonych ścian osłonowych na komfort środowiska w pomieszczeniach mieszkalnych – wybrane aspekty*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 3/I: s. 497-510.
- 147) WILK-SŁOMKA B., BELOK J.: *Parametry oszklenia a komfort cieplny w strefie o regulowanej temperaturze*. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2016, Z. 63, nr 3: s. 517-524.
- 148) WILK-SŁOMKA B., STEIDL T.: *Projektowe charakterystyki energetyczne przegród z izolacją transparentną*. „Izolacje”, 2011, R. 16, 5(156): s. 86-89.
- 149) WLAZEŁ P.: *Folie okienne przeciwsłoneczne – selektywne*. „Świat Szkła”, 2012, nr 3(161): s. 28.
- 150) WLAZEŁ P.: *„Inteligentna” folia okienna na lato i zimę*. „Świat Szkła”, 2012 5(163): s. 40.
- 151) WLAZEŁ P.: *Prawidłowe parametry redukcji ciepła folii okiennych*. „Świat Szkła”, 2012, nr 1(159): s. 33-34.
- 152) ZASTAWNA A.: *Izolacja aerożelowa na tle izolacji tradycyjnych*. „Izolacje”, 2010, R. 15, nr 9(149): s. 32-36.
- 153) ZASTAWNA-RUMIN A., NOWAK K.: *Badanie przegrody zawierającej materiał fazowo zmienny poddanej zmiennym warunkom termicznym w komorze*

klimatycznej. „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, 2015, z. 62, nr 2: s. 587-594.

- 154) ZIELONKO-JUNG K.: *Kształtowanie elewacji budynku z uwzględnieniem optymalnego nasłonecznienia przeszkleń*. „Świat Szkła”, 2014, R. 19, nr 4: s. 19-21.
- 155) ZIELONKO-JUNG K., MARCHWIŃSKI J.: *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2012.
- 156) ŻURAWSKI J.: *Energooszczędność w budownictwie. Cz. 20. Izolacyjność termiczna przegród przezroczystych przy zastosowaniu osłon przeciwsłonecznych*. „Izolacje”, 2009, R. 14, nr 11-12: s. 42-45.
- 157) ŻURAWSKI J.: *Oslony przeciwsłoneczne a systemy sterowania i zarządzania energią*. „Świat Szkła”, 2006, R. 21, nr 2(204): s. 24-26.
- 158) ŻURAWSKI J.: *Wpływ osłon przeciwsłonecznych na bilans energetyczny budynku*. „Świat Szkła”, 2015, R. 20, nr 11: s. 17-23.

5.2 AKTY PRAWNE

- 1) DzU poz. 926 z 13.08.2013 r. [Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie] – Załącznik nr 2
- 2) PN-EN ISO 6946:2008
- 3) PN-64/B-03404

5.3 WITRYNY INTERNETOWE

- 1) <https://aart.dk>
- 2) <https://www.activehouse.info>
- 3) <https://www.andrewpurcell.net>
- 4) <https://www.archdaily.com>
- 5) <http://architypereview.com>
- 6) <http://www.bryla.pl>
- 7) <http://www.buildup.eu>
- 8) <https://www.construction21.org>
- 9) <http://www.detail-online.com/>
- 10) <https://divisare.com>
- 11) <https://ec.europa.eu>
- 12) <https://eficienciaenergtica.blogspot.com>
- 13) <https://www.firstunited.dk>
- 14) <http://www.hta.co.uk>
- 15) <http://www.izbaarchitektow.pl>
- 16) <http://jems.pl>

- 17) <http://www.kingspanlighthouse.com>
- 18) <http://kip.waw.pl>
- 19) <http://www.kwkpromes.pl>
- 20) <http://ladnydom.pl>
- 21) <https://www.mos.gov.pl>
- 22) <https://www.muratorplus.pl>
- 23) <http://www.najlepszedomy.pl>
- 24) <http://nfosigw.gov.pl>
- 25) <http://www.public.asu.edu>
- 26) <http://www.sbd2050.org>
- 27) <https://www.sheppardrobson.com>
- 28) <https://www.theguardian.com>
- 29) <https://velcdn.azureedge.net>
- 30) <https://www.velux.pl>
- 31) <https://www.youtube.com>

