

KONTEKST ENERGETYCZNY KSZTAŁTOWANIA FORM ARCHITEKTONICZNYCH

w badaniach i projektach



Monografia zbiorowa pod redakcją
Janusza Marchwińskiego



Warszawa 2015

KONTEKST ENERGETYCZNY KSZTAŁTOWANIA FORM ARCHITEKTONICZNYCH w badaniach i projektach

Monografia zbiorowa pod redakcją
Janusza Marchwińskiego



WARSZAWA 2015

SERIA:

MONOGRAFIE WYŻSZEJ SZKOŁY EKOLOGII I ZARZĄDZANIA

Recenzent:

Dr hab.inż.arch. Joanna Tymkiewicz

Projekt okładki: Anna Jaszczak

Ilustracje na okładce (front):

Proekologiczna jednostka wielorodzinna w Wilanowie.

Autor: Anna Jaszczak (koncepcja architektoniczna wykonana w ramach pracy magisterskiej)

Opracowanie edytorskie: *Barbara Świderek*

Korekta: *Zespół*

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie.
Warszawa 2015

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania nie odpowiada za jakość dostarczonych fotografii i rysunków, zamieszczonych w publikacji.

ISBN 978-83-62057-34-4

Oficyna Wydawnicza WSEiZ w Warszawie,

ul. Olszewska 12, 00-792 Warszawa, tel. 22 825 80 34/35

Wydanie I. Arkuszy wydawniczych 11,5. Arkuszy drukarskich: 7,9

Druk: cyfrowarszawa.pl, tel. 22 499 59 36

Spis treści

WPROWADZENIE5

Janusz Marchwiński,

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 1. ENERGIA, ESTETYKA I EKONOMIKA13

Elżbieta Dagny Ryńska,

Politechnika Warszawska, Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 2. CECHY ZRÓWNOWAŻONE WSPÓŁCZESNYCH KRAKOWSKICH OSIEDLI MIESZKANIOWYCH31

Patrycja Haupt,

Politechnika Krakowska, Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 3. PRZESTRZEŃ ODZYSKIWANA. MOŻLIWOŚCI WDRAŻANIA TECHNOLOGII ZRÓWNOWAŻONYCH W PRZESTRZENIACH WSPÓLNYCH DZIELNIC MIESZKANIOWYCH NA PODSTAWIE DOŚWIADCZEŃ W REALIZACJI PROJEKTU USER45

Patrycja Haupt,

Politechnika Krakowska, Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 4. OPŁYW POWIETRZA WOKÓŁ BUDYNKÓW JAKO CZYNNIK OPTYMALIZACJI KSZTAŁTU ZABUDOWY63

Katarzyna Zielonko-Jung,

Politechnika Warszawska, Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 5. ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ A BRYŁA BUDYNKU – STUDIA NAD WSPÓŁCZYNNIKIEM KSZTAŁTU85

Karolina Kurtz-Orecka,

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,

Wydział Budownictwa i Architektury

ROZDZIAŁ 6. PASYWNE ROZWIĄZANIA SŁONECZNE W ZABUDOWIE WIELORODZINNEJ99

Anna Jaszczyk, Katarzyna Zielonko-Jung,

Politechnika Warszawska, Wydział Architektury

**ROZDZIAŁ 7. SYSTEMY SŁONECZNE I WIATROWE
W ARCHITEKTURZE BUDYNKÓW WYSOKOŚCIOWYCH127**

Janusz Marchwiński, Joanna Ruchała,

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Wydział Architektury

**ROZDZIAŁ 8. FOTOWOLTAIKA ZINTEGROWANA Z BUDYNKIEM (BIPV)
W KONTEKŚCIE KSZTAŁTOWANIA FORM ARCHITEKTONICZNYCH147**

Janusz Marchwiński,

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Wydział Architektury

**ROZDZIAŁ 9. PROCES PROJEKTOWY ENERGOOSZCZĘDNEGO OBIEKTU
SZKOLNO-PRZEDSZKOLNEGO - STUDIUM PRZYPADKU169**

Anna Bać, Krzysztof Cebrat,

Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury

**ROZDZIAŁ 10. WPŁYW ROZWIĄZAŃ ARCHITEKTONICZNYCH NA BILANS
ENERGETYCZNY OBIEKTÓW TERMINALI LOTNICZYCH183**

Michał Sitek,

Politechnika Śląska, Wydział Architektury

**ROZDZIAŁ 11. KSZTAŁTOWANIE ROZWIĄZANIA DOMÓW
NISKOENERGETYCZNYCH W PROJEKTACH TYPOWYCH199**

Piotr Michalski,

Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 12. FASADA JAKO WIELOFUNKCYJNY KOMPONENT BUDYNKU219

Wojciech Stec, Cundall Polska

**ROZDZIAŁ 13. PROMIENIOWANIE SŁONECZNE A JAKOŚĆ OBIEKTÓW
ARCHITEKTONICZNYCH: METODY BADAŃ233**

Dariusz Masły,

Politechnika Śląska, Wydział Architektury

ZAKOŃCZENIE247

Janusz Marchwiński,

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Wydział Architektury

NOTKI O AUTORACH249

WPROWADZENIE

Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej podlega polityce unijnej, która w obszarze budownictwa koncentruje się wokół trzech podstawowych zagadnień: redukcji emisji gazów cieplarnianych, wzrostu efektywności energetycznej i zwiększenia wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Dyrektywa unijna 2009/28/WE zobowiązuje Polskę do zwiększenia udziału „zielonej” energii w bilansie energetycznym. Do roku 2020 ze źródeł odnawialnych ma pochodzić ok. 15% całej produkowanej w Polsce energii. W lutym 2015 roku została uchwalona długo oczekiwana Ustawa o Odnawialnych Źródłach Energii, która stwarza nowe warunki i możliwości dla unowocześnienia nie tylko sektora energetycznego, ale i ściśle z nim związanego, sektora budowlanego w naszym kraju. Tym samym coraz wyraźniej podążamy ścieżką zrównoważonego rozwoju, zapoczątkowanego na świecie w latach 80-tych ubiegłego stulecia.

Coraz bardziej dostrzegalny i akcentowany aspekt energetyczny, zarówno na świecie jak i w Polsce i dotyczący już niemal wszystkich dziedzin życia, proporcjonalnie silnie przenika na pole architektury. Istotnego znaczenia nabiera zatem słyszalny głos architektów w tym obszarze. Jest on tym bardziej ważny, iż w dobie dynamicznego rozwoju technologii energetycznych i inżynierii materiałowej można odnieść wrażenie, iż humanistyczny wymiar kształtowania architektury zaczyna ustępować miejsca dyscyplinom bardziej technicznym i wymiernym. Wydaje się również, że jesteśmy świadkami rosnącej alienacji tych nauk. Szczęśliwie, w krajach najbardziej rozwiniętych, m.in. w Europie Zachodniej, obserwuje się tendencję ich powrotu na wspólną ścieżkę rozwoju. Doświadczeni dziewiętnastowiecznym rozejściem się nauk inżynieryjno-technicznych i architektury, dziś jesteśmy świadomi, iż analogicznie nie wolno dopuścić do zatarcia obszarów współpracy i porozumienia pomiędzy architektami a szeroko rozumianymi specjalistami z branży energetycznej.

Badania nad architekturą energooszczędną, a szerzej proekologiczną i ogólnie – zrównoważoną, są prowadzone w naszym kraju z rosnącą intensywnością od około trzech dekad, m.in. na Wydziałach Architektury Politechnik: Gdańskiej, Krakowskiej, Śląskiej, Warszawskiej i Wrocławskiej. W dużym uogólnieniu można jednak stwierdzić, że na tle badań prowadzonych w krajach najbardziej rozwiniętych (m.in. USA, Japonia, Europa Zachodnia), specyfika

polskich badań zasadzała się do niedawna na modelu teoretyczno-poznawczym, nieco rzadziej sięgając po metody eksperymentalno-doświadczalne, oparte na działaniach prototypowo-wdrożeniowych oraz rodzimych realizacjach architektonicznych. Sytuacja ta ulega stopniowemu przeobrażeniu. Dzieje się tak za sprawą zmian ekonomicznych, legislacyjnych i techniczno-budowlanych zachodzących w naszym kraju. Ważnym stymulatorem jest globalizacja i rosnący dostęp do światowej wiedzy naukowej, zwiększająca się wymiana myśli z czołowymi ośrodkami naukowymi na świecie, rozwój technik software oraz wzrost zainteresowania inwestorów i innych podmiotów decyzyjnych zagadnieniami ekologii w sektorze budowlanym, a w węższym spektrum – poszanowaniem energii. Zmiany te skłaniają zatem do aktualizowania wiedzy i doświadczeń na temat związków architektury i zagadnień energooszczędności oraz odnoszenia jej do badań praktyczno-doświadczalnych, w tym doświadczeń projektowo-realizacyjnych.

Monografia dotyczy relacji jakie zachodzą pomiędzy współczesną formą architektoniczną a przesłankami natury energetyczno-ekologicznej. Zgodnie z tak przyjętą koncepcją omówiono rolę tych przesłanek w obszarze:

- relacji przestrzennej: budynek – otoczenie,
- kształtowania formy przestrzennej budynków,
- projektowania elewacji budynków,

jako problemu wpisującego się w proekologiczny nurt architektury zrównoważonego rozwoju.

Problematyka obejmuje również wpływ technologii OZE (m.in. technologii słonecznych) na formę architektoniczną budynków. W rozdziałach II i III zdecydowano się na poszerzenie zakresu podjętej problematyki o zagadnienia ekologiczno-społeczne w skali planistyczno-urbanistycznej, jako tworzących istotne tło dla podjętego tematu. W rozumieniu systemowym (metodyki systemowej), problematykę tę należy traktować jako „wejście” do systemu architektury energooszczędnej, to jest element wykraczający poza obszar tematyczny pracy, lecz pozostający z nim w bezpośredniej relacji i ważny dla jej pełniejszego zrozumienia.

Tak zdefiniowany przedmiot badań zdaje się wypełniać niszę w aktualnych badaniach, z uwagi na:

- naświetlenie problematyki oszczędności energetycznej z punktu widzenia architektonicznego – „głos” architektów w obszarze wielodyscyplinar-

nych badań zwróconych w stronę tworzenia energooszczędnych struktur budowlanych,

- omówienie problematyki w oparciu o własne koncepcje badawcze lub/i projektowe,
- nacisk na wykorzystanie polskich przykładów koncepcji, projektów, realizacji architektonicznych budynków i ich zespołów, jako materiału służącego do zobrazowania podjętej problematyki.

Istotnym bowiem zamierzeniem publikacji jest przegląd nowych myśli w zakresie badania i projektowania energooszczędnych form architektonicznych w warunkach krajowych. Cel ten można zdefiniować jako przełożenie teorii projektowania energooszczędnego na obszar badań i projektów konkretnych budynków i ich zespołów w Polsce. Stanowi on odpowiedź na pojawiające się niesprawiedliwe opinie, jakoby stan polskich badań i doświadczeń w realizacji budynków energooszczędnych był znikomy, choć nie ulega wątpliwości, że, na tle krajów najbardziej rozwiniętych, jest on niezadawalający, zwłaszcza w obszarze projektowo-realizacyjnym. Stąd, pomimo przyjętej konwencji prezentowania krajowych osiągnięć, nie unikano odniesień do badań, modeli, rozwiązań projektowych zza granicy, jako wzorcowych, wyznaczających pewne ścieżki rozwojowe itp.

Innym celem, w odniesieniu do badań cząstkowych, jest określenie sposobów, problemów oraz barier stosowania rozwiązań energooszczędnych, jako integralnego składnika koncepcji architektonicznej.

Z uwagi na różnorodność poruszanej problematyki, trudno wskazać metodę przewodnią realizacji wspomnianych celów. Wśród metod, stosowanych adekwatnie do obszaru badawczego i specyfiki tematycznej każdego z rozdziałów należy wymienić m.in.: analityczno-obserwacyjną, doświadczalną, statystyczną i konstrukcyjną.

Określając zakres badań, z uwagi na cel publikacji, a także znaczną ich różnorodność, starano zawęzić się je przede wszystkim geograficznie, tj. do warunków klimatycznych odpowiadających lub zbliżonych do polskich.

Po drugie, przyjęto, że poruszana problematyka dotyczy zagadnień architektonicznych (m.in. kształtowanie przestrzenne, funkcja estetyczna, funkcja użyt-

kowa, jakość środowiska wewnętrznego) i nie obejmuje zagadnień konstrukcyjnych, instalacyjno-technologicznych, legislacyjnych, ekonomicznych, procesu inwestycyjnego i in., rozważanych w oderwaniu od ich bezpośrednich związków z kształtowaniem formy architektonicznej. Z tego też powodu zawężono omówienie technologii OZE do systemów słonecznych i wiatrowych jako rozwiązań o największym potencjale oddziaływania na formę architektoniczną budynku.

Za celowe natomiast uznano „interdyscyplinarne” naświetlenie podjętej problematyki, np. od strony urbanistycznej czy fizycznej, mimo iż tak nakreślona praca nie może wyczerpać tematu. Problematykę odniesiono również do różnych rodzajów zabudowy.

Prezentowane badania mogą zostać podzielone wg trzech kryteriów:

- kryterium funkcjonalne: przeznaczenie i związana z nim skala budynków: w pracy odniesiono się do budynków mieszkalnych, od jednorodzinnych do zespołów zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej, użyteczności publicznej małej, średniej i dużej skali,
- kryterium rozwiązań energooszczędnych: tematyka części rozdziałów poświęcona jest oddzielnie rozwiązaniom pasywnym lub aktywnym, innych zaś łącznie, naświetlając problem od innej strony, w której występuje integracja tych rozwiązań,
- kryterium skali problemu: skala architektoniczno-urbanistyczna, tj. relacja budynek-otoczenie, skala architektoniczna ogólna (forma przestrzenna, koncepcja architektoniczna budynku), skala architektoniczna szczegółowa (projektowania elewacji).

Praca zawiera 13 rozdziałów autorstwa naukowców, głównie architektów z Politechnik: Krakowskiej, Śląskiej, Warszawskiej, Wrocławskiej, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie i polskiej filii firmy inżynierskiej Cundall – działającej w obszarze doradczo-projektowym budownictwa zrównoważonego.

Rozdziały starano się uporządkować według zasady od ogółu do szczegółu, a więc zgodnie z trzecim z wymienionych kryteriów:

Rozdział 1 – stanowi niejako rozwinięcie wstępu pracy, nakreślając problematykę kształtowania współczesnej architektury energooszczędnej na tle problemów, ewolucji, tendencji rozwojowych architektury zrównoważonej. Rozważań

dokonano w oparciu o triadę energia-estetyka-ekonomika. W rozdziale powołano się na badania i przykłady realizacji budynków w krajach skandynawskich uznawanych za najbardziej proekologiczne w Europie.

Rozdział 2 – jak już wspomniano, wraz z rozdziałem kolejnym stanowi tło dla podjętej problematyki, odnosząc się do holistycznej formuły zrównoważonego rozwoju i dotykając tym samym aspektów wykraczających poza zagadnienia kształtowania architektury energooszczędnej. Badaniami objęto krakowskie osiedla mieszkaniowe w kontekście komfortu zamieszkania, w tym formy i estetyki zabudowy mieszkaniowej, promowania zdrowego stylu życia oraz poszanowania środowiska, w tym racjonalnej gospodarki energią w budynku.

Rozdział 3 – wpisuje się w problematykę rozdziału poprzedniego zawężając wywód do rewitalizacji i rehabilitacji krakowskich osiedli mieszkaniowych, jako działania zapobiegającego negatywnemu zjawisku rozpraszania się tkanki miejskiej (*urban sprawl*). Zawarte w rozdziale informacje bazują na doświadczeniach z międzynarodowego projektu „User” ukierunkowanego na poprawę jakości środowiska mieszkaniowego poprzez wprowadzenie zmian w sposobie użytkowania przestrzeni publicznych, w tym racjonalizację gospodarowania energią i poprawę walorów estetycznych osiedli.

Rozdział 4 – dotyczy relacji budynek-otoczenie i koncentruje się na badaniach dotyczących istoty zjawisk aerodynamicznych występujących w strukturach zurbanizowanych w kontekście ich wpływu na energooszczędne kształtowanie form przestrzennych budynków. W rozdziale zaprezentowano badania doświadczalne wykonane w tunelu aerodynamicznym dla różnych konfiguracji układów zabudowy jednego z warszawskich osiedli mieszkaniowych.

Rozdział 5 – jest poświęcony badaniom nad znaczeniem tzw. współczynnika kształtu, uznawanego za istotny element w projektowaniu budynków energooszczędnych. Analiz dokonano dla budynków o stałym parametrze ochrony cieplnej przegród zewnętrznych (U), lecz zróżnicowanych wielkością, tj. mało- i wielkokubaturowych oraz cechujących się zróżnicowaną krotnością wymian powietrza w ich przestrzeni wewnętrznej.

Rozdział 6 – jego tematyka pozostaje w obszarze kształtowania form przestrzennych, lecz zostaje ukierunkowana w stronę pasywnego wykorzystania

energii słonecznej w budynkach wielorodzinnych. W rozdziale zbadano związki, jakie zachodzą pomiędzy typowymi układami zabudowy mieszkaniowej (klatkowa, segmentowa, korytarzowa, punktowa), a zastosowaniem w nich rozwiązań pasywnych. Rozważania wsparto przykładami projektów budynków i ich zespołów zrealizowanych w Europie Zachodniej i w Polsce, w tym demonstracyjnego budynku MBJ 2030 w Warszawie realizowanego we współpracy naukowej m.in. z Wydziałem Architektury Politechniki Warszawskiej.

Rozdział 7 – omówiono w nim problemy i możliwości kształtowania architektury budynków wysokościowych z zastosowaniem systemów słonecznych i wiatrowych. Wyeksponowano aspekt estetycznej roli tych systemów. Zaprezentowano projekt energooszczędnego budynku wysokościowego w Warszawie, z oryginalnym zastosowaniem turbin wiatrowych i modułów fotowoltaicznych. Wykonano symulacje energetyczne z wykorzystaniem technik software.

Rozdział 8 – pozostając w obszarze problematyki dotyczącej wykorzystania energii słonecznej w budynkach, rozdział poświęcono technologii fotowoltaicznej w aspekcie możliwości i problemów jej integracji z architekturą budynków (BIPV), w tym współpracy z rozwiązaniami pasywnymi. Zaprezentowano koncepcję projektową demonstracyjnego obiektu wielofunkcyjnego z innowacyjnym rozwiązaniem fasady fotowoltaicznej.

Rozdział 9 – opisano w nim doświadczenia zebrane w trakcie projektowania, realizacji i początkowej eksploatacji energooszczędnego budynku oświatowego we Wrocławiu. Autorzy rozdziału będący projektantami budynku (wyłonionego do realizacji jako zwycięskiej pracy konkursowej i wielokrotnie później nagradzanego) ujawniają problemy związane z zachowaniem idei „zielonej” architektury i ewolucję, jaką przechodzi obiekt od projektu do realizacji. Wskazują też na istotę zarządzania budynkiem w fazie jego użytkowania.

Rozdział 10 – odnosi się do problematyki projektowania energooszczędnych terminali lotniczych poprzez optymalizację ich geometrii oraz lokalizacji i wielkości otworów okiennych. Zaprezentowano opracowany w tym celu autorski algorytm wykorzystujący współczesne techniki software, który posłużył jako narzędzie do symulacji zużycia energii w dwóch badanych obiektach terminali lotniczych – Katowice-Pyrzowice i Gdańsk w ich realnych warunkach środowiskowych.

Rozdział 11 – zawiera rozważania na temat możliwości i sposobów stosowania rozwiązań energooszczędnych w budynkach jednorodzinnych typowych. Autor próbuje odpowiedzieć na pytanie, czy implementacja takich rozwiązań musi odbywać się kosztem walorów estetycznych oraz czy typowe budownictwo energooszczędne może przyczynić się do wdrażania energooszczędności w Polsce. W pracy zawarto przykłady autorskich typowych projektów domów jednorodzinnych w standardach energooszczędnych.

Rozdział 12 – porusza problematykę dedykowaną wyłącznie elewacjom budynków pod kątem ich wpływu na energochłonność budynku i komfort jego użytkowania. Rozdział zawiera porównanie szeregu możliwych rodzajów fasad budynku ze szczególnym naciskiem na fasady dwuwarstwowe i ich funkcjonowanie w aspekcie termicznym. Przedstawione wyniki są efektem doświadczeń przeprowadzonych w wyspecjalizowanych ośrodkach badawczych na modelach testowych i za pomocą symulacji komputerowych. Przedstawiono koncepcję wentylacji budynku opierającą się na zastosowaniu fasady dwuwarstwowej i uproszczonego systemu HVAC.

Rozdział 13 – podejmuje problematykę pokrewną do poruszonej w rozdziale poprzednim, koncentrując się na zagadnieniach wpływu projektowania elewacji na oświetlenie naturalne pomieszczeń.

Główny nacisk został położony na przedstawienie możliwości najnowocześniejszych metod i narzędzi symulacyjnych do analizy jakości oświetlenia światłem dziennym na etapie projektowania architektonicznego, służących uzyskaniu zakładanych celów jakościowych i energetycznych w inteligentnych budynkach zrównoważonych. Przedstawiono autorski proces postępowania, podnoszący wiarygodność wyników otrzymanych statyczną metodą analizy jakości oświetlenia dziennego.

Elżbieta Dagny Ryńska

Politechnika Warszawska

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 1

ENERGIA, ESTETYKA I EKONOMIKA

1. Wstęp do zagadnień energetycznych

Architektura i wszelkie bezpośrednio i pośrednio związane z przemysłem budowlanym dyscypliny stanowią odzwierciedlenie zmieniających się w czasie politycznych uwarunkowań i preferowanych kierunków rozwoju. W ramach współczesnych przemian, w 2009 roku w Polsce zostały przyjęte założenia certyfikacji energetycznej, a w 2011 – pojawił się nowy zawód – audytor efektywności energetycznej, w styczniu 2014 roku wprowadzono nowe wytyczne energetyczne, jakie powinny spełniać nowo realizowane obiekty. Czy pomimo istnienia grupy architektów zainteresowanych promowaniem nowego kształtowania procesu projektowego, ogół współczesnych projektantów jest rzeczywiście merytorycznie przygotowany do wkraczających w naszą profesję zmian? Czy naprawdę rozumiemy, jakim nowym zawodowym wyzwaniom powinniśmy sprostać? W jaki sposób współpracować z coraz bardziej rozszerzającym się kręgiem wyspecjalizowanych konsultantów, jednocześnie realizując własne odczucia estetyczne, prawne i techniczne wymagania, czy też oczekiwania naszych klientów?

Do różnorodnych wypowiedzi dołączył się również znany architekt Emilio Ambasz [1], który pyta dlaczego „...podczas gdy wszyscy zainteresowani stanem otaczającego nas środowiska, a także ekolodzy i socjologowie twierdzą, że roślinność, uprawy na terenach zurbanizowanych, przestrzenie ogrodów oraz zadrzewianie są podstawowymi składnikami miasta (z uwagi na zdrowie, dobre samopoczucie oraz równowagę psychiczną), to główny nurt projektowy konsekwentnie odmawia wykorzystania form krajobrazowych – lub w najlepszym przypadku postrzega w nich coś w rodzaju dekoracji”. To tylko

przyczynę do szeregu postaw reprezentowanych m.in. przez profesora P. Heiselberga¹ twierdzącego, iż przed wprowadzeniem specjalistycznych systemów instalacji wewnętrznych – mechanicznej wentylacji, ogrzewania, chłodzenia, czy klimatyzacji – to klimat i dostępne materiały decydowały o formie przestrzennej budynku. Parametry wewnętrznego komfortu osiągnano stosując rozwiązania pasywne – odpowiednie ukształtowanie formy przestrzennej i detalu budynku. Wraz z upowszechnieniem i udoskonaleniem nowych technologii, projektantów przestał ograniczać fakt, że do wnętrza obiektu powinno docierać światło dzienne, a estetyczno-architektoniczne rozwiązanie wnętrza zapewniać warunki komfortu termicznego. Technologie zapoczątkowały rewolucję architektoniczną umożliwiając kształtowanie obiektów zgodnie z indywidualnymi kanonami piękna. Dopiero po osiągnięciu założonych kanonów piękna, architekt przekazywał koncepcję projektantom pozostałych branż, którzy mieli „dopasować” urządzenia niezbędne do zapewnienia komfortowych warunków klimatu wewnętrznego.

Od czasów podziału na „architekturę” i „dyscyplinę inżynierską”, które miało miejsce pod koniec XIX wieku, a następnie, kilkadziesiąt lat później – wyodrębnienia „wewnętrznych systemów technicznych” – każda z dziedzin rozwinęła się w pewnym sensie indywidualnie. Proces projektowania, w którym wcześniej głównym zadaniem było umiejętne jednoczesne uwzględnienie wszystkich rozwiązań pozwalających na funkcjonowanie obiektu, stał się procesem liniowym, podzielonym na dyscypliny branżowe. Bardzo często był efektem estetycznych, lecz użytkowo niewłaściwych decyzji. Powstawały obiekty o nieoptymalnej charakterystyce energetycznej, wysokich kosztach eksploatacyjnych i zbyt często negatywnym oddziaływaniu na środowisko.

Zarówno budowle inżynierskie jak i budynki są jednym z najłatwiej dostrzeganych efektów przemian cywilizacyjnych i uwarunkowań kulturowych kształtujących postawę wobec otaczającego nas środowiska. Chociaż w znacznym stopniu są realizacjami zależnymi od kontekstu ekonomicznego, hołdowanie podejściu *stricte* finansowemu artykułowanemu jako pogląd „*sprawdźmy najpierw za pomocą narzędzi stworzonych przez innych ludzi, czy te wszystkie energoosz-*

¹ Heilseberg P. – profesor na Uniwersytecie w Alborg, Dania. Specjalizuje się w budynkach o wysokiej efektywności energetycznej, budynkach zeroenergetycznych oraz systemach wentylacyjnych. Prowadzi Strategiczne Centrum Badawcze dla budynków zeroenergetycznych promując ujęcie interdyscyplinarne [przyp. aut.]

czędne rozwiązania są naprawdę opłacalne”, świadczą o ogromnej krótkowzroczności chociażby dlatego, że długość życia budynku wynosi średnio 50-80 lat. Tym samym podjęte współcześnie decyzje będą miały wpływ na otaczające środowisko pod koniec XXI wieku, kiedy ilość dostępnych surowców, również tych energetycznych, może być już w znaczny sposób ograniczona. W interesie użytkowników jest zatem realizowanie i użytkowanie obiektów, które będą charakteryzowały się długim okresem funkcjonowania – możliwym do osiągnięcia poprzez zintegrowanie elastycznych rozwiązań funkcjonalnych i technicznych oraz uwzględnienie energooszczędnych systemów instalacyjnych. Ostatnia z wymienionych cech jest szczególnie ważna w przypadku zespolenia efektywności ich działania z równie ważnymi decyzjami estetycznymi dotyczącymi bryły, układu funkcji oraz doboru materiałów budowlanych i wykończeniowych.

Generalnie, można zauważyć, że projektanci powoli wracają do „ideologicznej” równowagi „zlokalizowanej” pomiędzy zaawansowanymi rozwiązaniami technologicznymi a tradycyjnymi założeniami projektowo-budowlanymi. Począwszy od Rewolucji Przemysłowej, szczególnie od trzeciej dekady XX wieku, architekci rozwiązując problemy „jakości” środowiska zabudowanego „zaufali powszechnemu postępowi cywilizacyjnemu”, w znacznej mierze kierując się rozwiązaniami technicznymi i technologicznymi. Obecnie, gdy coraz wyraźniej postrzegane jest prawdopodobieństwo ograniczonego dostępu do malejących nieodnawialnych zasobów surowcowych, nastąpił wzrost zainteresowania rozwiązaniami technicznymi funkcjonującymi poprzez wykorzystywanie lub współdziałanie z lokalnymi parametrami otoczenia. Powyższa zmiana oznacza, że coraz częściej czerpiemy inspiracje z naturalnego środowiska i stosujemy technologie nie „zamiast”, ale jako układy wspomagające efektywne wykorzystanie i funkcjonowanie rozwiązań stosowanych znacznie wcześniej.

Przed wszystkim należy pamiętać, że budownictwo zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju, w podstawowych założeniach, nie różni się od powszechnie znanych i akceptowanych obiektów inteligentnych – posiadających systemy nadzorujące funkcjonowanie obiektów sterowane za pomocą programów komputerowych. Wyzwaniem jest natomiast, takie pokierowanie procesem projektowym i realizacyjnym, aby można go było scharakteryzować za pomocą parametrów wskazujących na niskie zużycie energetycznych surowców nieodnawialnych i stopniem wykorzystania lokalnych materiałów budowlanych, czy też poprzez umiejętność wykorzystania lokalnych parametrów środowiska w celu uzyskania bardziej efektywnie działającego budynku. Nowe podejście polega na zamianie standardowych pojedynczych rozwiązań,

na wielobranżowe współpracujące z charakterystycznymi dla konkretnych uwarunkowań lokalizacyjnych, parametrami środowiskowymi. Otrzymane efekty powinny także spełniać oczekiwania kulturowe poszczególnych grup społecznych czy etnicznych.

Pomimo wskazania uwarunkowań ekonomicznych jako niepodzielnie rządzących wszelkimi decyzjami związanymi z inwestycjami budowlanymi, w najnowszej publikacji firmy Deloitte [2] zauważyć można stwierdzenia świadczące o tym, że również dla świata biznesu rozwój zrównoważony jest podstawowym wielokryterialnym zagadnieniem mającym wpływ na dalszy rozwój przedsięwzięć oraz przewidywane długo i krótkoterminowe zyski. Oczekiwania użytkowników i inwestorów są możliwe do osiągnięcia jedynie w przypadku uwzględnienia rozwiązań prośrodowiskowych na każdym etapie budowlanego procesu inwestycyjnego. Takie działania, uwzględniają podstawowe wskaźniki ekonomiczne – wzrost czynszów, oczekiwane zyski, całkowite koszty użytkowania etc. – gdyż każdy z nich jest wrażliwy na zakres i poprawność stosowanych rozwiązań i procedur.

Biorąc pod uwagę, że koszty użytkowania obiektu (energia, woda, odpady) mają bezpośredni wpływ na zyski inwestorów, wykorzystanie prośrodowiskowych, oszczędzających wszelkie surowce rozwiązań, ma ekonomiczny i biznesowy sens. Firma Deloitte [2] [10] oszacowała, że obiekty, w których zastosowano prośrodowiskowe rozwiązania pozwalają na obniżenie niezbędnej do funkcjonowania budynku energii użytkowej o 29-50% w porównaniu do obiektów standardowych, mają zapotrzebowanie na 40% mniej wody, emitują 33-39% mniej dwutlenku węgla oraz ok. 70% mniej stałych odpadów. Tym samym, pomimo wstępnie wyższych nakładów, prośrodowiskowe rozwiązania dają w efekcie finansowy zysk. Już obecnie można z całą pewnością stwierdzić, że budynki które posiadają „zielone” rozwiązania będą traciły na wartości wolniej niż inne, jak również będą z większym prawdopodobieństwem spełniały oczekiwania użytkowników i inwestorów, gdyż, jak sugerują liczne analizy, takie zielone budynki są bardziej atrakcyjne dla najemców, mają wyższe ceny wynajmu i osiągają wyższe ceny przy sprzedaży [16]. W marcu 2013 Rockefeller Foundation oraz Deutsche Bank Climatic Change Advisors wykonali analizy [2], zgodnie z którymi w ciągu najbliższych 10 lat, ponad 97 miliardów USD będzie wykorzystane na wprowadzenie w obiektach komercyjnych i państwowych rozwiązań pozwalających na alternatywne i bardziej efektywne pozyskiwanie energii. W efekcie należy się spodziewać obniżenia wydatków na użytkowanie o 350 miliardów USD, jak również stworzenia dodatkowych miejsc pracy.

2. Przykłady zastosowania

Omawiana strategia inwestycyjna jest od pewnego czasu charakterystyczna dla państw skandynawskich. W ciągu kilku lat, efektywne ekologicznie jednostki urbanistyczne zostały wykonane w kilkunastu miejscach w Skandynawii – np. w Hammarby w Szwecji, czy na duńskiej wyspie Bornholm. Zrealizowane projekty potwierdzają, że rozwiązania w tej skali są już dostępne na rynku budowlanym i, że są one konkurencyjne dla układów standardowych. Jednak sam proces oraz modelowe realizowanie inwestycji powinny podlegać dalszej ewolucji, ze szczególnym uwzględnieniem posiadających odpowiednią wiedzę osób, których zadaniem będzie koordynacja całego zamierzenia – od fazy koncepcyjnej aż po użytkowanie. Niektóre z zarządów jednostkami administracyjnymi stworzyły odrębny „równnoważony” budżet. W Finlandii, implementacja dała bardzo dobre rezultaty dla miast Tampere oraz Turku, szczególnie w przypadku włączenia do konsultacji przyszłych użytkowników na wczesnych etapach procesu. Analizy [6] wskazują, że jedną z barier jakie napotykają tego typu inwestycje jest brak wystarczającej informacji. W przypadku planowania na poziomie regionalnym konieczne jest uwzględnienie lokalnej specyfiki, gdyż możliwość implementacji prośrodowiskowych rozwiązań może wynikać z różnych charakterystycznych uwarunkowań. Analizy [6] wskazują także, że monopole energetyczne nie są szczególnie zainteresowane prowadzeniem badań dotyczących decentralizacji produkcji energetycznej. W idealnej sytuacji, nadwyżka produkowanej energii pochodząca z alternatywnych źródeł mogłaby zostać włączona w główny system zasilania grzewczego lub energetycznego. W takiej sytuacji, drobni i średni producenci energii nie musieliby inwestować w infrastrukturę pozwalającą na przechowywanie nadwyżek, co w przypadku zwartej zabudowy powoduje utratę cennej powierzchni budowlanej. Ponad 60% respondentów uważa istniejące w krajach skandynawskich założenia planistyczne za zbyt rygorystyczne i utrudniające wprowadzanie decentralizującego systemu dostawczego.

Ogromnym obszarem inwestycyjnym jest istniejący rynek budowlany, który w bliskiej przyszłości będzie musiał ulec adaptacji do zmieniających się oczekiwań użytkowników. Badania przeprowadzone przez firmę Poyry [6] i opublikowane w 2013 roku wykazują, że oczekiwania są analogiczne jak w przypadku nowych obiektów, a głównym czynnikiem inicjującym czynności modernizacyjne jest podniesienie wartości nieruchomości, szczególnie takiej, która jest zlokalizowana w bezpośredniej bliskości do transportu publicznego i systemu ścieżek rowerowych. Koszty ekonomiczne odgrywają nadal ważną funkcję i ponad 60%

respondentów uważało, że rozwiązania prośrodowiskowe są nadal zbyt kosztowne. Oznacza to konieczność wprowadzenia na rynek budowlany większej liczby alternatywnych rozwiązań, a tym samym wzmocnienie konkurencyjności i obniżenie cen.

Interesująco przedstawiają się również obiekty, niekoniecznie komercyjne, ale z całą pewnością dedykowane dla grup społeczności o niezbyt wysokich dochodach. Zaliczyć do nich można nowy zespół budynków klasztornych dla 18 zakonnic ze zgromadzenia Cystersów zrealizowany w latach 2004-2006 na wyspie Tautra w Norwegii. Zespół architektoniczny należący do pracowni Jensen & Skodvin Arkitektkontor [14, 20] spędził nad tym stosunkowo niewielkim projektem prawie rok, wprowadzając korekty do pierwotnego programu funkcjonalnego. Ostatecznie, ograniczając udział korytarzy zmniejszył powierzchnię całkowitą o prawie 30%. Efekt uzyskano poprzez drobiazgową analizę sposobu działania użytkowników klasztoru. Zazwyczaj zakonnice pracowały razem w jednym z czterech głównych pomieszczeń. Projektant uznał zatem, iż te powierzchnie pełnią równocześnie funkcję „komunikacyjną”. Jednym dochodem pozwalającym na utrzymanie się mieszkankom klasztoru jest tradycyjny proces produkcji mydeł oraz innych kosmetyków tworzonych na bazie produktów naturalnych. W tym celu część powierzchni została przeznaczona na funkcję produkcyjną, a powstałe w efekcie wyrobu kosmetyków zyski ciepłe stanowią dodatkowe źródło ogrzewania dla pozostałych części budynku.

Do kompleksu dołączono mały kościół dostępny dla odwiedzających. Wszystkie obiekty zostały wzniesione w konstrukcji drewnianej. Ekspozowane na silne morskie podmuchy fasady budynków okalających wewnętrzny dziedziniec zostały natomiast wykończone w lokalnie dostępnym grancie – w formie cienkich płytek zamocowanych do drewnianego szkieletu za pomocą stalowych kotew. Zastosowano metodę analogiczną jaka od wieków była wykorzystywana do krycia dachów, tyle, że w tym konkretnym przypadku rozwiązanie przeniesiono na elewację, tworząc niepowtarzalny estetyczny efekt. W zespole znajduje się również zespół siedmiu zielonych atriów doświetlających i pasywnie dogrzewających użytkowane pomieszczenia.

Zespół stanowi przykład efektywnego energetycznie budynku. Docelowe parametry zostały uzyskane poprzez niskotechniczne rozwiązania – ukształtowanie przestrzenne obiektów i wybór lokalnych materiałów budowlanych odpowiedni do warunków klimatycznych.

Inwestycja NINA [14, 19] została zainicjowana jako konkurs architektoniczny. Klientem był Norweski Uniwersytet Techniczny (NTNU), a dokładnie Norweski Instytut Badań nad Środowiskiem Naturalnym (*Norwegian Institute for Nature Research – NINA*), dla którego miała powstać nowa siedziba. Głównym założeniem było stworzenie charakterystycznego łatwo rozpoznawalnego obiektu, jednocześnie nowoczesnego, o elastycznej funkcji biurowej, z której mieli korzystać zarówno naukowcy wykonujący analizy w laboratoriach, jak i badacze pracujący zazwyczaj w terenie.

Uczelnia poparła lokalną inicjatywę promującą Trondheim jako miasto przyjazne technologiom drewnianym i podjęła decyzję, aby obiekt, pomimo dużych rozmiarów, posiadał fasadę z jodłowych paneli.

Zwycięska pracownia architektoniczna Pir II, zaproponowała proste rozwiązanie funkcjonalne dzielące instytut na poszczególne części. Podstawową ideą projektu stało się wykorzystanie drewna zarówno jako materiału konstrukcyjnego jak i warstwy wykończenia elewacji. Żelbetowa baza ma stanowić meta-



Rys. 1. Tautra – widok kościoła oraz skrzydła klasztornego [aut.]



Rys. 2. Tautra – widok fasady kościoła oraz skrzydła głównego wejścia [aut.]



Rys. 3. Teutra – widok wnętrza kościoła – widok na ścianę głównego ołtarza [aut.]



Rys. 4. Teutra – wewnętrzne atrium [aut.]

forę lodowca, a jednocześnie zapory akustycznej chroniącej przed hałasem od pobliskiej linii kolejowej. W tej części budynku ulokowano publiczne centrum konferencyjne, laboratoria, powierzchnie techniczne oraz magazynowe.

Na szczycie lodowca zostało ustawione drewniane pudełko mieszczące cztery kondygnacje biurowe. Parter – gdzie znajduje się główne wejście stanowi powierzchnię „pomiędzy” obu funkcjami. W sumie obiekt ma 6 poziomów i powierzchnię całkowitą ok. 8700 m². Został ukończony w połowie 2013 roku.

Stropy w części biurowej zostały wykonane z 5200 litych drewnianych ele-



Rys. 5. Budynek NINA – fasada szczytowa od strony podmiejskiej linii kolejowej [aut.]

mentów grubości 170mm. Każda belka jest widoczna w stropie niższej kondygnacji. Wszystkie zewnętrzne ściany zostały pokryte panelami z drewna również łączonymi w technologii drewnianej. Ostatecznie zamiast jodły wykorzystano drewno sosnowe norweskiej firmy Kebony (*Kebony Pine*), która posiada system certyfikatów świadczących o odpowiedzialnym pozyskiwaniu drewna, a także jest właścicielem patentu na przyjazną środowiskowo obróbkę drewna. Jest to tak zwany proces kebonaizacji, podczas którego drewno jest poddawane podciśnieniowemu nasączeniu ciekłymi odpadami pochodzącymi z przetwórstwa cukrowego. Pod wpływem tej technologii powstaje produkt o odporności porównywalnej z drewnem tropikalnym – mahoniem czy tekiem. Ponadto, wewnątrz podstawowych paneli zastosowano świerkowe akustyczne wkładki.

W 2013 roku budynek otrzymał nagrodę WAN Wood in Architecture Award. Budynek został zrealizowany w standardzie biurowego obiektu pasywnego. Standard ten jest na terenie Norwegii przedmiotem wielu dyskusji, pomimo to w 2014 roku wprowadzono zasadę, iż wszystkie nowo realizowane budynki, w tym również mieszkalne powinny posiadać status obiektu pasywnego.

Chcąc uniknąć stosowania systemu mechanicznego systemu chłodzenia, pracownia architektoniczna Pir II zaprojektowała stałe ażurowe osłony prze-



Rys. 6. Budynek NINA – fragment „podium” fasada szczytowa od strony podmiejskiej linii kolejowej [aut.]



Rys. 7. Budynek NINA – główne wejście do budynku [aut.]

ciwśloneczne wykonane z tego samego drewna co całość fasady biurowej. Stanowią one główny charakterystyczny detal fasady budynku.

Częściowo klimatyzowane pomieszczenia sal wykładowych znajdują się za żelbetową ścianą kondygnacji osadzonej w stoku terenu.

3. Podsumowanie

3.1. Funkcja i forma

Układ funkcjonalny i forma przestrzenna budynku pojawiają się w efekcie skomplikowanego procesu, na który znaczny wpływ mają techniczne, funkcjonalne oraz estetyczne parametry. Wiatr, poziom nasłonecznienia, osłona i ekspozycja, jakość powietrza oraz uwarunkowania akustyczne będą stanowiąły wytyczne dla ostatecznego uformowania związków pomiędzy wnętrzem i otoczeniem obiektu, a także sposobem kształtowania fasady. Strategie związane z ogrzewaniem, chłodzeniem, naturalnym doświetleniem oraz dostarczaniem energii są uwzględniane już na wczesnym etapie projektowym. Właściwe ukształtowanie bryły budynku, a także prawidłowa lokalizacja może ograniczyć poziom energii użytkowej nawet o 30-40%.

Powierzchnie wymagające stałego ogrzewania są lokalizowane w ekspozycji południowej, tak aby można było maksymalnie wykorzystać zyski z promieniowania słonecznego. Od strony północnej zaś – powierzchnie techniczne, niewymagające wysokiego standardu użytkowego. Pomieszczenia, które powinny być dogrzewane jedynie pośrednio mogą być ulokowane w mniej atrakcyjnych częściach budynku. Funkcje, dla których najważniejszym parametrem jest poziom dziennego doświetlenia są umiejscowione w pobliżu ścian zewnętrznych lub ostatniej kondygnacji budynku. W przypadku zastosowania systemu naturalnej wentylacji jednym z najważniejszych parametrów jest głębokość i przekrój budynku.

Na prawie całym obszarze Europy, południowa fasada budynku otrzymuje przynajmniej trzy razy więcej zysków słonecznych w zimie niż fasada



Rys. 8. Budynek NINA – główny hol wejściowy do budynku [aut.]

wschodnia i zachodnia. W porze letniej sytuacja ulega odwróceniu. Elewacja północna otrzymuje bardzo niski poziom promieniowania w każdej porze roku. W konsekwencji, budynek zorientowany dłuższymi fasadami wzdłuż osi wschód-zachód jest postrzegany za najbardziej efektywny energetycznie bez względu na strefę klimatyczną, w jakiej jest zlokalizowany. Taki układ umożliwia minimalizację zapotrzebowania grzewczego w zimie oraz obciążenia chłodzeniowego w lecie. Oczywiście parametry rzutu i przestrzennej formy budynku uzależnione są od lokalnych warunków klimatycznych. We wszystkich obszarach klimatycznych, najbardziej energooszczędną formą zabudowy są budynki szeregowe lub tarasowe, gdzie powierzchnia ścian szczytowych jest ograniczona. Stosunkowo niewielka głębokość traktu pozwala na zastosowanie systemu naturalnego przewietrzania. Przy pasywnym wykorzystywaniu zysków słonecznych pożyteczną funkcję spełniają atria oraz ogrody zimowe, przekształcające użytkowaną przestrzeń zarówno estetycznie jak i funkcjonalnie. Wiele lokalizacji wymaga uwzględnienia dodatkowych rozwiązań wynikających z wpływu silnych wiatrów, zacieniania czy przesłaniania, ewentualnie lokalnych wytycznych dotyczących lokalizacji i formy przestrzennej budynku.