SPIS ILUSTRACJI

- RYSUNEK rys. 1.** – Opracowanie własne na podstawie: OKOŁOWICZ W., MARTYN D.: *Regiony klimatyczne*. Atlas Geograficzny Polski. PPWK, Warszawa, 1984.
- RYSUNEK 1.2.1, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.2.2, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 2.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 3.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 4.** – Opracowanie własne, na podstawie LASKOWSKI L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005., s. 139
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 5.** – OLGAY V.: *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, Princeton-Oxford, 2015., s. 89
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 6.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 7.** – Opracowanie własne, na podstawie COOK J.: *Passive Cooling*. MIT Press, Cambridge, 1989.
- RYSUNEK 1.3.4, rys. 8.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.4.1, rys. 1.** – Opracowanie własne na podstawie CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011., s. 230
- RYSUNEK 1.4.1, rys. 2.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.4.2, rys. 1.** – Opracowanie własne na podstawie CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011., s. 233
- RYSUNEK 1.4.2, rys. 2.** – Opracowanie własne na podstawie CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011., s. 233
- RYSUNEK 1.4.2, rys. 3.** – Opracowanie własne na podstawie SZYSZKA J., LICHOLA L., STARAKIEWICZ A.: *Przegrody słonecznie aktywne – szczelinowa przegroda kolektorowo-akumulacyjna SPKA*. „Izolacje”, 2011, R 16, nr 3(153): s. 30-35.
- RYSUNEK 1.4.2, rys. 4.** – Opracowanie własne na podstawie CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011., s. 240
- RYSUNEK 1.4.2, rys. 5.** – Opracowanie własne na podstawie CHWIEDUK D.: *Energetyka słoneczna budynku*. Arkady, Warszawa, 2011., s. 240
- RYSUNEK 1.4.3, rys. 1.** – Opracowanie własne na podstawie MARCHWIŃSKI J., ZIELONKO-JUNG K.: *Współczesna architektura proekologiczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.
- RYSUNEK 1.5, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.5, rys. 2.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.5, rys. 3.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.5, rys. 4.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.5, rys. 5.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.5, rys. 6.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.5, rys. 7.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.2, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.2, rys. 2.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.2, rys. 3.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.2, rys. 4.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.3, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.4, rys. 1.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 1.6.4, rys. 2.** – Opracowanie własne
- RYSUNEK 2.3.1, rys. 1.** – źródło: <https://www.jems.pl>
- RYSUNEK 2.3.1, rys. 2.** – źródło: <https://www.jems.pl>
- RYSUNEK 2.3.1, rys. 3.** – źródło: <https://www.jems.pl>
- RYSUNEK 2.3.1, rys. 4.** – źródło: <https://www.jems.pl>
- RYSUNEK 2.3.1, rys. 5.** – Opracowanie własne, na podstawie STAISNY G., MIŁOBĘDZKI M.: Dom przyszłości. „Architektura. Murator”, 2002, nr 11(98): s. 9-19.
- RYSUNEK 2.3.2, rys. 1.** – źródło: <http://www.velux.com>
- RYSUNEK 2.3.2, rys. 2.** – źródło: <http://www.velux.com>
- RYSUNEK 2.3.2, rys. 3.** – źródło: <http://www.velux.com>
- RYSUNEK 2.3.2, rys. 4.** – źródło: <http://www.velux.com>
- RYSUNEK 2.3.2, rys. 5.** – źródło: <https://www.activehouse.info>
- RYSUNEK 2.3.2, rys. 6.** – źródło: <https://www.activehouse.info>
- RYSUNEK 2.3.3, rys. 1.** – źródło: <https://www.archdaily.com>
- RYSUNEK 2.3.3, rys. 2.** – źródło: <https://www.archdaily.com>
- RYSUNEK 2.3.3, rys. 3.** – źródło: <https://www.archdaily.com>
- RYSUNEK 2.3.3, rys. 4.** – źródło: <https://www.archdaily.com>
- RYSUNEK 2.3.3, rys. 5.** – źródło: <https://www.archdaily.com>
- RYSUNEK 2.3.3, rys. 6.** – Opracowanie własne, na podstawie LEWANDOWSKI Maciej, KUCZIA Piotr.: Dom ekologiczny koło Pszczyny, „Architektura. Murator”, 2007, nr 6(153): s. 54-59.

RYSUNEK 2.3.4, rys. 1. – źródło: <https://www.sheppardrobson.com>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 2. – źródło: <https://www.sheppardrobson.com>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 3. – źródło: AlSharhan D., Ozcelik E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.public.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 4. – Opracowanie własne, na podstawie: AlSharhan D., Ozcelik E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.public.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 5. – źródło: <https://www.sheppardrobson.com>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 6. – źródło: <http://www.solaripedia.com>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 7. – Opracowanie własne, na podstawie: AlSharhan D., Ozcelik E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.public.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>
RYSUNEK 2.3.4, rys. 8. – Opracowanie własne, na podstawie: AlSharhan D., Ozcelik E.S.: Kingspan Lighthouse, <http://www.public.asu.edu/~kroel/www558/The%20Kingspan%20Lighthouse%20paper.pdf>
RYSUNEK 2.3.5, rys. 1. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.5, rys. 2. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.5, rys. 3. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.5, rys. 4. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.5, rys. 5. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 1. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 2. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 3. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 4. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 5. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 6. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 7. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 8. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.6, rys. 9. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 1. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 2. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 3. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 4. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 5. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 6. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.7, rys. 7. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 2.3.8, rys. 1. – źródło: <https://www.detail-online.com>
RYSUNEK 2.3.8, rys. 2. – źródło: <https://www.detail-online.com>
RYSUNEK 2.3.8, rys. 3. – źródło: <https://www.detail-online.com>
RYSUNEK 2.3.8, rys. 4. – źródło: <https://www.detail-online.com>
RYSUNEK 2.3.8, rys. 5. – Opracowanie własne, na podstawie <http://www.hta.co.uk/projects/velux-carbonlight-houses>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 1. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 2. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 3. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 4. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 5. – źródło: <https://velcdn.azureedge.net>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 6. – źródło: <https://velcdn.azureedge.net>
RYSUNEK 2.3.9, rys. 7. – źródło: <https://velcdn.azureedge.net>
RYSUNEK 2.3.10, rys. 1. źródło: Grupa Synergia, Plansze konkursowe oraz Opis autorski projektu
RYSUNEK 2.3.10, rys. 2. źródło: Grupa Synergia, Plansze konkursowe oraz Opis autorski projektu
RYSUNEK 2.3.10, rys. 3. źródło: Grupa Synergia, Plansze konkursowe oraz Opis autorski projektu
RYSUNEK 2.3.10, rys. 4. źródło: Grupa Synergia, Plansze konkursowe oraz Opis autorski projektu
RYSUNEK 2.3.10, rys. 5. źródło: Grupa Synergia, Plansze konkursowe oraz Opis autorski projektu
RYSUNEK 2.3.11, rys. 1. – źródło: <https://www.nieman.nl>
RYSUNEK 2.3.11, rys. 2. – źródło: <http://www.activehouse.info>
RYSUNEK 2.3.11, rys. 3. – Opracowanie własne, na podstawie <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.11, rys. 4. – źródło: <http://www.activehouse.info>
RYSUNEK 2.3.11, rys. 5. – źródło: <http://www.activehouse.info>
RYSUNEK 2.3.11, rys. 6. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 2.3.11, rys. 7. – źródło: <http://www.velux.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 1. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 2. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 3. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 4. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 5. – źródło: <https://www.dezeen.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 6. – źródło: <https://www.dezeen.com>
RYSUNEK 3.2, rys. 7. – źródło: <https://www.dezeen.com>
RYSUNEK 3.3.1, rys. 1. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.3.1, rys. 2. – źródło: <https://www.archdaily.com>

150

RYSUNEK 3.6, rys. 3. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 4. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 5. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 6. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 7. – źródło: <https://www.archdaily.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 8. – źródło: completeenergy.co.uk
RYSUNEK 3.6, rys. 9. – źródło: <http://www.solaripedia.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 10. – źródło: <http://www.solaripedia.com>
RYSUNEK 3.6, rys. 11. – źródło: <https://www.archdaily.com>