Energetyczne zapotrzebowanie budynku nie powinno jednak bezwzględnie stanowić o przestrzennej formie budynku. Projekt powinien uwzględniać możliwość całkowitej zmiany funkcji i przyszłych wewnętrznych przekształceń funkcjonalnych. Efektywność termiczna zewnętrznych przegród stosowanych w Europie Północnej oznacza zatrzymanie ciepła wewnątrz budynku. Stosowane są rozwiązania uniemożliwiające niekontrolowaną utratę zysków ciepłych przez nieszczelne elementy fasad i dachów, a także niekontrolowaną wentylację i infiltrację powietrza. Na takich obszarach, można zastosować następujące kryteria:

- zapewnienie zwartej projektowanej formy przestrzennej;
- maksymalizacji zysków słonecznych poprzez odpowiednie ukształtowanie formy oraz lokalizacji poszczególnych funkcji;
- ograniczenie powierzchni fasad o ekspozycji północnej, lub odsłoniętych na przeważające kierunki wiatrów;
- kontrola systemu wentylacji i infiltracji przez zewnętrzne przegrody budynku;
- zastosowanie przestrzeni buforowych, oddzielających pomieszczenia ogrzewane od strefy zewnętrznej np. ogrodów zimowych od strony południowej;
- lokalizacji drzwi wejściowych z dala od naroży budynku oraz w miejscach osłoniętych przed przeważającymi kierunkami wiatrów;

- zastosowanie przeszklonych studni świetlnych lub atriów jako rozwiązań pozwalających na wprowadzenie światła dziennego do wnętrza obiektu;
- wykorzystanie kubatury elementów budowlanych do przechowywania zysków ciepłych z energii słonecznej lub czynnika chłodzącego przy zastosowaniu systemu nocnego schładzania (strefa klimatu umiarkowanego).

W obiektach, w których zastosowano podejście prośrodowiskowe, jednym z najważniejszych zagadnień jest uzyskanie ścisłej zależności pomiędzy usytuowaniem funkcji w budynku i sposobem rozwiązania elewacji. Właściwie każdy obiekt ma za zadanie osłonę przed wiatrem, opadami, zawilgoceniem, a także umożliwić dostęp do dziennego światła. W strategii energetycznej takich budynków, podczas projektowania systemów instalacyjnych konieczne jest uwzględnienie zewnętrznych parametrów klimatycznych. Jednym z podstawowych założeń jest takie rozwiązanie przegród zewnętrznych, aby uzyskać poprawę równowagi pomiędzy stratami i zyskami ciepła, a tym samym zmniejszenie bazowych parametrów grzewczych. Ewentualne dodatkowe nakłady na realizację są wkrótce amortyzowane poprzez niższe koszty eksploatacji.

3.2. Funkcja i pasywne pozyskiwanie energii

Projektant, przede wszystkim powinien stosować rozwiązania pasywnego pozyskiwania energii poprzez odpowiednie ukształtowanie obiektu – jego formę przestrzenną i zastosowany materiał budowlany – odporny na niszczenie, o długim cyklu życia i niskim zapotrzebowaniu na bieżącą konserwację. Przeprowadzone w krajach UE badania pasywnych rozwiązań pozyskiwania energii słonecznej wykazały, że wysokie parametry termicznej kubatury materiałów budowlanych umożliwiają stabilizację temperatur pomieszczeń w porze dziennej oraz podczas nocnego schładzania. Rozwiązanie to może jednak podwyższyć koszty ponoszone na ogrzewanie budynku. System nocnego schładzania powinien być zapewniony w miejscach, gdzie wyeksponowana kubatura termiczna materiałów budowlanych jest modyfikatorem temperatur dziennych.

W każdym budynku powierzchnie przeźierne są najbardziej interesującymi elementami fasady. Prawidłowe rozwiązanie oznacza znalezienie równowagi pomiędzy różnorodnymi potrzebami – zapewnieniem dostępu światła dziennego, odpowiednich parametrów izolacyjności termicznej, utrzymania odpowiedniego poziomu wentylacji pomieszczeń, odizolowania od źródeł hałasu. Współczesne technologie pozwalają na zastosowanie przezroczystych

materiałów izolacyjnych umożliwiających przenikanie światła rozproszonego z pominięciem strat termicznych ciepła mających miejsce w przypadku konwencjonalnego przeszklenia. Prowadzone przede wszystkim w krajach skandynawskich badania wskazują, że ich zastosowanie zmniejsza obciążenie grzewcze o 75% w porównaniu ze standardowym zapotrzebowaniem. Taka izolacja może wkrótce zastąpić konwencjonalne okna, szczególnie w pomieszczeniach gdzie istnieje zapotrzebowanie na światło, nie zaś na kontakt z otoczeniem. Dobrym rozwiązaniem jest heksagonalny poliamid o współczynniku przenikalności światła 61% i współczynniku izolacyjności termicznej pięciokrotnie lepszym niż podwójnie szklony zestaw okienny. Niestety, koszty są około trzykrotnie wyższe od rozwiązań konwencjonalnych. Zatem bezpośrednie pozyskiwanie zysków cieplnych z energii słonecznej przez przeszkłone elementy fasady jest często najprostszym i najbardziej efektywnym rozwiązaniem. Zastosowanie powierzchni przeszkłonych bez wykonania uprzednich analiz dotyczących pasywnego pozyskiwania lub utraty zysków cieplnych przez obiekt budowlany może spowodować efekt przegrzewania pomieszczeń lub „ośnienia promieniami słonecznymi” użytkowników. Podstawową zasadą jest zastosowanie przesłon chroniących przed nadmiernym nasłonecznieniem oraz wentylacji.

Prawidłowo zaprojektowane, wyposażone w naturalny system wentylacji budynki, mają zazwyczaj płytki trakt (wentylacja grawitacyjna najlepiej funkcjonuje wówczas gdy głębokość pomieszczenia nie przekracza pięciokrotnej wysokości pomieszczenia). Dla niewielkich wydzielonych pomieszczeń, naturalny system wentylacji będzie funkcjonował poprawnie wówczas, gdy ich głębokość nie przekracza dwukrotnej wysokości. Wysokość pomieszczeń powinna być większa niż w budynkach wyposażonych w wentylację mechaniczną. Tym niemniej, przy takim rozwiązaniu uzyskuje się dodatkową kubaturę, która może być częściowo wykorzystana przez systemy instalacyjne. Na obszarach klimatycznych gdzie nocne temperatury w porze lata są znacznie niższe od temperatur dziennych, system wentylacji powinien być skoordynowany z innymi pasywnymi rozwiązaniami.

3.3. Funkcja i rozwiązania prośrodowiskowe

Podczas ostatniej dekady coraz częściej projektowano systemy oświetlenia stanowiące wypadkową współdziałania pomiędzy istniejącymi parametrami oświetlenia naturalnego i sztucznego. W ten sposób można uzyskać oszczędność

energetyczną średnio około 30-50%, a w niektórych przypadkach nawet 60-70%. Poza czynnikiem ekonomicznym faworyzowanym przez inwestorów, jest również parametr rosnącego zapotrzebowania użytkowników na budynki, w których zostały uwzględnione rozwiązania prośrodowiskowe. Autorzy twierdzą jednoznacznie, że rozwój zrównoważony stał się nowym bodźcem dla znacznie szybszego rozwoju we wszelkich gałęziach przemysłu. Wyróżniono sześć podstawowych kierunków kształtujących dalszy rozwój gospodarczy. Zaliczyć do nich należy:

- prawodawstwo – wskazujące na dalsze zaostrzanie wymagań energetycznych dla obiektów budowlanych; ponadto Unia Europejska wskazując w swoich założeniach, że podstawowym celem na rok 2020 jest osiągnięcie prawie zerowego poziomu zapotrzebowania energetycznego dla nowych budynków, wywołała wzrost zainteresowania produktami i systemami pozyskiwania energii z alternatywnych surowców;
- obszar biznesowy – obecnie istnieją rozwiązania pozwalające na projektowanie i realizację efektywnych energetycznie, zrównoważonych obiektów, jednak współczesny obszar biznesowy skupił się na stworzeniu sprawnie funkcjonującego holistycznego podejścia projektowo-realizacyjnego; innym obszarem zainteresowania stało się planowanie regionalne i tworzenie samowystarczalnych niezależnych jednostek osadniczych, których mieszkańcy bezpośrednio uczestniczą w procesie planowania;
- technologia – nastąpił dalszy rozwój rozwiązań technologicznych dotyczących takich obszarów jak efektywność energetyczna, uzyskanie „czystszej” energii oraz lepszego funkcjonowania systemów wbudowanych; możliwość wykorzystywania dynamicznego modelowania w procesie projektowym przesunęła również sferę obliczeń dotyczących energooszczędności, z przybliżonego oszacowywania na możliwość zastosowania narzędzi pozwalających na efektywną zmianę bryły budynku już na poziomie koncepcyjnym; równie ważnym obszarem stała się koordynacja międzybranżowa wraz z całą ogromną sferą zarządzania procesem inwestycyjnym;
- wiedza – nadal brak jest wystarczającej powszechnej wiedzy, chociaż aspekty nakładów i zwrotu kosztu na prośrodowiskowe inwestycje jest znacznie lepiej znane niż kilka lat wcześniej; ten obszar dotyczy zarówno osób fizycznych, jak i przedstawicieli przemysłu budowlanego;
- użytkownik – nastąpiło odejście od „zielonych” inwestycji promowanych przez sektor budowlany na rzecz projektów inicjowanych przez przyszłych użytkowników; podstawowym kryterium jest efektywność przestrzenna pro-

ponowanych rozwiązań postrzegana jako rozwiązanie pozwalające na uzyskanie oszczędności finansowych przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu na środowisko naturalne; coraz częściej w obiektach komercyjnych wdrażane są „zielone” umowy najmu – uważane za właściwy kierunek zarówno przez inwestorów jak i najemców;

- lokalizacja – nadal pozostała krytycznym parametrem szczególnie dla czynników próśrodowiskowych; wysoko ceni się łatwy dostęp do publicznego transportu, jednak liczba miejsc parkingowych jest nadal ważna szczególnie dla obiektów biurowych; zostało przyjęte, iż zrównoważony obiekt, to nie tylko efektywność materiałowa i oszczędność energetyczna, to również poziom dostępności użytkownika.

Wspominany we wcześniejszych fragmentach tekstu raport opracowany dla krajów skandynawskich w 2013 roku [6] wskazuje, że zwiększa się liczba budynków poddawanych środowiskowej certyfikacji. Wyniki ankiet rozesłanych do najemców wskazują, że efektywność funkcjonalno-przestrzenna, jakość standardów wewnętrznych oraz energooszczędność i ochrona środowiska – stanowią najważniejsze parametry w przypadku wyboru miejsca pracy. Jednocześnie, ważna jest informacja o określonym, przez właściciela obiektu lub zarządcy, poziomie emisji dwutlenku węgla. Dostępność za pomocą transportu publicznego oraz alternatywne sposoby dojazdu, stanowią jeden z podstawowych kryteriów. Trzy lata temu ostatnie z wymienionych punktów nie były aż tak ważne dla użytkowników. Rynek jest w wysokim stopniu kształtowany przez użytkowników akceptujących ważkość środowiskowych standardów w miejscu pracy. Powierzchnia w „ekologicznych” biurowcach jest często droższa niż w standardowych budynkach, a jednak nie odstrasza to potencjalnych najemców. Można to wyjaśnić faktem, iż „zielone” budynki mają niższe koszty operacyjne niż standardowe obiekty, a ponadto promują inne wartości takie jak lepszy standard pracy.

Zgodnie przeprowadzonymi badaniami [6] deweloperzy coraz częściej realizują nowe inwestycje pod hasłem – „obiekty odpowiedzialne środowiskowo”, procedura jest łatwiejsza niż przeprowadzanie akredytacji dla obiektów już istniejących i poddawanych modernizacji. Przynajmniej 50% z inwestorów nadal uważa, że koszty ekologicznych rozwiązań są zbyt wysokie i najemcy nie zawsze chcą je ponosić. W przypadku nowych inwestycji, decydującymi parametrami jest efektywne wykorzystanie powierzchni, efektywność energetyczna, jakość środowiska pracy, dostępność do transportu miejskiego oraz poziom izolacyj-

ności akustycznej. Ponad 80% respondentów uważało, iż efektywność materiałów budowlanych i możliwość pozyskania ich z recyklingu, a także węglowy „ślad inwestycji”² są również ważne. Wielu z inwestorów stwierdziło, że najważniejszym czynnikiem, jaki zmusił ich do wprowadzenia nowych rozwiązań są zmiany w prawie budowlanym, a także ukształtowanie się rynku zbytu na ten typ produktów. W 2010 roku, tylko 10% inwestorów certyfikowało realizowane obiekty, w 2012 – prawie 50% respondentów stosowało certyfikaty BREEAM, LEED lub Green Office. Dodatkowo 20% inwestorów zamierza je także stosować w najbliższym czasie. Większość jest przekonana, że narzędzia certyfikujące będą nadal wykorzystywane w przyszłości, tym bardziej, że opracowywane są doskonalsze narzędzia. Zaledwie 10% respondentów nie miała styczności z „zielonymi” umowami o najem³, ale rezultaty wskazują, że stanowią one interesującą formę umowy dla obu zainteresowanych stron. Większość inwestorów jest skłonna ponieść koszty inwestycyjne wyższe o 3% od standardowych, a około 20% – wyższe nawet o 5%-10%. Niestety, brak jest powszechnej wiedzy o alokacji kosztów do konkretnych prośrodowiskowych rozwiązań.

Proces dostosowywania się do wymagań wprowadzanych przez Unię Europejską spowodował konieczność stosowania energooszczędnych rozwiązań budowlanych. Strategia ma wyraźny wpływ na firmy budowlane ponieważ deweloperzy coraz częściej zatrudniają zewnętrznych audytorów gwarantujących prawidłowość wykonywanych prac i wykonujących czynności certyfikacyjne. Tylko 25% firm budowlanych nie miało jeszcze styczności z procedurami certyfikacyjnymi LEED oraz BREEAM. Jedną z podstawowych barier inwestycyjnych jest pewien poziom niepewności, czy przyszli najemcy zgodzą się na poniesienie wyższych opłat czynszowych niż w standardowych obiektach. Ponad 40% firm budowlanych stwierdziło, że nie posiada wystarczających kwalifikacji do stosowania najlepszych dostępnych rozwiązań prośrodowiskowych, chociaż te realizowane obecnie mają wyższy standard niż przewidywane w prawodawstwie. Ogromnym obszarem inwestycyjnym jest istniejący rynek budowlany,

² Węglowy ślad inwestycji oznacza fizyczny zakres oddziaływania materiałów budowlanych i wszelkich surowców niezbędnych do realizacji i użytkowania obiektu [przyp. aut.]

³ Zielona umowa o najem – są to umowy najmu zawierane zazwyczaj dla obiektów komercyjnych zawierające zapisy dotyczące zasad użytkowania obiektu przez najemcę w sposób przyjazny środowisku (np. przeprowadzenie rocznych ocen wydajności energetycznej wynajmowanych powierzchni czy zużycia wody, jak również przyjęcie wspólnych działań w celu podniesienia efektywności wydajności użytkowania obiektu)

który w bliskiej przyszłości będzie musiał ulec adaptacji do zmieniających się oczekiwań użytkowników. Badania wykazują, że oczekiwania są analogiczne jak w przypadku nowych obiektów, a głównym czynnikiem inicjującym czynności modernizacyjne jest podniesienie wartości nieruchomości, szczególnie takiej, która jest zlokalizowana w bezpośredniej bliskości transportu publicznego i systemu ścieżek rowerowych. Koszty ekonomiczne odgrywają nadal ważną funkcję i ponad 60% respondentów uważało, że rozwiązania prośrodowiskowe są nadal zbyt kosztowne. Oznacza to konieczność wprowadzenia na rynek budowlany większej liczby alternatywnych rozwiązań, a tym samym wzmocnienie konkurencyjności i obniżenie cen. Niestety, w raporcie nie omówiono jednego z najważniejszych aspektów – a mianowicie estetyki, pomijając tym samym fakt, iż użytkownik kieruje się nie tylko efektywnością energetyczną, ale także spełnieniem oczekiwań wizualnych, jaki budynek powinien osiągnąć.

Bibliografia

1. Ambasz E.: „Confessions of a green star-architect”, *Living Architecture Monitor* Volume 16, Spring 2014
2. Breakthrough for sustainability in commercial real estate. Deloitte Center for financial services, 2014.
3. EEA, 2007 – *Europe's environment – the fourth assessment*. Copenhagen
4. European Commission, DG Regional Policy, 2007, *Survey and perceptions of quality of life of 75 European cities*. Brussels)
5. Fiedor B., Czaja S., Graczyk A., Jakubczuk Z.: *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*. Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa, 2002.
6. Green Market Study Finland & Scandinavia 2012. *Sustainability in the built environment*. Poÿry, Norwegia
7. Korzeniak G. (red): *Zintegrowane planowanie rozwoju miast*. IRM Kraków, 2011.
8. Kowalewski A. T.: *Społeczne, ekonomiczne i przestrzenne bariery rozwoju zrównoważonego*. IRM, Kraków, 2006.
9. Lawn Ph. A.: *Grounding the Ecological Economics Paradigm with Ten Core Principles*. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, vol. 2 no 1, 2002.
10. Metrics for Responsible Property Investing Developing and Maintaining a High Performance Portfolio” ULI Fall Council Forum, November 2009).
11. Ronald R.: *Sustainable Housing Projects. Implementing a Conceptual Approach*. Techne Press, Amsterdam, 2008.

12. Ryńska E. D.: Zintegrowany proces projektowania prośrodowiskowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
13. Ryńska E. D.: Synergiczna Triada. Architekt, ekonomika, środowisko. Biblioteka Fundacji Powszechniania Energii, Warszawa 2013.
14. Ryńska E. D. 2014-15. Materiały własne, niepublikowane zebrane podczas pobytu w Norwegii
15. Sustainable Development Commission, UK 2008.
16. UNEP, 2008, United Nations Economic Commission for Europe, UN-HABITAT, Launch publication: *Local Action for biodiversity*
17. World Green Building Council, „The Business Case for Green Building: A Review of the Costs and Benefits for Development, Investors and Occupants”, 2013.
18. Żylicz T.: *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2004.
19. www.pir2.no
20. www.tautramariakloster.no

ENERGY, AESTHETICS AND ECONOMICS

Both buildings and other engineering structures are the most visible effects of emerging civilization and cultural conditions highly influencing human perception of surrounding environment. Even though, they can be described as economic outcomes, such strictly financial attitude articulated as „*let us first check by the means of tools which have been created by other representatives of human kind, if this energy efficient buildings really do pay off*”, show a narrow minded attitude since average life span of a building is 50-80 years. Hence, decisions undertaken presently, will have a high environmental impact at the end of the 21st Century, when the level of easily accessible resources, including energy ones, might be limited to a large extent.

Construction and utilization of buildings characterized by long term defectless function – to be achieved possibly through integration of flexible functional and technical solutions and acceptance of energy effective installation systems – is in the interest of their users. The last of the mentioned features is especially important in the case of a merging of effective utilization standards and equally important aesthetic decisions dealing with the form, internal layout patterns, type of construction and finishing materials used. Since the end of 19th Century when the division into „architecture” and „engineering disciplines” took place, followed by separation of „internal technical systems” – each of the disciplines evolved separately to a certain extent. Design process, where in the beginning all aspects were resolved in a one single task, became a linear process, divided into different disciplines. Hence the outcome, buildings characterized with low energy efficiency, high facility costs, and more than often negative environmental influence.

Patrycja Haupt

Politechnika Krakowska

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 2

CECHY ZRÓWNOWAŻONE WSPÓŁCZESNYCH KRAKOWSKICH OSIEDLI MIESZKANIOWYCH

1. Wprowadzenie

Warunki życia w miastach polskich stały się szczególnym obszarem zainteresowania ekonomistów środowiska oraz urbanistów i planistów po roku 2005, w którym to przedstawiono wyniki badań miast europejskich przeprowadzonych przez Eurostat w ramach programu Urban Audit II. Parametry przedstawionych analiz pogrupowano w trzy obszary tematyczne: środowisko, aspekty społeczne oraz edukacja. Wyniki badań stanowiły tło dla możliwości oraz prognoz gospodarczych rozwoju Unii Europejskiej. [1] Równocześnie realizowano programy badawcze mające na celu ocenę stanu i wpływu na środowisko budownictwa mieszkaniowego. Pierwszym nurtem, który znalazł odzwierciedlenie w przepisach prawa budowlanego były cechy związane z technologią, takie jak efektywność energetyczna, czy też wpływ na środowisko naturalne. Drugim była problematyka jakości środowiska mieszkaniowego, związana nie tylko z aspektami technicznymi – ale przede wszystkim ze stylem życia mieszkańców. W eksperymentalnych osiedlach mieszkaniowych zrealizowanych na początku XXI wieku znaleziono zależności pomiędzy aspektami społecznymi, kształtowaniem przyzwyczajzeń mieszkańców, a wpływem inwestycji na zdrowie środowiskowe i stan środowiska.

1.1. Uwarunkowania dla budownictwa o cechach zrównoważonych w Polsce

Wzrost zainteresowania inwestycjami o cechach zrównoważonych w ostatnich latach wynika ze zmian legislacyjnych oraz mechanizmów wspie-

rania budownictwa niskoenergetycznego. Pierwszym krokiem było wprowadzenie obowiązku sporządzania świadectw energetycznych dla budynków nowopowstających. Kolejną inicjatywą jest wspieranie dostosowania polskich inwestycji do wymogów stawianych przez europejski Pakiet Klimatyczny, który zakłada ograniczenie do 2020 roku emisji gazów cieplarnianych o 20%, zwiększenie udziału źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym do 20% oraz podniesienie o 20% efektywności energetycznej poprzez system dopłat do budynków niskoenergetycznych skierowany do osób fizycznych budujących dom jednorodzinny lub kupujących dom/mieszkanie od dewelopera realizowany za pośrednictwem Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). [2] Mechanizm dofinansowywania spowodował wzrost zainteresowania deweloperów budownictwem niskoenergetycznym. Równocześnie na rynku towarzyszy temu trendowi wzrost świadomości kupujących, którzy obok trzech najistotniejszych parametrów wpływających na wybór miejsca zamieszkania: ceny, powierzchni, stanu technicznego i lokalizacji zaczynają wymieniać również koszt eksploatacji. W reklamach deweloperów podkreślane są często inne cechy proekologiczne inwestycji związane z technologią zielonych dachów, gospodarką wodą opadową, systemami odzyskiwania ciepła, pozyskiwaniem energii ze źródeł alternatywnych etc.

1.2. Stan zasobów mieszkaniowych w Polsce

Według danych Eurostat z 2010 roku liczba mieszkań powstających w Polsce w budownictwie jednorodzinnym i wielorodzinnym była zbliżona (50%/50%). W miastach jednak procent ludzi zamieszkujących w budynkach wielorodzinnych (powyżej 10 mieszkań) to ponad 80, zgodnie z danymi z 2012 roku, przy czym w ostatnich latach odsetek rodzin zamieszkujących domy jednorodzinne nieznacznie rośnie (o ok. 8% pomiędzy 2011, a 2012). [3] Pod względem liczby ludności mieszkającej w intensywnej zabudowie wielorodzinnej Polska jest po Litwie i Estonii trzecim krajem europejskim. [4] Pomimo, iż prawie 70% Polaków deklaruje zadowolenie ze swoich warunków mieszkaniowych, to miasta polskie borykają się z problemami związanymi z niekorzystnymi zjawiskami: wysoką koncentracją nowopowstającej zabudowy mieszkaniowej, degradacją obszarów zabudowy blokowej, rozpraszaniem się tkanki miejskiej poprzez rozrastanie się strefy peryferyjnej. Wspomniane procesy mają negatywny wpływ na środowisko poprzez zmniejszającą się liczbę powierzchni bio-

logicznie czynnej redukującej skutki emisji CO₂, intensyfikację ruchu kołowego powodującą zanieczyszczenie powietrza, a także powodują anonimowość, zanikanie więzi społecznych, uniemożliwiają prozdrowotny tryb życia, co rzuca na stan zdrowia środowiskowego populacji. [5]

Tabela 1. Struktura gospodarstw domowych w podziale na typ zajmowanego budynku mieszkalnego

	Dom jednorodzinny wolnostojący	Dom jednorodzinny w zabudowie szeregowej	Budynek wielorodzinny – mniej niż 10 lokali	Budynek wielorodzinny – 10 lub więcej lokali
Miasta – 500 tys. mieszkańców i więcej	8,5%	3,2%	8,2%	80,1%
Miasta – 200-500 tys. mieszkańców	14,1%	5,1%	11,0%	69,9%
Miasta – 100-200 tys. mieszkańców	15,9%	2,1%	15,6%	66,2%
Miasta – 20-100 tys. mieszkańców	25,2%	4,2%	12,4%	58,1%
Miasta – 20 tys. mieszkańców i mniej	40,7%	6,0%	13,3%	39,8%
Wieś	81,9%	4,5%	7,2%	6,1%

Źródło: Dział Badań i Analiz, Emmerson S.A. na podstawie danych Eurostat.

1.3. Kierunki rozwoju budownictwa mieszkaniowego w Krakowie

W odpowiedzi na warunki życia w miastach powstające obecnie plany zagospodarowania przestrzennego gmin, w tym Krakowa, zakładają obniżenie koncentracji zabudowy, rozwój zintegrowanego transportu publicznego oraz zwiększenie ilości terenów zielonych. Polityka przestrzenna Krakowa opiera się przede wszystkim na zagęszczaniu tkanki miasta poprzez wspomaganie procesów rehabilitacji obszarów zabudowy blokowej oraz rewitalizacji terenów przemysłowych, ograniczeniu intensywności w nowopowstających osiedlach oraz wspomaganiu proekologicznych i niskoenergetycznych inwestycji w strefie peryferyjnej objętej zasięgiem zintegrowanego transportu publicznego.



Schemat 1. Kierunki rozwoju budownictwa mieszkaniowego Krakowa.

[źródło: opracowanie własne]

Działania w zakresie uzupełniania tkanki miasta poprzez programy rehabilitacji i rewitalizacji omówiono szczegółowo w rozdziale pt. *Przestrzeń odzyskiwana. Możliwości wdrażania technologii zrównoważonych w przestrzeniach wspólnych dzielnic mieszkaniowych na podstawie doświadczeń w realizacji projektu USER* niniejszej monografii. Kontrolowany rozwój miasta poprzez promowanie inwestycji przyjaznych środowisku i użytkownikom można zaobserwować na podstawie powstałych po roku 2010 osiedli mieszkaniowych w części zachodniej oraz południowej miasta, tam gdzie zatwierdzone zostały wcześniej plany zagospodarowania przestrzennego. Spośród powstających tam zespołów mieszkaniowych można wyłonić te charakteryzujące się przyjazną skalą, rozwiązaniami energooszczędnymi, dostępnością oraz gradacją prywatności przestrzeni. Wyróżniające się przykłady wybrano, aby zaprezentować kierunki rozwoju budownictwa mieszkaniowego, obejmujące również aspekty projektowania zrównoważonego. Proekologiczne inwestycje strefy peryferyjnej Krakowa, zarówno indywidualne jak i prowadzone przez deweloperów bazują głównie na utrzymaniu standardów budownictwa niskoenergetycznego poprzez zastosowanie przegród i elementów budowlanych o niskich stratach ciepła, a także technologii instalacyjnych związanych z wymianą ciepła. Często instalacje te, nazywane inteligentnymi wspomagane są zintegrowanymi systemami sterowania typu KNX, które umożliwiają efektywne zarządzanie temperaturą i wilgotnością powietrza, zacienieniem oraz oświetleniem, jakie są rzadkością w większych inwestycjach mieszkaniowych.

2. Jakość środowiska mieszkaniowego a cechy zrównoważone inwestycji

Środowisko mieszkaniowe człowieka rozumiane jako miejsce jego zamieszkania – dom oraz sąsiedztwo – nabiera szczególnego znaczenia we współczesnym świecie zdeterminowanym rosnącym tempem życia. Narzuca ono

wewnętrzną potrzebę poszukiwań zjawisk oraz elementów środowiska mieszkaniowego odpowiadających za jego komfort, a tym samym wysoką jakość. Cechami współczesnego, europejskiego, a w tym także polskiego środowiska mieszkaniowego w miastach są zmiany wynikające z wprowadzenia w życie doktryn projektowania zrównoważonego, jak i przeobrażania się modelu rodziny, struktury gospodarstw domowych, w tym moda na zdrowy styl życia.

2.1. Badania nad jakością środowiska mieszkaniowego

W latach 70-tych ubiegłego stulecia rozpoczęto badania nad wpływem jakości środowiska mieszkaniowego na zdrowie i samopoczucie człowieka. Do ich zainicjowania przyczyniła się publikacja dwóch opracowań, pierwszego, autorstwa J. Jacobs „The Death And Life of Great American Cities”, a później R. Banham „Rewolucja w architekturze”, które skierowały uwagę na połączenie problematyki ekologii z rozwojem miast. [6], [7] Na konferencji w Vancouver w roku 1976 przedstawiono zależności pomiędzy środowiskiem życia, a zdrowiem człowieka, których analiza doprowadziła do wskazania w Raporcie Kongresu Narodów Zjednoczonych z 1992 kierunków gospodarczo-społecznych zrównoważonego rozwoju, a w rezultacie powstania zasad kształtowania otoczenia człowieka w trosce o środowisko. Kolejne badania nad tym problemem obejmowały analizę jakości środowiska mieszkaniowego mającą na celu powstanie wskazówek dla projektantów: architektów, urbanistów i planistów, sformułowanych jako zasady projektowania zrównoważonego oraz *Green Urbanism*. Wśród badaczy zagranicznych można wymienić tutaj S. Lehmana, R. i B. Vale, a wśród polskich przede wszystkim G. Schneider-Skalską, T. Sumienia i A. Wegner-Sumień oraz J. Kobylarczyk. [8], [9], [10], [11], [12]

2.2. Metody oceny

Badania nad jakością środowiska mieszkaniowego wskazują związki zachodzące między miejskim środowiskiem mieszkaniowym a zdrowiem i dobrym samopoczuciem mieszkających w nim ludzi. G. Schneider-Skalska opisuje relacje te, wyróżniając dwie grupy elementów: przyrodnicze i strukturalno-przestrzenne jako wpływające w istotny sposób na jakość środowiska mieszkaniowego i jego oceny przez mieszkańców. System oceny przedstawiony w jej pracach opiera się na analizie urbanistycznej zespołów mieszkaniowych oraz badaniach przeprowadzonych wśród mieszkańców. [10] Ocenę

jakości środowiska mieszkaniowego krakowskich osiedli przeprowadzono na przykładzie zespołów zabudowy wielorodzinnej, Ugorka i Olszy II w ramach programu rehabilitacji miasta Krakowa w 2014 roku przez zespół pod kierunkiem J. Kobylarczyk. Metoda oceny opierała się na wyróżnieniu trzech obszarów problemowych zapisanych pod hasłami osiedla żyjącego, wygodnego i zdrowego. W pierwszym z nich określano, czy dany zespół stanowi przestrzeń życia społecznego mieszkańców i ich aktywności, drugi obejmował problematykę funkcjonalności obszaru, z uwzględnieniem usług, terenów zieleni i komunikacji, a w trzecim stwierdzano, czy zespół zapewnia warunki dla dobrego samopoczucia fizycznego, a także psychicznego mieszkańców, a w szczególności stworzenie możliwości dla prowadzenia prozdrowotnego trybu życia oraz zapewnienie doznań estetycznych, które umożliwiają identyfikowanie się mieszkańców z miejscem zamieszkania. [12] Z kolei Jan Kamiński przedstawia kryteria, dzięki którym można określić osiedle jako ekologiczne. Podkreśla, iż pojęcie: współczesne osiedle ekologiczne winno być rozumiane jako zespół przyjazny dla mieszkańców, przyrody i krajobrazu. Autor wyróżnia najważniejsze sfery, w których należy kształtować osiedle wymieniając przede wszystkim zdrowe środowisko mieszkaniowe, ochrona zasobów naturalnych, energooszczędność, ochrona przyrody i ochrona krajobrazu. [13]

2.3. Przyjęty system oceny

Do oceny trendów w powstających w Krakowie inwestycji mieszkaniowych przyjęto grupę zespołów wielorodzinnych niskich. Wybrano te, które wyróżniały się:

a) w skali makro:

- dostępnością komunikacyjną,
- powiązaniem z terenami rekreacyjnymi oraz usług,
- rozwiązaniami w skali urbanistycznej wpływającymi na gradację prywatności przestrzeni,
- umożliwieniem kontaktu z naturą oraz zacieśnianiem więzi sąsiedzkich,

b) w skali architektonicznej:

- polegające na technologiach umożliwiających ograniczenie konsumpcji energetycznej,
- wprowadzające alternatywnych źródeł energii,
- umożliwiające efektywną gospodarkę wodą opadową,
- promujące proekologiczne rozwiązania materiałowe.



Schemat 2. Obszary problemowe systemu oceny zespołów mieszkaniowych.

[źródło: opracowanie własne]

3. Krakowskie przykłady

Badania przeprowadzono na wybranych zespołach mieszkaniowych powstałych na terenie gmin Miasta Krakowa po 2010 roku metodą spacerów badawczych¹, badań gabinetowych² oraz analizy porównawczej. Rezultaty przedstawiono na zasadzie tzw. dobrej praktyki, w trzech grupach zespołów mieszkaniowych charakteryzujących się możliwością promowania zdrowego trybu życia poprzez dogodny dostęp do komunikacji publicznej, usług i rekreacji; możliwość aktywnego wypoczynku; stwarzających komfortowe warunki zamieszkania poprzez przyjazną formę, skalę, podział przestrzeni oraz grupę biorącą pod uwagę szacunek dla środowiska naturalnego poprzez zastosowanie technologii zrównoważonych w zakresie energooszczędności, gospodarki wodą oraz pozyskiwania energii ze źródeł alternatywnych, a także poszanowania terenu i rozwiązań materiałowych. Żaden z opisanych zespołów nie spełniał kryteriów inwestycji modelowej w pełnym zakresie, dlatego uwagę skierowano wybrane cechy poszczególnych osiedli zasługujące na rozwój i kontynuację w przyszłości.

¹ Spacer badawczy – socjologiczna metoda badawcza należąca do narzędzi partycypacji społecznej, interaktywna, terenowa metoda pytania mieszkańców stosowana przede wszystkim do badania przestrzeni, dla poznania oceny przestrzeni widzianej oczami jej użytkowników. [14]

² Mowa tu o metodzie analizy przypadków, zastosowano określenie „gabinetowa” dla odróżnienia od badań terenowych.

Tabela 2. Zestawienie porównawcze cech wybranych krakowskich osiedli
[źródło: opracowanie własne]

	Aparta- menty z ogrodu	Borkow- ska	Lindeg Park	Mała Błonia	Osiedle Saturna	Zielone Tarasy	Złota Podkowa
Promowanie zdrowego trybu życia:							
dostęp do komunikacji publicznej,	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+
dostępność usług, rekreacji, sportu,	-	-	+/-	+	+	-	+
parkowanie i transport alternatywny,	+	+	+	+	+	-	+
trasy ruchu rekreacyjnego pieszego i rowerowego,	+	-	+	+	+/-	-	+
ogólnodostępne tereny rekreacyjne.	+	-	+	+	+	-	+
Komfort zamieszkiwania:							
estetyka: przyjazna forma,	+	+	+	+	+/-	+	+/-
skala i odległości między budynkami	+	+	+	+	+	+/-	+
podział przestrzeni: przestrzeń prywatna, półprywatna, publiczna,	+	+	+	+	-	+/-	+/-
kontakt z naturą,	+	+	+	+	+/-	+/-	+
więzi społeczne, poczucie bezpieczeństwa	+	+	+	+	-	+/-	+/-
Szacunek dla środowiska naturalnego:							
technologie i parametry budynków – materiały,	+	+	-	+	+	+	-
technologie i parametry budynków: instalacje,	-	+	-	+	+	-	-
gospodarka energią w obrębie budynku,	-	+	-	-	+	-	-
gospodarka wodą w obrębie budynku,	-	-	-	-	-	-	-
gospodarka energią w przestrzeniach wspólnych,	-	-	-	-	+	-	-
gospodarka wodą w przestrzeniach wspólnych,	-	-	-	-	-	-	+/-
rozwiązania eliminujące czynniki szkodliwe – hałas, zanieczyszczenia.	-	-	-	-	-	-	-

3.1. Promowanie zdrowego trybu życia

Badając możliwości promowania zdrowego stylu życia uwagę skierowano głównie na możliwość korzystania z komunikacji publicznej, a w szczególności zintegrowanego transportu aglomeracyjnego. Na jego system składają się obecnie w Krakowie połączenia tramwajowe, autobusowe, systemy Park&Ride oraz SKA – Szybka Kolej Aglomeracyjna, której sieć jest w trakcie rozbudowy. Pod względem możliwości korzystania z transportu publicznego najkorzystniej położone okazało się być Osiedle Złota Podkowa. Znajduje się ono w pobliżu pętli tramwajowej, linii autobusowych miejskich oraz podmiejskich, za pomocą których można udać się w tereny rekreacyjne parków krajobrazowych w otoczeniu miasta. W budowie jest również przystanek kolei aglomeracyjnej w niewielkiej odległości od zespołu. Z różnorodności sposobów transportu mogą korzystać również mieszkańcy Zielonych Tarasów oraz Lindego Park, jednak odległość ta w obydwu przypadkach przekracza 400 m. Osiedle Saturna ma dostęp do linii tramwajowej oraz autobusowej w zasięgu pieszym, pozostałe inwestycje – jedynie transport autobusowy. Bezpośrednim dostępem do ścieżki rowerowej prowadzącej do centrum miasta charakteryzują się Małe Błonia, natomiast osiedla Złota Podkowa i Lindego Park leżą na szlakach rowerowych o charakterze rekreacyjnym i zasięgu podmiejskim. Większość z wybranych inwestycji posiada garaże podziemne w liczbie co najmniej 1 miejsce postojowe na mieszkanie, co powoduje ograniczenie ruchu kołowego na drogach dojazdowych. Najkorzystniejsze wydają się tu być zespoły Lindego Park oraz Borkowska, w których na terenie osiedla ulice zastąpione zostały ciągami pieszymi, a parkingi naziemne zlokalizowane są przy wjeździe do inwestycji. Żaden z zespołów nie oferuje udogodnień dla osób nie posiadających samochodu w postaci np. stosowanych w Europie i Stanach Zjednoczonych wypożyczalni samochodów z napędem elektrycznym, ani miejsc ładowania dla kierowców takich pojazdów. Najlepszym dostępem do tras o charakterze rekreacyjnym, pieszych, spacerowych i rowerowych wyróżnia się zespół Lindego Park, Apartamenty w Ogrodzie oraz Małe Błonia, których mieszkańcy mogą korzystać z wałów rzeki Rudawy. Stanowią one element sieci połączeń pieszych łączących parki miejskie – Park Decjusza, Park im. Henryka Jordana, Błonia, Las Wolski. Pozostałe wymienione inwestycje mają dostęp do ogólnodostępnych przestrzeni rekreacyjnych lub terenów sportowych w zasięgu pieszym poza granicami zespołu. Dostęp do usług w obrębie osiedla zagwarantowany jest w zespołach Złota Podkowa oraz Lindego Park, w pozostałych inwestycjach podstawowe usługi znajdują się w zasięgu pieszym.

3.2. Komfort zamieszkiwania

Zagadnienia z zakresu komfortu zamieszkiwania w postaci odległości pomiędzy budynkami, estetyki architektury, dbałości o gradację prywatności i jakość przestrzeni wspólnych sprzyjającą kontaktom społecznym, a także zadbanie o kontakt z naturą są najmocniejszą stroną wszystkich prezentowanych inwestycji. Sprzyja temu sposób doboru przykładów, który skoncentrował się na selekcji zespołów o przyjaznej skali, ale również względy rynkowe. Komfort zamieszkiwania jest zespołem cech, na który według badań największy nacisk – po cenie i lokalizacji – kładą kupujący. Konkurencja na rynku wspiera dbałość o estetykę przestrzeni. Warte podkreślenia jest również sposób zagospodarowania terenu stwarzający potencjał tworzenia się wewnątrz sąsiedzkich rekreacyjnych o charakterze społecznym oddzielonych od ruchu kołowego, co zapewnia poczucie komfortu i bezpieczeństwa podczas korzystania z nich. Taką formę oferują wszystkie wymienione zespoły za wyjątkiem Zielonych Tarasów i Osiedla Saturn. Negatywne przykłady wynikają w przypadku pierwszym z preferencji użytkowników, gdzie poczucie bezpieczeństwa realizowane jest poprzez zastosowane rozwiązania przestrzenno-instalacyjne – ogrodzenie jednostki, monitoring oraz dwustopniową kontrolę dostępu; natomiast w drugim założenia w planie wysokiej intensywności zabudowy. Tworzenie wewnątrz rekreacyjnych pomiędzy budynkami sprzyja odpowiednim odległościom pomiędzy ich elewacjami stwarzającymi komfort zachowania prywatności we wnętrzach. Najbardziej niekorzystnym przykładem są tutaj ponownie Zielone Tarasy, gdzie brak przestrzeni wspólnych, a także liniowy układ budynków, o przebiegu zachód-wschód spowodował bliskość sąsiada od południowej, przeszklonej elewacji. Efekt niweluje tarasowy charakter zabudowy, który dodaje atrakcyjności mieszkaniom na wyższej kondygnacji. Wszystkie mieszkania oferowane w analizowanych zespołach mają zapewniony kontakt ze strefą zewnętrzną, ogrodem, tarasem, bądź loggią czy balkonem skierowanym na otaczające lub wewnętrzne tereny rekreacyjne, co jest niewątpliwie ich atutem.

3.3. Szacunek dla środowiska naturalnego

Szacunek dla środowiska naturalnego wyrażający się w stosowaniu zasad zielonej architektury w budownictwie mieszkaniowym jest w krakowskich inwestycjach wciąż trudno odnaleźć. Być może powstanie Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego otwartego 9 października 2014

roku, jako interdyscyplinarnej i międzyinstytucjonalnej jednostki promującej rozwiązania energooszczędne wpłynie na poprawę obecnego stanu. Pionierskie inwestycje charakteryzujące się dbałością o środowisko naturalne koncentrują się głównie na stosowaniu materiałów energooszczędnych oraz rodzimych materiałów budowlanych i wykończeniowych, a także dachów zielonych. Takie rozwiązania można zaobserwować w inwestycjach Apartamenty z ogrodu, Zielone Tarasy, Lindego Park czy też Małe Błonia. [15], [16], [17], [18] Wyjątki stanowią tu Borkowska oraz Osiedle Saturna. [19,20], [21] Obydwie inwestycje spełniają wymogi uzyskania dopłat z programów Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Banku Ochrony Środowiska dzięki deklarowanemu ograniczeniu zużycia energii do 40 kWh na 1 m². Zespół przy ul. Borkowskiej charakteryzują głównie energooszczędne technologie instalacyjne. Zespół ogrzewany jest za pomocą wysokosprawnej kotłowni gazowej. W budynkach zastosowano system wentylacji mechanicznej z odzyskiwaniem ciepła oraz filtracją powietrza, dzięki której eliminowane jest niekorzystne działanie pyłów i alergenów. Rozwiązania energooszczędne zastosowano w skali budynków, nie ich otoczenia, nie uwzględniono również gospodarki wodą. Drugą inwestycją o parametrach energooszczędnych kwalifikujących do uzyskania dopłat z programów NFOŚ jest powstające w Bieżanowie Osiedle Saturna. Budynki zespołu zostały zaprojektowane tak, aby spełniać cechy budynku o podwyższonej energooszczędności zgodnie z zaleceniami Polskiego Stowarzyszenia Budownictwa Ekologicznego (PLGBC). Izolacyjność budynku znacznie przekracza obecnie przyjęte polskie standardy termiczne dla budownictwa wielorodzinnego (zwiększona izolacyjność ścian zewnętrznych, stropów, dachu, szczególne zabezpieczenie mostków termicznych, dodatkowa izolacja płyt balkonowych, okna trójszybowe pięciokomorowe o podwyższonym współczynniku przenikalności cieplnej $U < 0,95$, wysoka sprawność instalacji CO i CWU, wysoka sprawność kotła grzewczego). Budynek został zaprojektowany z wysoką dbałością o niskie zużycie energetyczne w częściach wspólnych. Dodatkowym elementem wyposażenia budynków Tytan i Tetyda są kolektory słoneczne, których głównym zadaniem będzie wspomaganie ogrzewania CWU (cieplej wody użytkowej), a co za tym idzie zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych mieszkań. Inwestycja wyróżnia się pod względem technologicznym natomiast niekorzystnie przedstawiają się zagadnienia komfortu zamieszkania wiążące się z kontaktem z naturą, przestrzeniami społecznymi oraz ograniczeniem ruchu kołowego.