STRESZCZENIE

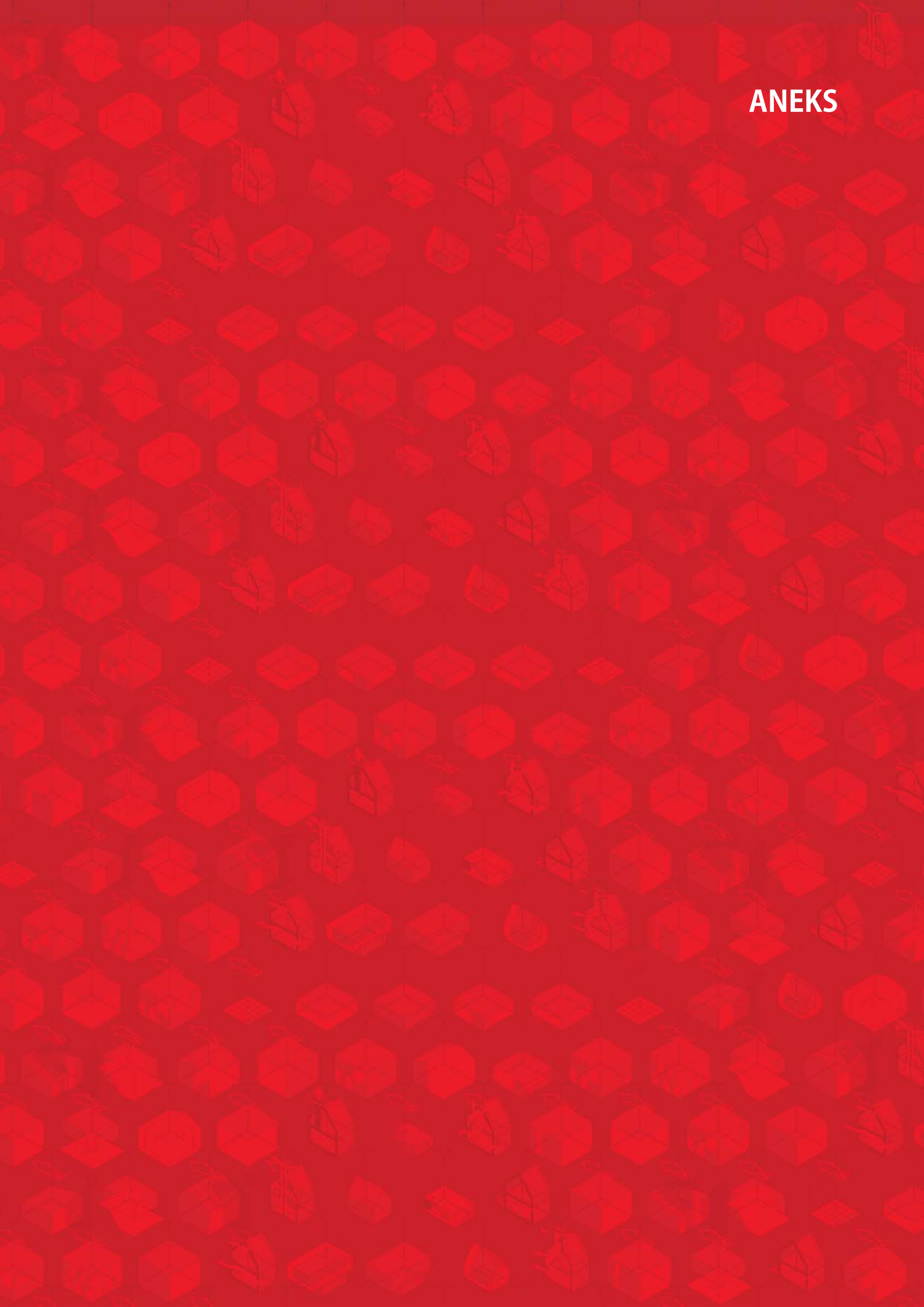
Praca doktorska dotyczy wpływu rozwiązań i strategii pasywnych ograniczających zapotrzebowanie na energię w budownictwie jednorodzinnych w klimacie umiarkowanym ciepłym na formę architektoniczną. Rozwiązania pasywne oparte na prostych zjawiskach fizycznych, jako zintegrowane często w znacznym stopniu ze strukturą budynku, mają istotny wpływ na jego formę. Wywodząc się z rozwiązań znanych w architekturze różnych regionów, od tysięcy lat są ich reinterpretacją i wydajniejszą formą. Ich forma i występowanie widoczne jest w obiektach o różnym stopniu energooszczędności. Intensywność występowania form skojarzonych z rozwiązaniami pasywnymi różni się jednak w zależności od tego poziomu. Imperatyw energooszczędności realizowany za pomocą rozwiązań pasywnych ma różne konsekwencje architektoniczne i poziom ich eksponowania przez projektantów. W oparciu o zdobytą wiedzę i analizę 124 obiektów powstałych po roku 2002 wykazano konsekwencje architektoniczne stosowanych rozwiązań w zakresie: zachowania energii, układu funkcjonalnego, zysków solarnych, oświetlenia i wentylacji. Praca zawiera przedstawienie rozwiązań pasywnych i zjawisk związanych z tą tematyką, analizę wpływu tych rozwiązań na formę architektoniczną oraz omówienie konsekwencji architektonicznych rozwiązań występujących w architekturze budynków jednorodzinnych.

SŁOWA KLUCZOWE: architektura, budownictwo energooszczędne, strategie pasywne, rozwiązania pasywne, energia w architekturze

SUMMARY

This PhD thesis analyses the impact of passive building systems and techniques which lower the building's demand for energy on architectural form of single houses located in temperate climate. The passive building systems and design solutions which are based on naturally occurring physical phenomenon are often very much integrated into the final form of the buildings highly impacting their final shape. Deriving from building methods known in architecture of various regions for centuries, the passive building design solutions are a new interpretation of those methods characterised by a fresh formal approach. The passive building systems are employed in buildings of various energy efficiency. Their number incorporated in a single design however closely relates to how energy efficient the building is. Each designer responds in his/her manner to energy efficient brief set by the Client resulting in various approaches to traditional passive building systems. Case studies of 124 buildings constructed after 2002 have informed a far reaching analysis of how the passive building systems impact: building's energy demand, spacial planning, solar gains, natural lighting and natural ventilation. This thesis therefore sums up a range of passive building design solutions and presents their formal consequences on single house design.

KEYWORDS: Architecture, energy-efficient building techniques, passive building design solutions, passive building systems, energy-efficiency in architecture

The background of the entire page is a repeating pattern of red isometric cubes and hexagons. The cubes are arranged in a staggered grid, with some cubes appearing slightly more prominent than others, creating a three-dimensional effect. The hexagons are interspersed between the cubes, forming a continuous geometric tessellation.