4. Podsumowanie i wnioski

Z badań CBOS wynika, że blisko połowa Polaków (46%) deklaruje zaniepokojenie stanem środowiska naturalnego w naszym kraju. Potocznie jednak niekorzystny wpływ na nasze otoczenie przypisuje się przemysłowi ciężkiemu, czy też transportowi, a także stosowaniem paliw kopalnych do produkcji energii na masową skalę. Jednak wbrew powszechnej świadomości ok. 27% całkowitego zużycia energii w Polsce (wg badań GUS za rok 2012) generowały gospodarstwa domowe, poprzez ogrzewanie i chłodzenie, oświetlenie oraz używanie sprzętu gospodarstwa domowego. Dlatego wydaje się być słuszne kreowanie środowiska mieszkaniowego promującego świadomy, proekologiczny styl życia nie tylko ze względu na zdrowie mieszkańców. Obecnie tylko 8,2% zespołów mieszkaniowych powstających w polskich miastach to inwestycje o intensywności charakterystycznej dla przestrzeni miejskiej, ale o przyjaznej skali – niskich budynków wielorodzinnych. Badając ofertę na krakowskim rynku nieruchomości okazuje się jednak, że mieszkania w takich właśnie inwestycjach, a w szczególności te, w których przewidziano lokalizację terenów rekreacyjnych i usług są najszybciej sprzedawane. Wynikać to może po części z ceny za metr kwadratowy powierzchni użytkowej, która jest niższa niż na terenach o większej intensywności zlokalizowanych bliżej centrum miasta, ale również z docenienia przez kupujących wyższej jakości środowiska mieszkaniowego, jaką dany zespół się charakteryzuje.

Na podstawie przeprowadzonych na krakowskich zespołach badań można stwierdzić, że główne cechy zrównoważone krakowskich osiedli to te, wynikające bezpośrednio z ograniczeń legislacyjnych oraz systemu zachęt ekonomicznych. Te pierwsze realizowane są poprzez coraz bardziej rygorystyczne pod kątem energooszczędności warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki, a także poprzez zapisy planu regulujące między innymi sposób komunikacji wewnętrznej, ilość miejsc postojowych, skalę zabudowy, a także niejednokrotnie gospodarkę wodą, odpadami, ochronę przed czynnikami szkodliwymi na danym terenie. Druga grupa efektywnych rozwiązań to możliwości dopłat, preferencyjne kredyty w odpowiedzi na energooszczędne cechy inwestycji. Dużą wagę przykładają się również do preferencji odbiorców, które to z uwagi na nasycenie się rynku nowobudowanych mieszkań zaczęły coraz częściej obejmować również aspekty komfortu, estetyki i niskich kosztów eksploatacji. Rozwiązania związane z gospodarką wodną są rzadkością,

stosowane są głównie w terenach podmokłych bądź zagrożonych zalaniem, nie wynikają ze świadomości potrzeby oszczędności wody użytkowej. Brak jest też kompleksowych planów zagospodarowania przestrzennego o większej skali, obejmujących zarówno zagadnienia transportu i komunikacji a także gospodarki mediami i odpadami, jakie stanowią podstawę i punkt wyjścia dla dużych inwestycji europejskich takich jak np. Bo01 w Malmö, HafenCity w Hamburgu, czy też FjordCity w Oslo. Stanowi to barierę dla założeń na większą skalę i przeczy zasadzie synergii pomiędzy zastosowanymi technologiami. Uwzględniając wymienione powyżej zachęty oraz coraz większą świadomość społeczną potrzeby zmian w zakresie rozwiązań zrównoważonych w budynkach, w tym również mieszkalnych, można mimo wszystko zaobserwować, że powstające inwestycje można nazwać coraz bardziej przyjaznymi dla środowiska i użytkowników. Negatywne zjawiska, jednym z jakich jest niewątpliwie nadużywanie pojęcia „ekologiczny” i „zrównoważony” przez deweloperów, nie powinny wpłynąć na kierunki rozwoju budownictwa. Jego przyjazny dla środowiska charakter staje się oczywisty, uzasadniony ekonomicznie i społecznie, staje się zatem wyznacznikiem tego, co zwykliśmy określać po prostu mianem dobrej architektury.

Bibliografia

- [1] *Porównanie warunków życia w miastach europejskich (Program Urban Audit II)*, Notatka informacyjna GUS, na konferencję prasową w dniu 25 listopada 2005 r. http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/urban_audit.pdf dostęp 27.12.2014.
- [2] Majerska-Pałubicka B., *Dążenie do optymalizacji metod zrównoważonego projektowania architektonicznego*, Architectus 2014, s. 16.
- [3] *Więcej Polaków mieszka w mieszkaniach czy w domach?*, Forbes 2013, wydanie internetowe, 18.06.2013 dostęp 27.12.2014.
- [4] Housing statistics in the EU 2010, https://www.bmwfw.gv.at/Wirtschaftspolitik/Wohnungspolitik/Documents/housing_statistics_in_the_european_union_2010.pdf.
- [5] Jagiełło-Kowalczyk M., *Zdrowie środowiskowe a jakość środowiska mieszkaniowego*, Przestrzeń i Forma 2013, s. 89-98.
- [6] Jacobs J., *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, Nowy Jork 1961.
- [7] Banham R., *Rewolucja w architekturze*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1979.
- [8] Lehmann S., *The Principles of Green Urbanism; Transforming the City for Sustainability*, Earthscan, 2010.

- [9] Vale R., Vale B., *Ökologische Architektur: Entwürfe für eine bewohnbare Zukunft*, Campus, 1991.
- [10] Schneider-Skalska G., *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2004.
- [11] Sumień T., Wegner-Sumień A., *Ekologiczne miasta, osiedla, budynki*, Warszawa 1991.
- [12] Kobylarczyk J., Schneider-Skalska G., Haupt P., Racoń-Leja K., Sumlet W., Tor P., *Diagnoza funkcjonalno-przestrzenna osiedli: Olsza II, Ugorek*, Kraków 2014.
- [13] Kamiński J., *Osiedla ekologiczne a krajobraz (po polsku)*, Architektura Krajobrazu 2012 nr 1, str. 30-40.
- [14] <http://partycypacjaobywatelska.pl/technika/spacery-badawcze/>.
- [15] <http://www.apartamentyzogrodu.pl/opis-inwestycji>.
- [16] <http://www.zielonetarasy.com.pl/oferta/>.
- [17] <http://www.lindegopark.pl/>.
- [18] <http://www.bryksy.pl/files/standard%20wykonczenia%20male%20blonia.pdf>.
- [19] <http://www.taniemieszkania.pl/oferta/galeria/borkowska-b1>.
- [20] <http://gramwzielone.pl/dom-energooszczedny/12185/krakow-powstaje-energooszczedne-osiedle-z-doplata-z-nfosigw-ile-za-m2>.
- [21] <http://jakoscroku.pl/aw-inwest/jedyn-takie-osiedle-w-krakowie/>.

ELEMENTS OF SUSTAINABLE DESIGN IN CRACOW'S CONTEMPORARY HOUSING

In this chapter there is contemporary approach to sustainable design presented in Cracow, second largest city in Poland. On the background set by describing legislative and economic initiatives undertaken there were sustainable design features introduced in the new-built investments inside the city limits. Using the example of multifamily low density housing settlements there is a method of evaluation describing sustainable design features presented. Several examples of investments developed no earlier than 2010 were taken into consideration using comparative analysis. As a result there are possibilities and barriers for sustainable design technologies presented in comparison to European achievements.

Patrycja Haupt

Politechnika Krakowska

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 3

PRZESTRZEŃ ODZYSKIWANA. MOŻLIWOŚCI WDRAŻANIA TECHNOLOGII ZRÓWNOWAŻONYCH W PRZESTRZENIACH WSPÓLNYCH DZIELNIC MIESZKANIOWYCH NA PODSTAWIE DOŚWIADCZEŃ W REALIZACJI PROJEKTU USER

1. Wprowadzenie

Sytuacja miast europejskich

Miasta europejskie zmagają się obecnie z problemem koncentracji ludności na obszarach miejskich. Jednakże dane statystyczne wskazują na spadek liczby ludności zamieszkującej centrum miast, na rzecz mieszkańców strefy podmiejskiej. Taki trend migracji wskazuje na obecność zjawiska rozpraszania się tkanki miejskiej, tzw. *urban sprawl*. Jednym ze sposobów niwelacji negatywnych skutków tego procesu jest wdrażanie systemu policentrycznego w ramach rewitalizacji obszarów śródmiejskich. [4] Przedmiotem tych działań są zarówno tereny przemysłowe, którym nadaje się funkcję dzielnic mieszkaniowych tak jak w przypadku dzielnicy Le Confluence w Lyonie, czy też Hammarby Sjöstad w Sztokholmie, jak i tereny osiedli mieszkaniowych. Te ostatnie charakteryzują się postępującą degradacją poprzez niski komfort zamieszkania. Istotna jest tu także niedostateczna efektywność energetyczna, niewspółgrająca ze współczesnymi normami, co powoduje problem wysokich kosztów utrzymania budynków. W efekcie mieszkańcy decydują się na zmianę miejsca zamieszkania, pozostawiając problem opustoszałych przestrzeni

publicznych w osiedlach mieszkaniowych, co prowadzi do negatywnych zjawisk społecznych, takich jak deklasacja społeczności lokalnej. Procesy te widoczne są np. w miastach południowej Hiszpanii, gdzie problemem stał się koszt ekonomiczny i środowiskowy energii zużywanej do chłodzenia pomieszczeń mieszkalnych. [6]

Stan Krakowa na tle miast polskich

Według porównawczych danych statystycznych z 2011 roku procent ludzi mieszkających w miastach spadł nieznacznie z 61,8% w 2002 roku do 60,8%. Równocześnie z danych wynika, że powiat krakowski jest trzecim w Polsce co do statystyki osób dojeżdżających do pracy pomiędzy powiatami. Z wielkości tych wskaźników można wnioskować, że problem rozpraszania tkanki dotyczy również miast polskich, w tym Krakowa, który za Warszawą i Poznaniem znalazł się na liście miast, do których Polacy dojeżdżają do pracy. Aby zapobiec problemowi zmniejszającej się gęstości obszarów śródmiejskich miast polskich, podjęte zostały próby rewitalizacji obszarów przemysłowych w Łodzi, na Górnym Śląsku, a także w Gdyni i Szczecinie. W Krakowie realizuje się odnowę na terenach Zabłocia w dzielnicy Podgórze, gdzie również część terenów przeznaczono pod zabudowę mieszkaniową, np. lofty we Młynie. Wydaje się jednak, że tereny zajmowane przez osiedla budynków wielorodzinnych z okresu wielkiej płyty stanowią znacznie większy obszar problemowy, a zarazem potencjał dla działań o charakterze rehabilitacji. Pierwszym krokiem miasta, celem poprawy sytuacji mieszkaniowej krakowian, było przystąpienie w 2005 roku do opracowania Miejskiego Programu Rewitalizacji Krakowa – Lokalnego Planu Rewitalizacji (LPR), który jak zdecydowano miał dotyczyć obszaru całego miasta.

2. PROCESY REWITALIZACJI WYBRANYCH MIAST EUROPEJSKICH

2.1. Rewitalizacja obszarów przemysłowych, portowych, osiedli mieszkaniowych

Rewitalizacja zdegradowanych części miasta, jako zapobieganie zjawisku rozpraszania się tkanki miejskiej, wprowadzanie zasad zrównoważonego transportu oraz proekologicznego stylu życia mieszkańców miast stała się jednym z podstawowych założeń nurtu *Green Urbanism*. Powstał

on jako synteza idei wcześniejszych nurtów, m. in.: *Ecological Design* S. Van der Ryn i S. Cowan, *Green Architecture* B. i R. Vale, *One Planet BR – BR i WWF, Adapting Buildings for Climate Change* S. Roaf. Steffen Lehmann w 2010 roku w swojej publikacji *The principles of Green Urbanism. Transforming the City Sustainability* przedstawił 15 zasad zrównoważonego rozwoju miast, gdzie znalazła się również koncepcja rewitalizacji i uzupełniania tkanki miejskiej, jako łącząca wyraz zasady szacunku dla miejsca i szacunku dla człowieka przedstawionej przez B. i R. Vale w roku 1991. Zasada ta ma dotyczyć nie tylko obszarów zdegradowanych, opuszczonych czy też przekształcanych funkcjonalnie. Obejmuje ona także problemy społeczne związane z procesami ekonomicznymi, komfortem zamieszkania i zjawiskami demograficznymi.

Jednym z modelowych przykładów rozwoju miasta z zastosowaniem technologii zrównoważonych w duchu *Green Urbanism* jest budowa dzielnicy Hammarby Sjöstad w Sztokholmie (il. 1). Rozpoczęto ją w latach dziewięćdziesiątych, a realizacja inwestycji związanych z tym obszarem trwa do dziś. Głównymi założeniami projektu było: wdrożenie ekologicznej infrastruktury technicznej poprzez uchwalenie w 1990 roku, a później ściśle przestrzeganie wytycznych miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego; stworzenie warunków ekonomicznych zachęcających deweloperów do inwestowania i konkurowania w zakresie zastosowania „zielonych technologii”.

Stosując zasadę szacunku dla terenu i jego dziedzictwa wybrano lokalizację przy nadbrzeżu z zachowaniem i rozbudową sieci kanałów z zamierzeniem przekształcenia ich charakteru na rekreacyjny. Założenie uzupełniono zielenią, co miało za zadanie przywrócić naturalny ekosystem na obszarze poporotowym. Stworzyło to potencjał przestrzeni rekreacyjnych, które połączono ze sobą siecią wspólnych – publicznych i półprywatnych – wewnątrz pomiędzy i wewnątrz kwartałów mieszkaniowych. Całość założenia uzupełniono siecią ścieżek spacerowych, biegowych, pomostów i plaż ogólnodostępnych oraz pieszym połączeniem ze sztucznym stokiem w pobliżu – służących mieszkańcom Hammarby Sjöstad. Punktem centralnym osiedla jest budynek *Glashut Ett* (*Glasshouse One*). Przewidziano tam wystawę zastosowanych w zabudowie technologii pozyskiwania energii słonecznej do ogrzewania wody i produkcji energii elektrycznej. Prezentowane są również wyniki zużycia wody, które jest o 25% niższe niż w innych częściach stolicy Szwecji, a także efektywności systemów solarnych, która sięga 50% w okresie lata. *Glashut Ett* zamyka jedną z osi kompozycyjnych dzielnicy. Przed budynkiem znajduje się

plac z założeniem wodnym oraz amfiteatralnym miejscem do zgromadzeń i kontaktów indywidualnych.

Przestrzeń ulic uzupełniają usługi w parterach budynków mieszkalnych. W założeniach planu miejscowego przewidziano zakaz budowy wielkoprzestrzennych centrów handlowych na tym obszarze, aby zaktywizować współużytkowane obszary. Zgodnie z ideą miast policentrycznych zapewniono podstawowe usługi w obrębie dystansu pieszego, co wpłynęło na kształtowanie postaw mieszkańców. Podczas badań przeprowadzonych nad sposobem zachowania rezydentów dzielnicy stwierdzono, że 75% zachowań służących dbałości o środowisko naturalne w zakresie mieszkania, rekreacji i transportu wynika właśnie z zastosowanych rozwiązań projektowych. Pozostałe 25% to edukacja środowiskowa.

Ideom propagowania komunikacji pieszej i współużytkowania obszarów wspólnych podporządkowano również projekt infrastruktury oraz komunikacji. Zapewnienie podstawowych usług w dystansie pieszym i ich niewielka skala wpłynęła także na zmiany zachowań mieszkańców w zakresie transportu. Chociaż nie udało się spełnić założonej redukcji liczby samochodów do 0,5 na mieszkanie, to i tak obszar ten można uznać za jeden z najbardziej prośrodowiskowych w Sztokholmie. Wraz z budową zespołów mieszkaniowych powstała nowa linia tramwajowa, dwie linie autobusowe, prom pasażerski, a także system samochodów do wypożyczania z 25 pojazdami na terenie zrealizowanej części założenia. Sprawiało to, że mieszkańcy Hammarby chętniej korzystają z transportu masowego oraz alternatywnych środków poruszania się, jak np. własny jacht, w odniesieniu do pozostałych rezydentów szwedzkiej stolicy. Sprawia to, że rejon przystanków komunikacji zbiorowej są miejscami uczęszczanymi przez co dającymi poczucie bezpieczeństwa. Warto nadmienić, że projekt sieci komunikacyjnej połączono na etapie planu ze sposobem gospodarki ściekami i odpadami. We wnętrzach rekreacyjnych, pośrodku kwartałów zabudowy, wkomponowano naziemne części systemu segregacji oraz odbioru śmieci. ENVAC rozdziela odpady na te, nadające się do recyklingu oraz kompostowe, które po przetworzeniu używane są do nawożenia terenów zielonych. Ścieki z mieszkań również transportowane są do punktów centralnych, gdzie w części zostają oczyszczone, a w części służą produkcji energii cieplnej wspomagającej system centralnego ogrzewania. Ponadto są przetwarzane na biogaz, który służy za paliwo napędzające dwie linie autobusowe obsługujące teren Hammerby Sjöstad. Umieszczenie punktów odbioru odpadów w miejscach widocznych, w pobliżu urządzeń re-

kreacyjnych było planowanym czynnikiem wspierającym zachowania proekologiczne mieszkańców, stworzeniem kolejnego punktu interakcji mieszkańców działających na rzecz całej wspólnoty. [2]

Podobnie jak w przypadku Sztokholmu, od lat 90. XX w. w Lyonie, u zbiegu rzek Saony i Rodanu, na obszarze przemysłowego nadbrzeża powstaje nowa dzielnica *La Confluence* (il. 2). Projekt rozpisany na 30 lat objął teren 150 ha, na którym zaplanowano nowe mieszkania, biura, centra handlowe, muzea, park miejski w południowej części półwyspu, a nawet zbiornik wodny połączony z Saoną. Realizacją projektu, zgodnie z sygnowanym pod nadzorem WWF dokumentem *Sustainability Plan*, zarządza zespół *Environmental Quality*, który monitoruje osiągnięcia w pięciu podstawowych dziedzinach: gospodarce energią, wodą, wykorzystaniu oświetlenia naturalnego, wprowadzeniu elementów natury do przestrzeni miejskiej oraz bioróżnorodności. Podobnie jak w przypadku Hammarby Sjöstad nacisk kładzie się na świadomość społeczną mieszkańców i kształtowanie ich postaw środowiskowych, poprzez ujawnianie danych i wyników badań efektywności zastosowanych rozwiązań.

Celem dla polityki energetycznej dzielnicy wyznaczonym na rok 2030 jest uzyskanie statusu dzielnicy „zeroenergetycznej”. Przepisy wprowadzone we Francji w roku 2012 dotyczące gospodarki energią ciepłą w budynkach nałożyły na projektantów wymóg zachowania rocznej konsumpcji energii na poziomie niższym niż $50 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ (obniżono go trzykrotnie w stosunku do obowiązującej dotąd normy z roku 2005 – $150 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$). Pierwsze powstałe nad Saoną zespoły uzyskały współczynnik $15\text{--}30 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, a niektóre spośród najnowszych realizacji mają zapotrzebowanie na energię pierwotną na poziomie mniejszym niż $15 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, a nawet zbliżonym do zera. Badania przeprowadzone na tym obszarze wskazują, że budowa zasilającej całą dzielnicę elektrociepłowni napędzanej ekologicznymi odpadami drewnianymi, może być najefektywniejszym środkiem do osiągnięcia wyznaczonego celu. Tradycyjne metody pozyskiwania energii są na obszarze *La Confluence* wspomagane rozwiązaniami alternatywnymi. Na obszarze ZAC2 oraz NEDO budynki wyposażone są w aktywne systemy pozyskiwania energii słonecznej. W ramach programu ekoodnowy powstają nie tylko budynki o przeznaczeniu mieszkalnym, biurowym czy też usługowym. Ważną częścią tego projektu są przestrzenie publiczne. W sposobie ich zaprojektowania widoczny jest szacunek dla terenu, wykorzystywane są istniejące urządzenia przeładunkowe, elementy konstrukcji oraz całych budowli obszaru przemysłowego zlokalizowanego wcześniej na tym terenie. Ważnym założen-

niem dla infrastruktury i przestrzeni publicznej jest gospodarka wodą. Głównym celem w tym zakresie jest zredukowanie o 50% zapotrzebowania na wodę pitną. Założony rezultat ma zostać osiągnięty poprzez redukcję zużycia wody pitnej przez mieszkańców, gospodarkę wodą deszczową oraz ściekami. Zarówno architekci, jak i architekci krajobrazu, projektujący w tym rejonie muszą stosować się do nakazu uwzględnienia gospodarki wodą już na etapie koncepcji. Efektem tych zaleceń jest w budynkach – odzyskiwanie wody szarej oraz wody pochodzącej ze ścieków poprzez oczyszczalnię w Pierre-Bénite, a na terenach publicznych zbieranie wody deszczowej oraz odprowadzanie jej nadmiaru do kanałów burzowych, a następnie do Saony, gdzie podlega ona procesowi naturalnej filtracji. Tereny zieleni publicznej są tak zaprojektowane, aby nie wymagały dodatkowego podlewania z wodociągów. Zamierzony dobór roślin, powoduje odpowiedni bilans wody grunтовой, co również wspomaga system zapobiegania powodziom. System kanałów i zbiorników wodnych oraz zielonych przestrzeni rekreacyjnych wpłynął pozytywnie na bioróżnorodność. Teren, dotąd użytkowany przemysłowo, zasiedliły gatunki owadów i ptaków oraz zwierząt wodnych, które tworzą powoli nowy ekosystem tej dzielnicy.



Il. 1. Hammarby Sjöstad, Sztokholm 2014
(fot. aut.)

Il. 2. La Confluence, Lyon 2013
(fot. aut.)

Sposoby pozyskiwania energii, efektywność energetyczna oraz osiągnięcia dotyczące gospodarki wodą i wprowadzania bioróżnorodności inwestycji są stale poddawane badaniom, których wyniki są systematycznie publikowane i dyskutowane z mieszkańcami w ramach spotkań programu *Smart community*. Ma on na celu propagowanie świadomości ekologicznej oraz możliwości partycypacji w decyzjach dotyczących jakości środowiska mieszkaniowego dzielnicy. [8]

W powyższych przykładach obszarów rewitalizowanych realizowane są idee z zakresu trzech z czterech obszarów, które współcześnie uważa się za wskaźniki *Sustainable Living*, czyli zrównoważonego stylu życia. Za podstawowy uznać można Green design – projektowanie zrównoważone, dotyczące zarówno architektury, jak i przestrzeni wspólnych, ze szczególnym uwzględnieniem kształtowania zachowań społecznych poprzez architekturę. *Green tech* – ekologiczne materiały i technologie wprowadzane są dzięki restrykcyjnym normom dotyczącym emisji CO₂. Kolejnym czynnikiem dotyczącym szczególnie użytkowania przestrzeni publicznych w kompleksach mieszkaniowych jest zrównoważony transport *Sustainable transportation*, którego realizację wspomaga rozproszenie usług i koncentracja zabudowy wpływająca na zmianę przyzwyczajeń komunikacyjnych mieszkańców.

2.2. Rewitalizacja i rehabilitacja¹ w Krakowie – elementy projektowania zrównoważonego

Podążając za wzorcami europejskimi, działania związane z procesem rewitalizacji Krakowa zainicjowano w 2005 roku. Pierwszym krokiem było przystąpienie do opracowania Miejskiego Programu Rewitalizacji Krakowa – Lokalnego Programu Rewitalizacji (LPR) przez Radę Miasta Krakowa. Projekt ten objął zasięgiem działania cały obszar miasta. Na mocy tego dokumentu przygotowano rok później założenia Lokalnego Programu Rewitalizacji Krakowa. Zakres tego opracowania objął ustalenie uwarunkowań i wyznaczenie granic obszarów rewitalizacji, z uwzględnieniem wskazań zawartych w Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Krakowa oraz w Strategii Rozwoju Krakowa. Ponadto, zgodnie ze strategią rozwoju Unii Europejskiej, wprowadza się podejście partycypacyjne do kształtowania przestrzeni miejskiej. Przejawia się ono w programach prowadzonych przez Urzędy Miast, które przekazują środki na inwestycje w środowisko mieszkaniowe na zasadach konsultacji społecznych, budżetu partycypacyjnego, czy też społecznej partycypacji. Pierwszą z tych metod stosuje się do zasięgnięcia opinii w trakcie przygotowania i realizacji projektów Urzędu Miasta dotyczących strategii rozwoju czy też re-

¹ Rehabilitacja – jedno z działań procesu rewitalizacji mające na celu przywrócenie pierwotnej świetności zespołu lub obiektu bądź przynajmniej doprowadzenie go do stanu zbliżonego do początkowego po przeprowadzeniu konserwacji, restauracji bądź modernizacji. [Źródło: materiały Wydziału Strategii i Rozwoju Miasta Krakowa].

habilitacji obszarów mieszkaniowych. Budżet partycypacyjny jest nową inicjatywą Rad Dzielnic, które w ramach swoich budżetów część środków przeznaczają na realizację zgłoszonych projektów, natomiast o kolejności działań decyduje opinia mieszkańców. Trzecia metoda opiera się na angażowaniu mieszkańców nie tylko w proces podejmowania decyzji na temat realizacji projektu, ale także w przygotowanie jego koncepcji. Na obszarze Krakowa prowadzi się obecnie dwie takie inicjatywy, pierwsza to organizowana przez organizację *British Council* gra miejska – *Future City Game*, której kontynuacją jest program *Active Citizens*, drugą to projekty prowadzone metodą Urbactu: zakończony w 2011 roku *Joining Forces: Metropolitan Governance and Competitiveness of European Cities Joining Forces* i obecnie trwający *USER Changes and Conflicts in Using Urban Spaces*.

2.3. Przestrzeń publiczna jako wskaźnik jakości środowiska zbudowanego

Jan Gehl widzi istotę miasta w jego przestrzeniach publicznych, pomiędzy budynkami [1]. Ukazuje on mechanizmy powstawania wartościowych przestrzeni publicznych poprzez priorytet ruchu pieszego, projektowanie miejsc bezpośrednich kontaktów społecznych, wymiany informacji, przekazu. Skierowanie uwagi na przestrzeń publiczną oraz ich rolę w kształtowaniu obrazu osiedla oraz świadomości mieszkańców wydaje się być kluczowe. Opierając się na koncepcji przestrzeni miasta opisanej w wydanej w 1961 roku książce Jane Jacobs *The Death and Life of Great American Cities*, możemy szukać istoty dobrej przestrzeni publicznej w jej sposobie użytkowania. Opisuje ona elementy miejskiej ulicy, placu, chodnika jako „przestrzeń kontaktu”, [5]. Społeczna przestrzeń miasta jest zatem miejscem, pretekstem dla dynamicznego procesu wymiany doświadczeń, pozyskiwania informacji. W roku 1978 w Karcie Machu Picchu znalazł się zapis, że „architektura powinna być procesem tworzenia środowiska zaplanowanego w harmonii z elementami przyrody”, a jej głównym problemem jest tworzenie społecznej przestrzeni, w której ludzie mają żyć [5]. Miejscem dla realizacji tych założeń jest zatem przestrzeń wspólna. Konsekwencją idących za wytycznymi Karty przekształceń stało się zaakcentowanie roli użytkownika przestrzeni. Architektura przestała być formą wyrzeźbioną przez artystę-twórcę w tkance miasta, ale powróciła do swej roli użytkowej – spełniania potrzeb użytkowników, w tym potrzeby kontaktu z naturą. Człowiek stał się bardziej świadomym użytkownikiem przestrzeni – dzięki powszechnym instrumentom rynkowym może wybrać miejsce do mieszkania zapewniające mu pożądaną komfort estetyczny i funkcjonalny.

3. Projekt USER

3.1. Cele i metody projektu USER

Azory, jako jedno z krakowskich osiedli objęte wcześniej programem rehabilitacji miasta Krakowa zostało wytypowane jako miejsce realizacji międzynarodowego projektu współfinansowanego ze środków UE. Miasto stało się uczestnikiem drugiej fazy partnerstwa utworzonego w ramach programu Urbact II, współfinansowanego z EFRR, dla sieci tematycznej projektu o nazwie „*USER – Changes and conflicts in using urban spaces*”. Projekt ten obejmuje 9 miast: Malaga, Pescara, Drezno, Kopenhaga, Lizbona, Ryga, Lublin, Kraków oraz Grenoble jako lider. Realizacja projektu rozpoczęła się 1 lutego 2013 r. i potrwa do 30 kwietnia 2015 r. Zespół realizujący projekt: Główny ekspert projektu: Fernando Barreiro Cavestany, kierownik zespołu krakowskiego: Natalia Biernat, ekspert zespołu polskiego: Patrycja Haupt. Bezpośrednim celem projektu jest włączenie społeczności lokalnej mieszkańców osiedla w proces kształtowania przestrzeni publicznej mający za zadanie poprawienie jakości tej przestrzeni. W założeniach realizacja tego działania przebiega na dwóch płaszczyznach równocześnie: lokalnej i międzynarodowej, wykorzystując wymianę doświadczeń pomiędzy przedstawicielami krajów partnerskich jako narzędzie w procesie przeprowadzania projektu. Punktem wyjścia dla jego realizacji stało się przyjęcie w 2010 uchwały Rady Miasta Krakowa dotyczącej założeń programu rehabilitacji zabudowy blokowej na terenie Gminy Miejskiej Kraków. Wydarzenie to ustawiło podstawę do rozpoczęcia prac nad programem rehabilitacji krakowskich osiedli, którego efektem było zakończenie w lipcu 2012 roku wielokryterialnej analizy dziewiętnastu osiedli zabudowy blokowej położonych na terenie Gminy Miejskiej Kraków. Na podstawie wniosków z tego dokumentu wybrano trzy zespoły mieszkaniowe: Ugorek, Azory oraz Olsza II, które stały się miejscem pilotażowych programów rehabilitacji. Dodatkowym rezultatem było nawiązanie kontaktów, określenie wspólnych celów oraz zacieśnienie więzów w ramach społeczności zamieszkujących te osiedla. Ten potencjał, poza innymi, wykorzystano przy tworzeniu Lokalnej Grupy Wsparcia – grupy przedstawicieli mieszkańców zaangażowanych w proces rehabilitacji przestrzeni publicznych osiedla.

3.2. Realizacja projektu – doświadczenia Krakowa

Realizację projektu na poziomie lokalnym rozpoczęto od diagnozy obejmującej odczucia mieszkańców, co do przestrzeni wspólnych osiedla. Ważnym jej

elementem było również określenie konfliktów oraz potrzeb mieszkańców związanych z użytkowaniem przestrzeni publicznej. Pierwszym obszarem problemowym wymienianym przez mieszkańców było użytkowanie i parkowanie samochodów. Kolejnym niedogodność połączeń komunikacyjnych z terenami sąsiadującymi, a także z centrum miasta. Podkreślano również konflikty w użytkowaniu przestrzeni dla rekreacji oraz brak połączeń pieszych i rowerowych pomiędzy terenami rekreacyjnymi. Jako istotne wymieniano także problemy społeczne, konflikty kibiców, grupowanie się powodujące wyłączenie z prawidłowego użytkowania danych przestrzeni. Miejsca publiczne określano jako niebezpieczne, nieaktywne i nieożywione.

Efektem pierwszej części realizacji projektu USER na Azorach było sporządzenie diagnozy obszarów uważanych przez mieszkańców za istotne centra o charakterze usługowym, komunikacyjnym i rekreacyjnym. Miejsca te oceniono pod kątem ich wagi dla użytkowników: mieszkańców, osób pracujących na tym terenie, a także przyjezdnych. Najważniejsze miejsca w formie mapy mentalnej przedstawiono na ilustracji poniżej (il. 3). Kolejnym etapem było wytypowanie miejsc uważanych za najbardziej i najmniej estetyczne ze wskazaniem, czy negatywny, bądź pozytywny odbiór danej przestrzeni jest wynikiem sposobu zagospodarowania terenu, czy jego utrzymania. Wynikiem przeprowadzonych analiz było stwierdzenie, że większość przestrzeni publicznych jest niezagospodarowana, nieprawidłowo utrzymywana oraz niewłaściwie użytkowana. Efektem diagnozy było wybranie siedmiu obszarów strategicznych, które zostaną przedmiotem projektów oraz strategii na terenie osiedla Azory.



Il. 3. Schemat diagnozy przestrzeni publicznej Azorów – centra lokalne i obszary rekreacyjne

Ponadto przeprowadzono analizę interesariuszy, osób i organizacji mających wpływ na obraz przestrzeni publicznej osiedla wykazanych w zestawieniu poniżej.

Tabela 1. Zestawienie interesariuszy dla przestrzeni publicznych Azorów

[źródło: LPD dla osiedla Azory]

Osoby i podmioty prywatne	Instytucje i organizacje publiczne oraz gminne	Organizacje i podmioty pozarządowe
• mieszkańcy (np. aktywnie działający w organach statutowych spółdzielni mieszkaniowych lub wspólnot mieszkaniowych, a także w organizacjach społecznych na terenie osiedla), • właściciele i zarządcy nieruchomości, • podmioty gospodarcze prowadzące działalność na terenie osiedla.	• Rada Miasta Krakowa i Rady Dzielnicowe, • wybrane wydziały Urzędu Miasta i jednostki miejskie, • Miejski Ośrodek Pomocy Społecznej, • policja, straż miejska, straż pożarna.	• organizacje pozarządowe (NGO) zaangażowane w problematykę rehabilitacji i rewitalizacji, a także pomocy społecznej, • właściwe merytorycznie organizacje i stowarzyszenia zawodowe.
• instytucje i jednostki publiczne, samorządowe i prywatne takie jak np.: przedszkola, szkoły, domy opieki, domy kultury, organizacje sportowe.		

Etap diagnozy zakończono serią warsztatów projektowych z udziałem mieszkańców, członków Lokalnej Grupy Wsparcia, partnerów zagranicznych projektu oraz studentów Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, a także studenckich kół naukowych Politechniki Krakowskiej oraz Akademii Górniczo-Hutniczej pod kierunkiem specjalistów w zakresie technologii zrównoważonych oraz społeczności lokalnych z Politechniki Krakowskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Instytutu Socjologii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Podczas warsztatów zaproponowano szereg rozwiązań mających na celu poprawę jakości przestrzeni publicznej dzięki zastosowaniu i praktycznej promocji systemów rozwiązań zrównoważonych. Zaproponowano kilka projektów budynku – pawilonu o funkcji społecznej, który równocześnie promowałby i przedstawiał korzyści i osiągnięcia wynikające zastosowania rozwiązań zrównoważonych w zakresie energii alternatywnych (słonecznej i biomasy), wprowadzenia elementów wodnych do wnętrza przestrzeni publicznej, stworzenia miejskiej farmy dostępnej dla mieszkańców Azorów, a także zastosowania ekranów akustycznych z kompozycjami z roślin wyselekcjonowanych pod kątem pochłaniania zanieczyszczeń pochodzących ze spalin samochodowych i smogu. Jednym z najistotniejszych elementów projektu było stworzenie sieci połączeń pieszych rekreacyjnych dla zmiany przyzwyczajeń komu-

nikacyjnych i rekreacyjnych mieszkańców prowadzących do zmiany stylu ich życia, a tym samym zmniejszenia użytkowania pojazdów prywatnych.

3.3. Zakresy problemowe projektu – metoda, wnioski

Założeniem projektu *USER* jest poprawa jakości środowiska mieszkaniowego poprzez wprowadzenie zmian w sposobie użytkowania przestrzeni publicznych. Szczególną uwagę skierowano na zmianę stylu życia mieszkańców prowadzącą do zachowań prospołecznych i proekologicznych. Możliwe zmiany przeanalizowano w trzech obszarach poddanych diagnozie: przestrzenno-funkcjonalnym, odczuć użytkowników i prawno-administracyjnym (tab. 2).

Analizę wybranych obszarów problemowych rozpoczęto przeprowadzając obserwacje w terenie oraz analizując dostępne dane. W kolejnym etapie prowadzono warsztaty z mieszkańcami oraz warsztaty projektowe, podczas których przeprowadzano badania ankietowe wśród rezydentów. Odpowiedzią na problemy, określane przez badanych jako najdotkliwsze, czyli problem parkingowy (0,06 miejsca postojowego przypada na mieszkańca osiedla), utrzymanie zieleni oraz „martwe” przestrzenie publiczne, z uwagi na ich ograniczony program, były głównie pożądanymi zmianami w stylu życia mieszkańców. Przyzwyczajenia dotyczące transportu, brak utożsamiania się ze społecznością, bierność w zakresie dbałości o swoje otoczenie okazały się najtrudniejszymi barierami – poza środkami na finansowanie zmian.

Tabela 2. Opis obszarów problemowych

[źródło: opr. własne na etapie powstawania LPD dla obszaru Azorów]

Obszar przestrzenno-funkcjonalny 1	Obszar odczuć użytkowników 2	Obszar prawno-administracyjny 3
- Ilość i wielkość przestrzeni publicznych - Różnorodność - rodzaje przestrzeni publicznych (rekreacyjne, sportowe, reprezentacyjne, usługowe, parkingowe, inne) i ich proporcje - rodzaje przestrzeni przeznaczonych dla konkretnych grup użytkowników (dzieci, młodzież, właściciele zwierząt, studenci, ludzie starsi, samotnicy i społecznicy)	- Jakość - Czytelność, łatwość orientacji w przestrzeni - Estetyka - Atrakcyjność wizualna różnorodność estetyczna - wyposażenie przestrzeni publicznych (mała architektura, etc) ilość i jakość - Przyjazność - Czytelność, łatwość orientacji w przestrzeni - Utożsamianie się	- Własność - tereny publiczne miejskie, spółdzielni, wspólnot, prywatne - możliwości wykorzystania i zarządzania terenami o różnej własności - Prawo - Możliwości i bariery prawno-administracyjne - Biznes - Wsparcie lokalnych przedsiębiorstw - Władze i inicjatywy - Aktywność obywatelska inicjatywy

Tabela 2. cd.

1	2	3
– możliwość organizacji wydarzeń – wyposażenie przestrzeni publicznych (mała architektura, instalacje, ilość i jakość) – elementy naturalne – ukształtowania terenu, zieleni i wody – program i dostępność usług w przestrzeni publicznej – jakość usług i miejsc oraz budynków w przestrzeni publicznej • Dostępność – przestrzeni publicznych – Powiązania (z centrum miasta, z przylegającymi dzielnicami, z innymi częściami miasta) – Komunikacja (miejska, piesza, rowerowa, samochodowa) – Dostępność dla osób niepełn., matek z wózkami, etc	• Zdrowie – Możliwość promowania zdrowego trybu życia (używanie komunikacji miejskiej, segregacja śmieci) aktywności społecznej – wydarzenia, farmy miejskie, ogrody etc. • Możliwości kontaktów społecznych – Promowanie aktywizacji grup społecznych (młodzieży, ludzi starszych, dzieci) – Promowanie integracji na terenach publicznych wydarzenia, farmy miejskie, ogrody etc. • Bezpieczeństwo – Odczucie bezpieczeństwa w kształtowaniu przestrzeni publicznych – Bezpieczeństwo komunikacyjne – Środki bezpieczeństwa	• Własność – tereny publiczne miejskie, spółdzielni, wspólnot, prywatne – możliwości wykorzystania i zarządzania terenami o różnej własności • Prawo – Możliwości i bariery prawno-administracyjne • Biznes – Wsparcie lokalnych przedsiębiorstw • Władze i inicjatywy – Aktywność obywatelska inicjatywy

4. MOŻLIWOŚCI REALIZACJI TECHNOLOGII ZRÓWNOWAŻONYCH

4.1. Ogólna świadomość mieszkańców

Problem użytkowania przestrzeni miejskich dotyczy wielu obszarów tematycznych. Aspekty socjologiczne i społeczne oraz zagadnienia polityczno-ekonomiczne wpływają na obraz obszarów mieszkaniowych, a w szczególności przestrzeni wspólnych na tych terenach. W przypadku nowych realizacji jakości powstających placów, ulic, skwerów, a w szczególności sieci powiązań pomiędzy terenami, może kształtować postawy przyszłych mieszkańców, jak pokazano w przykładowych doświadczeniach europejskich opisanych w pierwszej części tego rozdziału monografii.

Zgodnie z doświadczeniami *Future City Game* obszar ekologii i środowiska został oceniony jako jeden z najbardziej satysfakcjonujących. Potwierdzają to wyniki badań w tematycznym obszarze przestrzenno-funkcjonalnym. Mieszkańcy oceniają pozytywnie ilość przestrzeni zielonych i rekreacyjnych. Za naj-

lepiej zagospodarowane i utrzymane części osiedla zostały uznane właśnie dwa obszary zielone. Jednak z obserwacji obiektywnych wynika, że obecności elementów natury czy też możliwości w zakresie energii alternatywnych tudzież gospodarki wodą opadową i szarą na osiedlu praktycznie nie ma. Problemem są również przyzwyczajenia mieszkańców do korzystania z transportu indywidualnego, gdyż połączenia osiedla z miastem są w godzinach szczytu utrudnione zarówno w komunikacji samochodowej, jak i publicznej. Na Azorach brak też jest czytelnej sieci komunikacji rowerowej i pieszej rekreacyjnej, przez co tereny wspólne należą do rzadko uczęszczanych i często są nieprawidłowo użytkowane. Zwiększenie świadomości ekologicznej mieszkańców poprzez zaaranżowanie ich w duchu edukacji społecznej mogłoby wpłynąć na ich decyzje w tym zakresie. Nie tylko w trosce o środowisko, ale przede wszystkim myśląc o zmniejszeniu kosztów utrzymania przestrzeni publicznej.

4.2. Technologie i procesy zrównoważone w przestrzeni publicznej – porównanie wśród partnerów projektu

Kraków, jako partner projektu *USER* w jego realizacji kładzie nacisk na proekologiczne zmiany w stylu życia mieszkańców. Pierwszym krokiem jest wskazanie na rozwiązania dotyczące najbardziej problematycznych i oczywistych dla mieszkańców obszarów – komunikacji i parkowania, utrzymania zieleni, aktywizacji przestrzeni. Poprzez metodę partycypacji społecznej promowane będą projekty mające na celu usprawnienie komunikacji miejskiej, stworzenie sieci pieszych i rowerowych połączeń rekreacyjnych, co będzie wspierało zmianę przyzwyczajeń mieszkańców w tym zakresie. Kolejnym krokiem będzie uświadomienie mieszkańcom korzyści płynących z wprowadzania do przestrzeni wspólnych elementów natury, mających za zadanie podniesienie komfortu użytkowania tych przestrzeni, np. zbiorników wodnych, elementów ukształtowania terenu, społecznych ogrodów i sadów etc. Dla zaktywizowania przestrzeni, szczególnie w grupie użytkowników młodzieży i studentów planuje się wprowadzenie do miejsc współużytkowanych miejsc służących do korzystania z telefonów, czy też komputerów przenośnych z wykorzystaniem źródeł energii odnawialnych. Jednym z projektów ma także stać się budowa zadanej przestrzeni lub budynku o charakterze społecznym, promujących technologie zrównoważone wśród mieszkańców.

Lider projektu, Grenoble, na swoim obszarze pilotażowym jako główne problemy przestrzenne wymienia brak czytelności kompozycji urbanistycznej, co

powoduje trudności w poruszaniu się w przestrzeni osiedla, a także brak należytej dbałości o przestrzeń prywatną np. ogródków przydomowych. Jednak podstawowym celem jaki postawiono w realizacji projektu jest stworzenie partnerstwa pomiędzy władzami lokalnymi, wspólnotami mieszkaniowymi, organizacjami pozarządowymi oraz mieszkańcami i ich przedstawicielami. W 2006 roku utworzono *House of Inhabitant* – kooperację, która pracuje nad wdrażaniem innowacyjnych, w tym także prośrodowiskowych procedur na poziomie lokalnym, które mają być rozszerzone na cały region miejski *Grenoble-Alpes Metropole*. Ma ona na celu koordynację działań na obszarach zdegradowanych zarówno przestrzennie, jak i społecznie, a problem ten odnosi się do wielu terenów tej metropolii.