ANEKS

ZDJĘCIE	LOKALIZACJA (KRAJ)	LOKALIZACJA (miasto)	ARCHITEKT	DATA POWSTANIA	POWIERZCHNIA A [m ²]	ŹRÓDŁO
	Austria	Enns	Bau Kultur			https://www.archdaily.com/1182/seifert-house-bau-kultur
	Austria	Vienna	Synn Architekten	2009	196	https://www.archdaily.com/54911/haus-elise-synn-architekten
	Austria	Neuberg im Burgenland	Architects Collective ZT GmbH	2012	300	https://www.archdaily.com/242734/i-house-architects-collective/50185a7128ba0d33a8000893-l-house-architects-collective-image
	Austria	Sankt Florian	[tp3] architekten	2014		https://www.archdaily.com/543390/residential-building-dmt-tp3-architekten
	Austria	Vienna	Zoran Bodrozic	2015	227	https://www.archdaily.com/796214/haus-33-zoran-bodrozic
	Austria		Bernardo Bader	2006	120	https://www.archdaily.com/53503/house-ema-haus-architekt-di-bernardo-bader
	Austria	Linz	Najjar-Najjar Architects	2008	420	https://www.archdaily.com/73638/villa-a-najjar-najjar-architects/50126a3728ba0d1b4c0006cc-villa-a-najjar-najjar-architects-photo
	Austria	Zirl	Ohnmacht Flamm Architekten	2008	240	https://www.archdaily.com/202322/kiko-ohnmacht-flamm-architekten

	Austria	Pressbaum	Juri Troy Architects	2010		https://www.archdaily.com/457737/sunlighthouse-juri-troy-architects
	Austria	Radstadt	LP Architektur	2010		https://www.archdaily.com/89847/kramer-house-lp-architektur
	Austria	Hörbranz	Juri Troy Architects	2011	138	https://www.archdaily.com/457671/house-j-t-juri-troy-architects
	Austria	Althöflein	abendroth architekten	2013	305	https://www.archdaily.com/580628/white-pine-bungalow-abendroth-architekten
	Austria	Hutten	Juri Troy Architects	2013	100	https://www.archdaily.com/457693/house-under-the-oaks-juri-troy-architects
	Austria	Neustift im Stubaital	Madritsch + Pfurtscheller	2016	106.8	https://www.archdaily.com/803369/house-moser-madritsch-plus-pfurtscheller
	Austria	Haag Am Hausruck	tp3 architekten	2008		https://www.archdaily.com/178042/house-mhg-tp3-architekten
	Austria	RADSTADT	LP ARCHITEKTUR	2012		https://divisare.com/projects/304482-lp-architektur-volker-wortmeyer-t-s-residence
	Belgia	Kortrijk	HUB	2007	140	https://www.archdaily.com/525736/gran-passive-house-skatchkoff-hub

	Belgia	Rotselaa	AST 77 Architecten	2010	118	https://www.archdaily.com/306183/low-energy-bamboo-house-ast-77-architecten
	Belgia	Sint-Pieters-Leeuw	Sint-Pieters-Leeuw	2014	290	https://www.archdaily.com/539032/leeuw-house-nu-architectuuratelier
	Belgia	Genk	Cocoon Architecten	2017		https://www.archdaily.com/887667/square-house-cocoon-architecten
	Belgia	Asse	BLAF Architecten	2009		https://www.archdaily.com/423832/passive-house-with-textile-skin-blaf-architecten
	Belgia	Brussels	L'Escaut Architectures	2009	180	https://www.archdaily.com/291721/detached-house-in-ucelle-lescaut-architectures
	Belgia	Lokeren	BLAF Architecten	2011	297	https://www.archdaily.com/423857/zero-energy-house-lokeren-blaf-architecten/5225ec76e8e44e33d30000c9-zero-energy-house-lokeren-blaf-architecten-photo
	Belgia	Temse	Temse	2011	330	https://www.archdaily.com/418866/dc2-residence-vincent-van-duysen-architects
	Belgia	De Pinte	Dieter De Vos Architecten	2013	275	https://www.archdaily.com/769479/villa-willemsdorp-dieter-de-vos-architecten/559378cbe58ece2c8300036f-villa-willemsdorp-dieter-de-vos-architecten-photo
	Belgia	Ham	Skilpod, UAU collectiv	2016	280	https://www.archdaily.com/802443/skilpod-number-150-zero-energy-skilpod-plus-uau-collectiv

	Bulgaria	Sofia	OBIA	2012	475	https://www.archdaily.com/479900/2-oaks-house-obia
	CZECHY	Lodin	ASGK Design	2013	83	https://www.archdaily.com/773151/house-zilvar-asgk-design
	CZECHY	Zdiby	Martin Cenek Architecture	2010		https://www.archdaily.com/164832/house-on-the-outskirts-of-prague-martin-cenek-architecture
	CZECHY	Hradec Králové		2011	110	https://www.archdaily.com/397749/passive-house-hradec-kralove-echorost-architekti
	CZECHY	PRAGA	Martin Cenek Architecture	2012	350	https://www.archdaily.com/273096/house-extension-in-prague-martin-cenek-architecture
	DANIA		Primus Arkitekter	2009	75	https://www.archdaily.com/28967/skybox-house-primus-architects
	DANIA	Nyborg	LETH & GORI	2014	136	https://www.archdaily.com/516624/brick-house-leth-and-gori
	DANIA	Nyborg	Peter Ruge Architekten	2013	138	https://www.archdaily.com/546579/the-quota-house-pluskontoret-arkitekter
	DANIA	Nyborg	GXN, Henning Larsen Architects	2013	146	https://www.archdaily.com/546890/adaptable-house-henning-larsen-architects-gxn

	DANIA	Nyborg	Arkitema Architects	2013	156	https://www.archdaily.com/546550/the-maintenance-free-house-arkitema-architects
	DANIA	Nyborg	Lendager Arkitekter	2013	129	https://www.archdaily.com/458245/upcycle-house-lendager-arkitekter
	DANIA	Fredensborg	LETH & GORI	2015	285	https://www.archdaily.com/642974/roof-house-leth-and-gori
	DANIA	Lystrup	Aart	2008	200	https://www.archdaily.com/889593/home-for-life-aart-architects
	DANIA	Glostrup	JJW	2011	120	https://www.archdaily.com/254249/bruges-i-case-jjw
	DANIA	VEJLE ÅDAL	AART A/S	2008	220	https://divisare.com/projects/98987-aart-a-s-helene-hoyer-mikkelsen-the-comfort-houses
	DANIA	TAASTRUP	HENNING LARSEN ARCHITECTS	2012		https://divisare.com/projects/301324-henning-larsen-architects-energy-flex-house
	DANIA	Hørsholm	Nielsen i Rubow	2005		https://www.activehouse.info/cases/soltag/
	DANIA	Lejre	Lejre	2017	104	https://www.archdaily.com/872330/the-green-house-sigurd-larsen

	FRANCJA	Couëron	Fouquet Architecture Urbanisme	2014	148	https://www.archdaily.com/625974/maison-d-fouquet-architecture-urbanisme
	FRANCJA	Bessancourt	Karawitz Architecture	2009	177	https://www.archdaily.com/84165/passive-house-karawitz-architecture
	FRANCJA	Saint-Clair	rouby hemmerlé architectes	2013	191	https://www.archdaily.com/786712/passive-house-rouby-hemmerle-architectes
	FRANCJA		L'agence KARAWITZ	2015	145	https://www.archdaily.com/805456/the-marly-house-lagence-karawitz
	FRANCJA	Crozon	Pierre-Yves Le Goaziou	2012	b.d.	https://www.archdaily.com/624563/house-in-crozon-agence-d-architecture-pierre-yves-le-goaziou
	FRANCJA	Moirax	François Primault architecte	2013	200	https://www.archdaily.com/578168/maison-l-estelle-francois-primault-architecte
	FRANCJA	Lacapelle-del-Fraisse	Atelier du Rouget Simon Teyssou & associés	2011	130	https://www.archdaily.com/786062/lacapelle-del-fraisse-atelier-du-rouget-simon-teyssou-and-associés
	FRANCJA	PÉNESTIN	BRUT ARCHITECTES	2014		https://divisare.com/projects/341737-brut-architectes-maxime-castric-pendu
	FRANCJA	MARSEILLE	MARION BERNARD	2013		https://divisare.com/projects/292206-marion-bernard-house-9

	FRANCJA	Verrières-le-Buisson	Nomade Architectes	2011	130	https://www.velux.com/innovation/demo-buildings/maison-air-et-lumiere
	HOLANDIA	Amsterdam	FARO Architecten	2009	230	https://www.archdaily.com/289823/house-2-0-faro-architecten
	HOLANDIA	Rotterdam	123DV	2011	825	https://www.archdaily.com/319284/bridge-house-123dv
	HOLANDIA	Huize	denieuwegeneratie	2011		https://www.archdaily.com/213884/dutch-mountain-deniuewegeneratie
	HOLANDIA	Bontebok	Inbo	2013	470	https://www.archdaily.com/460669/villa-sterk-inbo
	HOLANDIA	Westerveld	Pieter Brink	2013	250	https://www.archdaily.com/388373/zelfvoorzienend-woonhuis-pieter-brink/51ba33deb3fc4b7669000004-zelfvoorzienend-woonhuis-pieter-brink-image
	HOLANDIA	Noord-Beveland	Paul de Ruiter Architects	2013	715	https://www.archdaily.com/455402/villa-kogelhof-paul-de-ruiter-architects
	HOLANDIA		DP6 architectuurstudio	2014	120	https://www.archdaily.com/779842/makkinga-house-dp6-architectuurstudio
	HOLANDIA	Rotterdam	MVRDV	2016	480	https://www.archdaily.com/867074/casa-kwantes-mvrdiv