Problemem obszaru pilotażowego Drezna jest niespójność tkanki miejskiej obszaru *Historic Friedrichstadt & Wilsdruffer Vorstadt*. Podczas gdy teren centrum miasta, składający się z zabudowy w różnym stanie technicznym oraz o różnorodnym przeznaczeniu, w tym także terenów i budynków przemysłowych (dodatkowo podzielony linią kolejową), jest zagospodarowywany chaotycznie, tereny wokół pełne są zieleni oraz otwartych przestrzeni rekreacyjnych. Potencjał oferowany przez te obszary jest ogromny. Choć obecnie stanowią one niezależne, rozrzucone w strukturze miasta punkty mogą stanowić w przyszłości element korytarzy biologicznych i stanowić narzędzie w adaptacji do postępujących zmian klimatycznych oraz zaplecze dla terenów mieszkaniowych. Istnieje wiele grup optywujących za wprowadzeniem planu zrównoważonego rozwoju tej części miasta i wspierane są one przez mieszkańców w procesach partycypacyjnych. Głównym zadaniem dla Drezna stało się zatem opracowanie wytycznych do ukierunkowań rozwoju miasta. Wspólnie z mieszkańcami, dla których uniknięcie zagęszczenia zabudowy jest priorytetem, ustalane są zasady możliwości zabudowy terenów niezainwestowanych, tworzenie przestrzeni rekreacyjnych i biologicznych korytarzy. Równocześnie na tym etapie tworzone są założenia dotyczące odpowiedzialności i sposobów utrzymywania terenów zielonych, a także metody pracy partycypacyjnej w społecznościach lokalnych.

Projekt USER we włoskim mieście Pescara wspiera projekt zrównoważonego rozwoju miasta oraz regeneracji infrastrukturalnej. Celem miasta na obszarze pilotażowym jest uzyskanie certyfikatu LEED *Green Neighbourhoods* dla zespołu mieszkaniowego zlokalizowanego na peryferiach miasta. Głównym założeniem jest zmiana komunikacyjnych przyzwyczajeń mieszkańców, którą zapoczątkować ma projekt *Green Spine*. Jego założeniem jest stworzenie zielonej osi komunikacji alternatywnej składającej się ze ścieżek pieszych i rowerowych,

a także transportu publicznego – autobusu elektrycznego napędzanego ze źródeł alternatywnych. Na obszarze pilotażowym uwagę skierowano także na efektywność energetyczną przestrzeni publicznych oraz redukcję zanieczyszczeń poprzez stworzenie lokalnego centrum. Mieszkańcy mogąc korzystać z usług w obrębie pieszego dojścia ograniczają korzystanie z indywidualnej komunikacji samochodowej, co prowadzi do poprawy kondycji całego obszaru.

Podobne założenia wspierania zrównoważonego rozwoju dzielnic, poprzez poprawę jakości przestrzeni publicznych i partycypację społeczną są realizowane we wszystkich miastach partnerskich.

4.3. Możliwości i bariery

Na obszarach rehabilitowanych często mamy do czynienia z relacją degradacji przestrzeni poprzez nieprawidłowe użytkowanie oraz sprzężoną reakcją – degradacji społeczności poprzez wizerunek zdewastowanej przestrzeni publicznej. Mamy tutaj również do czynienia z określoną społecznością mieszkańców związanych z miejscem swojego zamieszkania, ich konkretnymi wizjami, potrzebami, przyzwyczajeniami. Dlatego odniesienie się do potrzeb użytkowników, a także do elementów tożsamości lokalnej miejsca może spowodować nie tylko stworzenie nowej jakości przestrzeni wspólnych, ale także identyfikację z nimi. Utożsamienie się mieszkańców jako współtwórców konkretnego projektu z zaproponowaną przez nich koncepcją może ograniczyć nieprawidłowości i konflikty, które obecnie są w tych przestrzeniach obserwowane.

Porównanie międzynarodowych doświadczeń stwarza możliwość wpływania na świadomość mieszkańców dotyczącą korzyści płynących ze zrównoważonego rozwoju. Kraje europejskie, w tym również Polska, mają obowiązek przestrzegania coraz bardziej restrykcyjnych przepisów dotyczących efektywności energetycznej budynków, ale także całych sąsiedztw. Również przestrzeń publiczna podlega certyfikacji, obecnie w zakresie gospodarki energią, ale w przyszłości zgodnie z obowiązującą dyrektywą, również pod względem gospodarki wodą opadową, jakości powietrza, a także *ecological footprint* – śladu jaki zostawia w naturze każde zastosowane rozwiązanie, czy materiał.

Efektywność rozwiązań w zakresie technologii zrównoważonych jest nie tylko oceniana na etapie budowy, ale także, i przede wszystkim użytkowania, jak i rozbioru. Dlatego tak istotna jest postawa użytkowników, zrozumienie korzyści ekonomicznych i środowiskowych płynących z właściwych zachowań i przyzwyczajień w zakresie gospodarki energią, wodą, odpadami. Zaangażowanie mieszkańców,

jako społeczności jest kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania systemów, dlatego tak ważne jest, aby metody partycypacyjne przeprowadzane były już na etapie projektów.

Rola społeczności mieszkańców jest też ważna w programie rehabilitacji ze względu na możliwości finansowania projektów prośrodowiskowych. Obecnie możliwe jest przekazywanie środków władzom lokalnym uczestniczącym w programie lub stowarzyszeniu mieszkańców, które wystąpi z inicjatywą obywatelską. W nowej perspektywie przewidziane są także środki z europejskich funduszy regionalnych. Planowane jest także wprowadzenie budżetu partycypacyjnego na tym obszarze. Największą barierą w pozyskaniu środków, a co za tym idzie w realizacji technologii zrównoważonych w obrębie rehabilitowanych osiedli, jest brak aktywności mieszkańców. Na obszarze Azorów, jak i innych osiedli, gdzie realizowany jest program rehabilitacji zabudowy blokowej, nie udało się zawiązać stowarzyszenia z uwagi na niechęć mieszkańców do angażowania się w sprawy społeczności, obawę przed zobowiązaniami, pracą nad poprawą swoich warunków życia. Zadaniem dla kolejnych działań pozostaje zaangażowanie mieszkańców, gdyż warunkiem wspólnych działań dla środowiska jest zaangażowanie i zrozumienie dla wprowadzanych zmian.

5. Podsumowanie i wnioski

Poszanowanie terenu i poszanowanie człowieka to dwie zasady zielonej architektury sformułowane przez R. i B. Vale [7], które odnoszą się najściślej do procesów rewitalizacji. Zgodnie z tymi wybranymi zasadami realizowane są w miastach europejskich inwestycje, gwarantujące harmonijny i zrównoważony rozwój dzielnic przy udziale ich mieszkańców. Podkreślenie roli użytkownika, jako społeczności wydaje się być nieodzowne przy wprowadzaniu rozwiązań zrównoważonych w przestrzeniach publicznych.

Porównując przedstawione obszary wybranych dzielnic europejskich, gdzie z powodzeniem wdrożono programy rewitalizacji w duchu rozwoju zrównoważonego oraz pilotażowe dzielnice miast partnerskich projektu *USER* można zauważyć, że obok inwestycji w infrastrukturę techniczną i budynki kluczowa wydaje się być rola użytkownika. Poprzez planowanie przestrzenne oraz architekturę realizowane jest założenie zmiany przyzwyczajeń i stylu życia mieszkańców.

Realizacja partycypacyjnych programów rehabilitacji przestrzeni miejskich daje takie możliwości. Spotkania z mieszkańcami dają obustronną korzyść,

z jednej strony zrozumienia i dopasowania przestrzeni do ich potrzeb, z drugiej korzystanie z doświadczeń innych miast pozwala na formę edukacji środowiskowej podczas spotkań i warsztatów. Pozwala także na zawiązanie się inicjatyw, które być może przybliżą możliwości wdrażania technik prorodowiskowych w przestrzenie publiczne polskich miast.

Bibliografia

- [1] Gehl J., *Life between Buildings. Using Public Space*, Island Press, Washington-London 2011, str. 129.
- [2] Haupt P., Hammarby Sjöstad – przestrzeń odzyskana, zrównoważona, społeczna, „Środowisko Mieszkaniowe – Housing Environment” 2012, nr 10, str. 54-57.
- [3] Jacobs J., *The Death and Life of Great American Cities*, Vintage, 1992, str. 26-43.
- [4] Marmolejo Duarte C., Ruiz Estupinan N., Tornos Fernandez M., *Is the Polycentrism a Desirable Feature in the Contruction of Sustainable Residential Environments? Revisiting its Conseptualization from the Travel-to-Work Perspective: an Analysis for the Biggest, Środowisko Mieszkaniowe - Housing Environment*, Kraków, 11/2013 cz. I, str.99-109.
- [5] za: Schneider-Skalska G., *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, str. 118.
- [6] Sendra J.J., Dominguez S., Leon A.L., Bustamante P., *Energy Intervention in Residential Sector in Southern Spain, Current Challenges*, *Proceedings of the 1st International Congress on Sustainable Construction and Eco-efficient Solutions*, Seville, 2013, str. 229-242.
- [7] Vale R., B., *Green Architecture: Design for an Energy-conscious Future*, 1 ed. Bulfinch Press, Boston, str. 88.
- [8] <http://www.lyon-confluence.fr/>, dostęp 30.07.2014

RECOVERING/REGAINING SPACE. POSSIBILITIES OF INTRODUCING SUSTAINABLE TECHNOLOGIES IN PUBLIC SPACES ACCORDING TO USER PROJECT ACHIEVMENTS

This chapter refers to possibilities of incorporating sustainable solutions in urban renewal of housing districts. The importance of public space uses and activities in common spaces is stressed as a tool to create a sense of the social group integrity. Local community, formed and represented in that way is a partner for public participation in processes of sustainable renewal of housing environment. This partnership is working both, as a mean for better designed space adjusted to users' needs, and as a way to change people's lifestyle towards being more environmental friendly. As it was proven in European cities such as Stockholm or Lyon environmental efficiency of a housing neighbourhood is strictly dependent on inhabitants' behavior. Those successful examples lead the way for refurbishment of other cities, such as USER project partner towns, including Kraków.

Katarzyna Zielonko-Jung

Politechnika Warszawska

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 4

OPŁYW POWIETRZA WOKÓŁ BUDYNKÓW JAKO CZYNNIK OPTIMALIZACJI KSZTAŁTU ZABUDOWY

1. Wprowadzenie

System energetyczny budynku jest ściśle związany z warunkami mikroklimatycznymi panującymi w jego sąsiedztwie. Im bardziej złożona jest struktura zabudowy i im bardziej zurbanizowane jest jej otoczenie, tym bardziej odczuwalne są różnice między klimatem lokalnym a mikroklimatem w bezpośrednim sąsiedztwie budynków. W tym samym czasie, na tym samym obszarze mogą występować zróżnicowane warunki: intensywne nasłonecznienie, zacienienie i wychłodzenie, gwałtowne porywy wiatru i zastoje powietrza. Istotne jest ich rozpoznanie, by odpowiednio „odpowiedzieć” na nie działaniem projektowym związanym np. z wprowadzeniem nowej zabudowy lub małej architektury, bądź modernizacją budynków istniejących. Rozdział ten dotyczy warunków wiatrowych, których badanie i uwzględnianie w procesie projektowania nie jest powszechnie znane wśród architektów i urbanistów.

Dziedziną, która pozwala rozpoznać problemy związane z opływem powietrza wokół zabudowy jest inżynieria wiatrowa [4]. Wywodzi się ona z aerodynamiki, czerpiącej z teorii mechaniki płynów. Aerodynamika, stosowana początkowo na potrzeby przemysłów: samolotowego, motoryzacyjnego czy sportowego, stopniowo rozszerzyła swoje zastosowania na nowe pola, w tym także na architekturę i urbanistykę. Inżynieria wiatrowa jest dziedziną, która ugruntowała się w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. W odniesieniu do budynków można ją podzielić na pola związane z zagadnieniami: konstrukcyjnymi, wentylacji budynków i środowiska otaczającego zabudowę. Te ostatnie stanowią przedmiot tego rozdziału. Znalazły się one w obszarze szczególnego zainteresowania badaczy, gdyż wiążą się bezpo-

średnio z zagadnieniem zrównoważonego rozwoju. Najczęściej przedmiotem badań są proste układy geometryczne: bryły wolnostojące [8], regularne uszeregowania brył [3, 12], przestrzeń między dwiema ścianami obrazująca model ulicy [7]. Publikacje dotyczące bardziej złożonych układów geometrycznych uwzględniających otoczenie, a więc bliższych realnych problemów projektowania architektonicznego, są stosunkowo rzadkie [13, 14]. Uzyskanie pełnych i wiarygodnych wyników w takich przypadkach jest znacznie trudniejsze.

Celem tego rozdziału jest rozpoznanie zależności między strukturą przestrzenną zabudowy, a charakterystyką mikroklimatu związanego z ruchem powietrza. Ma on istotne znaczenie nie tylko dla jakości środowiska w przestrzeniach miejskich, ale także wpływa na gospodarkę energetyczną budynków, np. przez narażanie ich na wychładzanie lub przegrzewanie, możliwości stosowania wentylacji naturalnej. Uwzględniono specyfikę zwartej zabudowy miejskiej, dla której zależności między kształtem zabudowy a charakterem zjawisk aerodynamicznych są szczególnie widoczne. W pierwszej części rozdziału zaprezentowano główne problemy związane z opływem powietrza na terenach zabudowanych. W drugiej części zaprezentowano wyniki własnych badań eksperymentalnych wizualizacyjnych przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym. Przedmiotem badań był zespół zabudowy Dzielnica 19. w Warszawie przy ulicy Kolejowej, projektu biura JEMS Architekci. Badania ukierunkowano na obserwację zjawisk związanych z niedostateczną wentylacją przestrzeni i zastojami powietrza między budynkami.

2. Zjawiska aerodynamiczne wokół budynków w kontekście ich gospodarki energetycznej

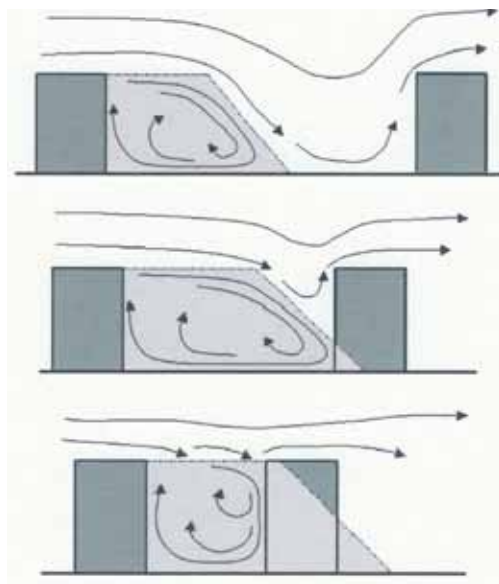
W warunkach klimatu polskiego istotne jest osiągnięcie równowagi między wychładzającym działaniem silnych wiatrów, zwłaszcza w okresach grzewczych, a niedostateczną wentylacją, która skutkuje przegrzewaniem budynków i ograniczeniem możliwości ich naturalnego przewietrzania. Określenie najbardziej pożądanych warunków przepływu wiatru tworzących kryteria komfortu wiatrowego zależy od rodzaju przestrzeni miejskiej i jej przeznaczenia (np. parkingi, główne drogi, obszary zgromadzeń, wejścia, miejsca otwarte), od pory roku, rodzaju spodziewanej aktywności ludzi i innych czynników. Przyjmuje się ogólną zasadę, że prędkość wiatru w obszarze ruchu pieszego nie powinna przekraczać 5 m/s przez więcej niż 20% czasu w stosunku rocznym. Jeżeli prędkość wiatru jest niższa niż 1 m/s przez 90% czasu, mało prawdopodobne jest, by dany teren był dosta-

tecnie przewietrzany [10]. Określenie przedziałów komfortu w zakresie intensywności ruchu powietrza wymaga korelacji prędkości wiatru i temperatury. Potrzeba ochrony przed wiatrem pojawia się, gdy temperatura spada poniżej -5°C , a prędkość wiatru przekracza 1 m/s . Niewystarczająca wentylacja następuje zaś przy temperaturze powyżej 25°C i prędkości wiatru poniżej 3 m/s [6].

Przepływ powietrza między budynkami zależy w największym stopniu od wielkości i kształtu budynków oraz ich wzajemnego położenia. Poniżej przedstawiono charakterystyczne zjawiska występujące w dwóch podstawowych typach przestrzeni miejskich: ulicy i placu.

2.1. Ulica

Zależności przepływu powietrza od geometrii zabudowy w tzw. kanionach ulicznych opisywane są najczęściej przy pomocy parametru H/S , czyli relacji wysokości budynków do odległości między nimi. Najbardziej problematyczna jest sytuacja, gdy wiatr wieje prostopadle do ulicy, a więc gdy budynki stanowią przeszkodę dla wiatru. Przestrzeń między nimi można podzielić na dwie strefy cyrkulacji: strefę recyrkulacji i wentylacji [5]. Ta pierwsza znajduje się przy zawietrznej ścianie budynku, w strefie podciśnienia. W jej obrębie powietrze ulega zawirowa-

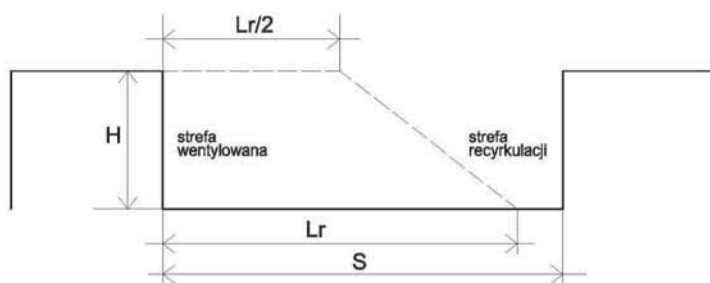


Il. 1. Strefy recyrkulacji (kolor szary) i wentylacji (bez koloru) w obrębie przestrzeni między budynkami [5].

niu ku dołowi (il. 1a) Strefa wentylacji znajduje się przy ścianie nawietrznej przeciwnieległego budynku. Powietrze z górnych stref wnika do przestrzeni ulicy by unieść się ku górze. W miarę zmniejszania odległości między budynkami obszar wentylacji zmniejsza się (il. 1b). W przypadku wąskich ulic następuje całkowity brak wentylacji, a powietrze w jej obszarze podlega zamkniętemu ruchowi wirowemu (il. 1c).

Obszar recyrkulacji ma przekrój trapezu (il. 2). Jego proporcje w stosunku do profilu ulicy są przedmiotem badań (il. 2). Oprócz geometrii zabudowy znaczenie mają m.in. profil prędkości wiatru związany z szorstkością terenu sąsiedniego oraz forma dachów. Oke sugeruje, że stosunek dolnej podstawy trapezu i wysokości budynku od nawietrznej (L_r/H) wynosi 2-3, Castro i Robins twierdzą, że dla budynków o płaskich dachach, jest równy 2, Harman przyjmuje wartość 3, a Okamoto 3,5 [5]. Gdy odległość między budynkami jest mniejsza niż dolna podstawa trapezu strefy recyrkulacji, wentylacja ulicy może być niewystarczająca, gdyż nie sięga podłoża. Dla ulic o szerokości równej lub mniejszej niż górna podstawa trapezu (Harman przyjmuje, że jest to połowa wymiaru dolnej podstawy, czyli $L_r/2$), wentylacja ustaje całkowicie. Przy założeniu, że L_r wynosi 2,7 wysokości budynku (średnia z poddanych wyżej wartości), można określić, że przy współczynniku proporcji H/S mniejszym niż 0,37 może wystąpić intensywna wymiana powietrza przy wiatrach prostopadłych do ulicy, a przy większym niż 0,74 powietrze może w ogóle nie ulegać wymianie.

Jak wspomniano powyżej, istotne jest by zachować równowagę pomiędzy ochroną ulic przed wiatrem i ich wentylacją. Bottema sugeruje, że jest to możliwe dla proporcji kanionu $H/S = 0,1 - 0,5$ [1], Oke – że idealnym parametrem jest $H/S = 0,65$ [11]. Widoczne rozbieżności między wynikami badań naukowych dowodzą, że jest to złożonym zagadnieniem do rozważenia. Podane wartości należy traktować jedynie orientacyjnie, jako rząd wielkości, a szczegółowe



Il. 2. Schematyczny przekrój kanionu ulicznego z parametrami opisującymi zakres stref recyrkulacji i wentylacji [5]

zalecenia dotyczące konkretnej sytuacji można uzyskać dopiero dzięki indywidualnie przeprowadzonym symulacjom.

Kolejną cechą zabudowy, od której zależy intensywność wymiany powietrza w obrębie ulicy jest ciągłość pierzei elewacyjnej. Szczelnie zabudowane ulice stanowią kanał dla powietrza [4]. Silnie ukierunkowują wiatr, nawet jeśli nie wieje on w kierunku w pełni zgodnym z układem ulicy. Zdarza się, że takie ulice są znacznie bardziej narażone na wiatry niż sąsiednie, o luźniejszej zabudowie. Przykładem takich ulic są znane trójmiejskie deptaki: ulica Długa w Gdańsku i Bohaterów Monte Cassino w Sopocie.

Wietrzność przestrzeni ulicznej może także wzmocnić znaczna różnica wysokości zabudowy. Dotyczy to punktowo usytuowanych budynków – jednego lub kilku rozproszonych wśród zabudowy niższej. Powodują one pionowy ruch powietrza i intensyfikują jego wymianę [3].