	HOLANDIA	Rijssen	Reitsema and Partners Architects	2017	276	https://www.archdaily.com/880166/villa-rr-reitsema-and-partners-architecten
	HOLANDIA	Cadzand	Archi3o	2017	210	https://www.archdaily.com/887393/house-duurzaamheid-archi3o
	HOLANDIA	ISLE OF TERSCHELLING	MARC KOEHLER ARCHITECTS	2014	b.d.	https://divisare.com/projects/287880-marc-koeHLer-architects-filip-dujardin-dune-house
	HOLANDIA	Montfoort	Bouwhulpgroep	2013		http://www.activehouse.info/cases/de-poorters-van-montfoort/
	IRLANDIA	Dublin	Aughey O'flaherty Architects	2013		https://www.archdaily.com/391232/house-on-mount-anville-aughey-o-flaherty-architects
	IRLANDIA		4 Architecture	2010	226	https://www.archdaily.com/185926/solid-sanctuary-4-architecture
	IRLANDIA	Wexford	Aughey O'flaherty Architects	2012	260	https://www.archdaily.com/392838/fethard-residence-aughey-o-flaherty-architects
	JAPONIA	Niseko	Florian Busch Architects	2017	197	https://www.archdaily.com/867287/k-house-in-niseko-florian-busch-architects
	KANADA	Muskoka Lakes	Altius Architecture Inc	2009	297	https://www.archdaily.com/472598/cliff-house-altius-architecture-inc

	KANADA	Wentworth	Alain Carle Architecte	2014	465	https://www.archdaily.com/778275/la-heronniere-alain-carle-architecte
	KANADA	Québec City	DELORDINAIRE	2017		https://www.archdaily.com/868360/high-house-delordinaire
	KANADA	Toronto	Levitt Goodman Architects	2008	186	https://www.archdaily.com/120581/adams-fleming-house-levitt-goodman-architects
	KANADA	Huron County	Studio Moffitt	2011	85	https://www.archdaily.com/314277/house-on-limekiln-line-studio-moffitt
	KANADA	Warburg	bioi	2012	69	https://www.archdaily.com/236665/warburg-house-bioi
	KANADA	Wentworth	BONE Structure	2013	278	https://www.archdaily.com/802345/12-249-laurentians-home-bone-structure-r
	KANADA	Toronto	Paul Raff Studio Architects	2014		https://www.archdaily.com/620758/counterpoint-house-paul-raff-studio-architects
	Niemcy	Tübingen	Amunt Architekten Martenson und Nagel Theissen	2010	278	https://www.archdaily.com/430965/justk-amunt-architekten-martenson-und-nagel-theissen
	Niemcy	Stuttgart	Werner Sobek Group	2014		https://www.archdaily.com/596695/house-b10-werner-sobek-group

	Niemcy	Farschweile	Architekten Stein Hemmes Wirtz	2011	317	https://www.archdaily.com/429366/energiehaus-farschweiler-architekten-stein-hemmes-wirtz
	Niemcy	Dorfen	Wolfertstetter Architektur	2014	151	https://www.archdaily.com/780002/house-w-wolfertstetter-architektur
	Niemcy	Berlin	Peter Ruge Architekten	2015	324	https://www.archdaily.com/780354/house-m-peter-ruge-architekten
	Niemcy	Wiggensbach	becker architekten	2007	b.d.	https://www.archdaily.com/351962/house-s-becker-architekten
	Niemcy	KUSTERDINGE N-IMMENHAUSEN	SELBMANN ARCHITEKTUR	2011	b.d.	https://divisare.com/projects/283466-selbmann-architektur-haus-s
	NORWEGIA	Oppdal	Oppdal	2012	302	https://www.archdaily.com/778756/log-house-jva
	NORWEGIA	Larvik	Snøhetta	2014	220	https://www.archdaily.com/773383/zeb-pilot-house-pilot-project-snohetta
	NOWA ZELANDIA	Arrowtown	Kerr Ritchie	2008	130	https://www.archdaily.com/422815/arrowtown-house-kerr-ritchie
	NOWA ZELANDIA	Cromwell	Team Green Architects	2014	156	https://www.archdaily.com/556162/olive-grove-house-team-green-architects

	POLSKA	Pszczyna	Peter Kuczia	2007	175	https://www.archdaily.com/674/co2-saver-house-peter-kuczia
	POLSKA	Pszczyna	KWK Promes	2011	b.d.	https://divisare.com/projects/292752-robert-konieczny-kwk-promes-standard-house
	POLSKA	BUKOWICE	Grupa Synergia	2012		http://grupasynergia.eu/portfolio/dom-niskoenergetyczny-bukowice/
	Polska	WARSZAWA	KWK PROMES	2009	b.d.	https://divisare.com/projects/292552-robert-konieczny-kwk-promes-safe-house
	POLSKA	WARSZAWA	jems	2003	315	http://jems.pl/nagrody/dom-przyszlosci.html
	SZWAJCARIA	Horgen	Moos Giuliani Herrmann Architekten	2011	260	https://www.archdaily.com/223214/townhouse-in-horgen-moos-giuliani-herrmann-architekten
	SZWAJCARIA	Rubigen	null8 Architektur – Marc Bühler	2011	180	https://www.archdaily.com/150097/house-fregowerra-null8-architektur
	SZWAJCARIA	Vals	SeARCH & CMA	2009	225	https://www.archdaily.com/43187/villa-vals-search-cma
	SZWECA	Värmdö	Street Monkey Architects, Björking	2013	175	https://www.archdaily.com/611085/playhouse-street-monkey-architects-björking

	USA	Ithaca	EPIPHYTE Lab	2010	362	https://www.archdaily.com/114386/hsu-house-epiphyte-lab
	USA	Michigan City	John DeSalvo Design	2010	130	https://www.archdaily.com/169043/retreat-house-john-desalvo-design/5015b51c28ba0d5a4b000a0ec-retreat-house-john-desalvo-design-photo
	USA	New York City	Fabrica 718	2012	297	https://www.archdaily.com/398382/tighthouse-fabrica718
	USA	Freeport	GO Logic	2014	148	https://www.archdaily.com/787054/cousins-river-residence-go-logic
	USA	Big Sky	Balance Associates Architects	2009	315	https://www.archdaily.com/220799/river-bank-house-balance-associates-architects
	USA	Goshen	deMx architecture	2010	417	https://www.archdaily.com/483728/round-mountain-house-demx-architecture
	USA	Syracuse	Gluck+	2012	236	https://www.archdaily.com/401816/the-tower-house-gluck
	USA	Ghent	Mapos	2013	325	https://www.archdaily.com/538715/montagnaro-house-mapos
	USA	Seattle	NK Architects	2013	251	https://www.archdaily.com/488962/park-passive-house-nk-architects

	USA	Madison	Bruns Architecture	2013		https://www.archdaily.com/437796/midvale-courtyard-house-bruns-architecture
	USA	Pound Ridge	Tsao & McKown Architects	2016	269	https://www.archdaily.com/886114/pound-ridge-house-tsao-and-mckown-architects
	WĘGRY	BALATONGYŐRÖK	BÉRES ARCHITECTS	2016		https://divisare.com/projects/333319-beres-architects-tamas-bujnovszky-house-sg
	WIELKA BRYTANIA		Hyde + Hyde Architects	2012	147	https://www.archdaily.com/540636/cliff-house-hyde-hyde-architects
	WIELKA BRYTANIA		John Pardey Architects, Ström Architects	2012		https://www.archdaily.com/265486/hurst-house-john-pardey-architects-strom-architects
	WIELKA BRYTANIA	London,	Fraher Architects	2015	298	https://www.archdaily.com/632573/the-lantern-fraher-architects
	WIELKA BRYTANIA	Suffolk	MVRDV	2010	210	https://www.archdaily.com/81757/balancing-barn-mvrdv
	WIELKA BRYTANIA	London	Carl Turner Architects	2012	200	https://www.archdaily.com/300175/slip-house-carl-turner-architects
	WIELKA BRYTANIA	Stalham	forresterarchitects	2014	120	https://www.archdaily.com/784191/pond-house-forresterarchitects

	WIELKA BRYTANIA	London	vPPR	2015		https://www.archdaily.com/639760/vaulted-house-vppr
	WIELKA BRYTANIA	Hadlow Down	BBM Sustainable Architects Ltd	2015	459	https://www.archdaily.com/787825/new-house-little-england-farm-bbm-sustainable-architects-ltd
	WIELKA BRYTANIA	New Forest District	PAD studio	2015	122	https://www.archdaily.com/794161/forest-lodge-pad-studio
	WIELKA BRYTANIA	Norfolk	Platform 5 Architects	2016	165	https://www.archdaily.com/866817/backwater-platform-5-architects
	WIELKA BRYTANIA		Paul Archer Design		200	https://www.archdaily.com/396535/green-orchard-paul-archer-design
	WIELKA BRYTANIA	HAVERINGLAND	DAVID KOHN ARCHITECTS	2012	b.d.	https://divisare.com/projects/218275-david-kohn-architects-will-pryce-stable-acre
	WIELKA BRYTANIA	Rohwell	HTA	2011	b.d.	http://www.detail-online.com/architecture/topics/toward-co2-neutrality-018728.html
	WIELKA BRYTANIA	Watford	Sheppard Robbison	2007	b.d.	http://www.kingspanlighthouse.com/pdf/lighthouse_flyer.pdf