2.2. Plac

Problematyka aerodynamiki wewnątrz urbanistycznych o układzie centralnym, takich jak place czy dziedzińce, jest rzadko podejmowana przez badaczy. Są one zazwyczaj traktowane jako szczególny przypadek kanionu ulicznego, który osiąga niskie wartości parametru H/S . W rzeczywistości geometria placów jest bardziej skomplikowana niż ulic. Ograniczone są nie z dwóch, ale z trzech lub czterech stron, mogą przybierać różne kształty. Przy znacznych rozmiarach przestrzeni (place miejskie, rynki, skwery) nie występuje, charakterystyczny dla głębokich kanionów ulicznych, problem braku wymiany powietrza. Mogą być raczej narażone na zbyt intensywne wiatry. Bottema porusza ten problem w odniesieniu do duńskich miast, w których przestrzenie urbanistyczne, nawet te pozbawione budynków wysokościowych, są wyjątkowo wietrzne [1]. Na podstawie przeprowadzonych badań, podaje maksymalne wymiary placów wyrażone wielokrotnością wysokości zabudowy, które pozwalają na ochronę przed nadmiernym wiatrem (tab. 1). Zestawienie odnosi się nie tylko do wymiarów, ale także do rodzaju aktywności użytkowników placu (długi pobyt, krótki pobyt, przechadzka, szybki marsz) oraz otoczenia placu (woda, tereny wiejskie, przedmieścia, małe miasto, duże miasto). Zwłaszcza w przypadku różnych warunków otoczenia, podane przedziały przybierają inne wartości. Plac w sąsiedztwie otwartych zbiorników wodnych powinien być znacznie mniejszy ($S < 7H$, czyli $H/S > 0,14$) niż plac w dużym mieście ($S < 19H$, czyli $H/S > 0,05$), by gwarantować ochronę przed intensywnym wiatrem.

Tabela 1. Szerokości placu zapewniającego ochronę przed intensywnym wiatrem dla różnych aktywności użytkowników i różnych warunków otoczenia [1].

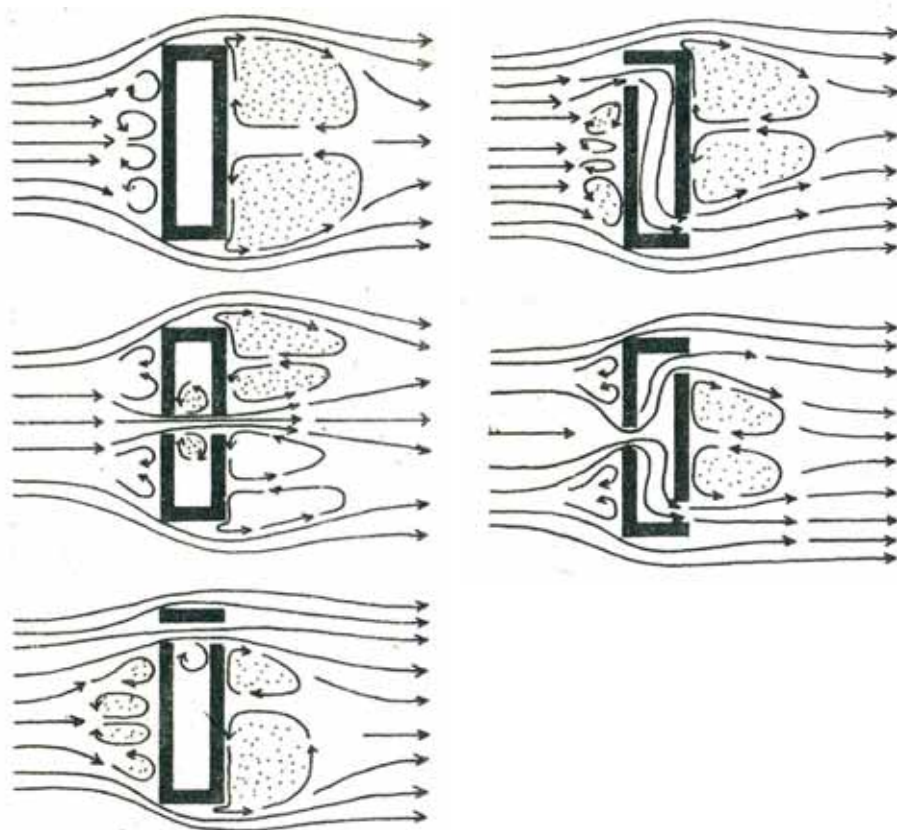
Otoczenie	Aktywność użytkowników			
	długi pobyt	krótki pobyt	przechadzka	szybki marsz
duży zbiornik wodny (w odległości 10-20 km)	$S < 7 \text{ H}$	$S < 9 \text{ H}$	$S < 9 \text{ H}$	$S < 9 \text{ H}$
teren wiejski	$S < 9 \text{ H}$	$S < 14 \text{ H}$	$S < 17 \text{ H}$	–
małe przedmieścia (promień ok. 2 km)	$S < 10 \text{ H}$	$S < 17 \text{ H}$	–	–
duże przedmieścia (promień > 10-20 km)	$S < 15 \text{ H}$	–	–	–
małe miasto (promień ok. 2 km)	$S < 15 \text{ H}$	–	–	–
duże miasto (promień > 10-20 km)	$S < 19 \text{ H}$	–	–	–

Za szczególny przypadek placu można uznać zazwyczaj mniejsze powierzchnie dziedziczne w zabudowie kwartałowej. Wówczas mogą wystąpić problemy analogiczne jak dla wąskich ulic, ale dodatkowo spotęgowane, gdyż „zamknięcie” przestrzeni następuje nie w jednym, ale w obu kierunkach. Duże znaczenie mają przerwy w zabudowie kwartału lub otwory bramne. Ważne są ich wymiary, liczba i rozmieszczenie względem siebie (il. 3).

Dążenie do coraz bardziej intensywnego wykorzystania gruntów w miastach prowadzi do tworzenia coraz ciasniejszych kwartałów i mniejszych podwórek wewnętrznych. Sprzyjają temu przepisy, które nie uwzględniają warunków wietrzności. W efekcie wykorzystując wszystkie odstępstwa dotyczące wymaganego czasu nasłonecznienia pomieszczeń mieszkalnych w strefach śródmiejskich oraz brak jakichkolwiek wymagań dla funkcji usługowych zajmujących najczęściej partery budynków, możliwe jest projektowanie dziedzińców, których proporcje geometryczne uniemożliwiają skuteczne wentylowanie. Badanie zależności pomiędzy geometrią dziedzińców, a ich komfortem mikroklimatycznym wydaje się być zatem szczególnie potrzebne. Stało się to pretekstem do podjęcia własnych badań, których wyniki przedstawiono poniżej.

3. Badania eksperymentalne przykładowej zabudowy miejskiej

Badania przeprowadzone zostały w Zakładzie Aerodynamiki Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Wykonano je ze współudziałem studentów Wydziału Architektury PW w ramach seminarium magisterskiego.

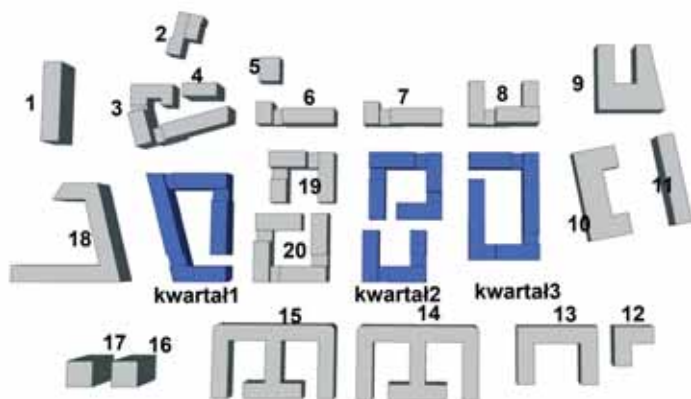


Il. 3. Schematy przepływu wiatru przez dziedzińce w różnych układach zabudowy [9].

Przedmiotem badań był zespół zabudowy mieszkaniowo-usługowej Dziel-nica 19. przy ul. Kolejowej w Warszawie projektu JEMS Architekci. Jest to przy-kład zabudowy o charakterystycznej dla śródmieścia Warszawy stosunkowo dużej intensywności zabudowy, a jednocześnie reprezentuje wysoką jakość ar-chitektoniczną i urbanistyczną. Istotna była także możliwość uwzględnienia zabudowy sąsiadującej, która choć jeszcze nie istnieje, została zaproponowa-na przez projektantów. Zespół składa się z 4 kwartałów zabudowy (il. 4). Wy-sokość budynków waha się od 5 do 10 kondygnacji. Kwartały mają bardzo zwartą strukturę zabudowy. Ich układ jest zamknięty, a proporcje H/S w wy-branych miejscach dochodzą niemal do 1.

Jeden z kwartałów został oddany do użytku (na rysunku oznaczony jako kwartał 2), pozostałe są w trakcie budowy lub prac przygotowawczych.

Celem badań było wstępne rozpoznanie charakterystyki opływu powietrza wokół zabudowy oraz wyodrębnienie obszarów narażonych na niedostateczną wentylację. Wybrano trzy kwartały zabudowy, dla których wykonano osobne badania. Każdy kwartał został poddany dwóm modyfikacjom w stosunku do oryginalnego projektu. Celem modyfikacji było zminimalizowanie zauważonych zjawisk, niekorzystnych ze względu na zbyt mało intensywną wymianę powietrza.



Il. 4. Schemat planu zabudowy Dzielnicy 19. w Warszawie (proj. JEMS Architekci).

Kwartały zaznaczone kolorem niebieskim zostały poddane badaniom



Il. 5, 6. Dzielnica 19. w Warszawie (proj. JEMS Architekci) – widok na oddany do użytku kwartał 2
fot. K.Zielonko-Jung

Wykonane badania nie mają charakteru ekspertyzy. Aby właściwie ocenić sytuację, należałoby je uzupełnić pomiarami wybranych parametrów na modelu w tunelu oraz symulacjami numerycznymi. By określić skalę problemów, konieczne byłoby uwzględnienie struktury warunków meteorologicznych w ciągu roku oraz miar komfortu aerodynamicznego. Nie odniesiono się także do innych zjawisk, które mogłyby być niekorzystne np. zawirowań wiatru przy narożnikach budynków i przyspieszeń wiatru w przewężeniach zabudowy. Celem badań było jedynie wyodrębnienie potencjalnych zagrożeń związanych z zastrójem powietrza i szybkie porównanie wyników dla kilku wariantów projektu, by uchwycić zależności przepływu od geometrii zabudowy.

Wykorzystano badania eksperymentalne wizualizacyjne w tunelu środowiskowym. Wybrano metodę olejową. Model kwartału zabudowy wraz z budynkami sąsiednimi w skali 1: 400 został przytwierdzony do szklanej podstawy w kolorze czarnym. Została ona pomalowana mieszaniną oleju i białego pigmentu. Podstawę wraz z modelem umieszczono w tunelu i poddano badaniom przy wietrze o prędkości 20m/s. Podczas badania rozprzodzony na powierzchni olej jest zdmuchiwany z obszarów o dużej prędkości przepływu, a gromadzi się on w miejscach w których przepływ jest znacznie mniej dynamiczny. Zmywany olej zostawia na powierzchni modelu tym więcej pigmentu, im przepływ w danym obszarze jest wolniejszy, a naprężenia styczne – mniejsze. Powstały w ten sposób obraz dostarcza informacji na temat uśrednionych w czasie prędkości oraz linii prądu. Wizualizację przeprowadzono dla dwóch najczęściej występujących w Warszawie kierunków wiatru – północnego i zachodniego. W trakcie trwania doświadczenia wykonywano zdjęcia co 30 sekund. Analiza ich sekwencji pozwoliła na lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących w przepływie i ich prawidłową interpretację.

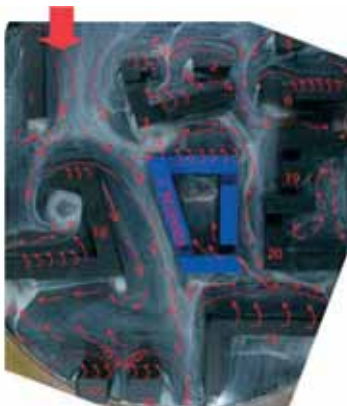
3.1. Kwatera 1

Wiatr od północy

Wiatr północny (il. 7) tworzy dużą strefę powietrza odbitego od północnego skrzydła badanego kwartału (w przestrzeni ulicy od północy). Przy narożniku budynku 3 tworzy się wir zakrawędziowy. Powietrze płynie swobodnie ulicami wzdłuż wschodniego i zachodniego skrzydła. Budynek 15 blokuje dalszy przepływ i rozdziela opisywany strumień na dwa nurty. Jeden płynie w kierunku wschodnim. Drugi, słabszy w kierunku zachodnim, gdzie przy narożniku południowo-zachod-

nim wzmacnia wir zakrądzający między skrzydłem zachodnim a budynkiem 18.

Cyrkulacja powietrza wewnątrz kwartału jest słaba. Siła powietrza odbitego od północnej elewacji południowego skrzydła blokuje przepływ przez prześwit i tworzy w północnej części dziedzińca dużą strefę zastoju. Niewielka ilość powietrza jest zasysana do jego wnętrza przez istniejące otwarcie.



Il. 7. Przepływ powietrza przez kwartał 1 w podstawowej wersji projektu przy wietrze od północy, fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Mutkowska



Il. 8. Przepływ powietrza przez kwartał 1 w wariantie 1 przy wietrze od północy (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Mutkowska



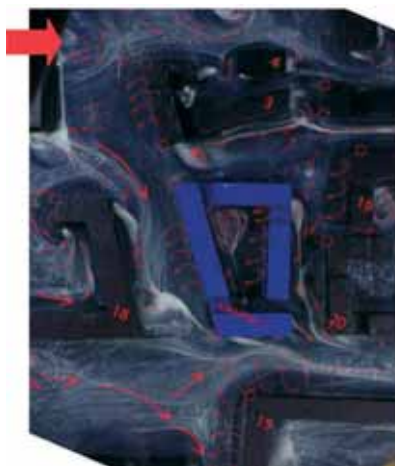
Il. 9. Przepływ powietrza przez kwartał 1 w wariantie 2 przy wietrze od północy (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia, b1 – bramy), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Mutkowska

Wprowadzono dodatkowe otwarcie między skrzydłem zachodnim i północnym, by zintensyfikować wentylację dziedzińca (il. 8). W obszarze zewnętrznym kwartału zaobserwowano zmniejszenie się strefy powietrza odbitego przy skrzydle północnym. W przestrzeni ulicy między badanym kwartałem a budynkami 19 i 20 strumień powietrza rozdziela się na dwa przeciwstawne kierunki. W efekcie w strefie północnej tej ulicy powietrze płynie w kierunku odwrotnym niż kierunek wiatru. W przestrzeni dziedzińca sytuacja nie uległa znaczącej zmianie. Strefa zastoju powietrza przy skrzydle północnym jest nieznacznie tylko mniejsza niż w poprzednim wariantcie. Powietrze intensywniej cyrkuluje, jednak prawdopodobnie nie ulega wymianie.

Kolejna zmiana polegała na wprowadzeniu bramy wysokości 2 kondygnacji w skrzydle zachodnim (il. 9). Nie dała jednak zauważalnego efektu. Strefa zastoju w północnej części dziedzińca pozostała bez zmian, podobnie jak przebieg powietrza w innych częściach badanej sytuacji.

Wiatr od zachodu

Opływ budynku w ulicach od północy i południa jest płynny (il. 10). Na ulicy od zachodu tworzy się duża strefa powietrza odbitego. Przy narożniku budynku 18 zgromadził się olej. Prawdopodobnie powietrze ule-



Il. 10. Przepływ powietrza przez kwartał 1 w podstawowej wersji projektu przy wietrze od zachodu, fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Mutkowska



Il. 11. Przeptyw powietrza przez kwartał 1 w wariancie 1 przy wietrze od zachodu (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A.Mutkowska



Il. 12. Przeptyw powietrza przez kwartał 1 w wariancie 2 przy wietrze od zachodu (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia, b1-bramy), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A.Mutkowska

ga tam silnemu, ciągłemu wirowaniu. Wewnątrz kwartału widoczna jest strefa powietrza odbitego przed elewacją zachodnią skrzydła wschodniego. Powietrze jest zepchnięte w stronę skrzydła zachodniego i powstaje tam strefa zastoju. Przez istniejące otwarcie wypływa niewielka ilość powietrza.

Dzięki wprowadzonemu w wariancie 1 dodatkowemu otwarciu, strefa zastoju w dziedzińcu nieznacznie się zmniejszyła (il. 11). W okolicach nowego otwarcia widać niewielki napływ powietrza, ale jest on zbyt słaby żeby zasadniczo zintensyfikować cyrkulację wewnątrz kwartału. Podobnie w wariancie 2, wprowadzenie dodatkowej bramy w skrzydle wschodnim nie przyniosło widocznych efektów (il. 12). Obie korekty nie wpłynęły także na opływ powietrza w strefie zewnętrznej kwartału¹.

¹ Skład zespołu badawczego kwartału 1: K. Zielonko-Jung, M. Poćwierz, K. Gumowski, J. Wiśniewski, P. Kubacz, A. Mikulska, A. Mutkowska, W. Pelczarski, M. Sokół, M. Szkiełkowski, A.Sztyber

3.2. Kwartal 2

Wiatr od północy

Powietrze dostaje się w sąsiedztwo kwartału przepływając między budynkami 6, 7 i 8 i opływa go ulicami od wschodu i zachodu (il. 13). Zwarta zabudowa tych ulic powoduje przyspieszenie wiatru. Można zaobserwować rozległą strefę powietrza odbitego przy budynku 14, zamykającym ulicę od wschodu. Przy południowej ścianie kwartału występuje strefa zastoju powietrza. Od północy kwartał jest przesłonięty budynkiem 7, co powoduje, że strefa recyrkulacji przy ścianie północnej jest niewielka. Widoczne są jednak silne wiry przy narożach budynku 7. Wewnątrz kwartału powietrze odbija się od ścian nawietrznych. Tworzą się tam dwie strefy recyrkulacji – większa w dziedzińcu przy budynku A i nieco mniejsza w dziedzińcu przy budynku B. Pomiędzy dziedzińcami widoczna jest strefa zastoju. Można wnioskować, że wymiana powietrza wewnątrz kwartału jest słaba. Powietrze porusza się, ale nie znajduje ujścia na zewnątrz.



Il. 13. Przepływ powietrza przez kwartał 2 w podstawowej wersji projektu przy wietrze od północy, fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. M. Groblewska

Ze względu na słaby przepływ powietrza w kwartale skorygowano jego kształt wprowadzając dwukondygnacyjną bramę w południowym skrzydle budynku A oraz otwarcie w północnej części budynku B (il. 14). W strefie zewnętrznej zwiększył się nieco ruch powietrza w obrębie zastoju od południa. Wpływ zmian widoczny jest jednak przede wszystkim wewnątrz kwartału. Powietrze wpływa do niego przez otwarcie w północnym skrzydle i wypływa przed bramą od południa. Wi-



Il. 14. Przepływ powietrza przez kwartał 2 w wariantie 1 przy wietrze od północy (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia, b1-bramy), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. M. Groblewska.



Il. 15. Przepływ powietrza przez kwartał 2 w wariantie 2 przy wietrze od północy (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonych otworów, b1, b2-bram), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. M. Groblewska.

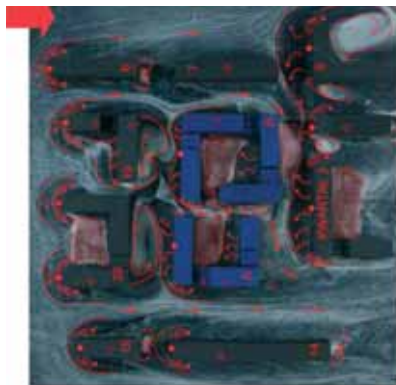
doczny jest także silniejszy w stosunku sytuacji poprzedniej ruch powietrza przez otwarcie kwartału na ścianach wschodniej i zachodniej. Nie ma uwidocznionej uprzednio strefy zastoju. W obrębie kwartału nadal powstają dwie duże strefy powietrza odbitego. Obserwujemy ruch powietrza w wielu kierunkach.

Kolejna korekta kształtu zabudowy polegała na wprowadzeniu dodatkowej bramy dwukondygnacyjnej w zachodnim skrzydle kwartału (il. 15), w celu dalszej intensyfikacji przepływu powietrza w jego wnętrzu. Jednak nie zmieniła ona w zauważalny sposób opływu powietrza wokół kwartału ani w jego wnętrzu.

Wiatr od zachodu

Powietrze swobodnie opływa kwartał ulicami od północy i południa (il. 16). Na ulicy od zachodu widoczne są silne wiry strefy recyrkulacji przy budynkach 19 i 20 oraz niewielkie strefy powietrza odbitego od zachodniej ściany kwartału. Na ulicy od wschodu widoczna ciągła strefa powietrza odbitego od ściany sąsiedniego kwartału 3 i strefa zastoju przy wschodniej ścianie budynku B. Powietrze zassane jest na dziedziń-

ce badanego kwartału przez otwarcie od zachodu. Wewnątrz dziedzińców widoczne są rozległe strefy zastoju. Wymiana powietrza w ich obszarze jest bardzo słaba.



Il. 16. Przepływ powietrza przez kwartał 2 w podstawowej wersji projektu przy wietrze od zachodu, fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. M. Groblewska



Il. 17. Przepływ powietrza przez kwartał 2 w wariantie 1 przy wietrze od zachodu (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia, b1-bramy), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. M. Groblewska



Il. 18. Przepływ powietrza przez kwartał 2 w wariantie 2 przy wietrze od zachodu (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia, b1, b2-bramy), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. M. Groblewska

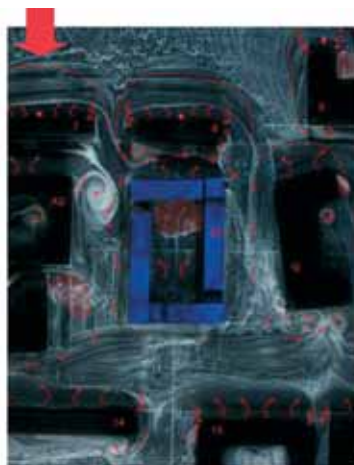
Wprowadzone zmiany wpływają przede wszystkim na przepływ powietrza wewnątrz kwartału. W wariantcie 1 zauważalnie poprawiła się cyrkulacja powietrza w jego obszarze (il. 17). Zmniejszyły się wcześniejsze strefy zastoju, pozostał niewielki zastój między dziedzińcami. W dziedzińcu B powstał silny wir recyrkulacji. W dziedzińcu A widoczna jest rozległa strefa powietrza odbitego.

Kolejna zmiana polegająca na wprowadzeniu dodatkowej bramy miała poprawić cyrkulację w dziedzińcu B i zmniejszyć zaobserwowane tam zjawisko wirowania powietrza (il. 18). Nie przyniosła ona jednak spodziewanego efektu. Przyczyną mogło być przesłonięcie skrzydła zachodniego z dodatkową bramą budynkiem 19².

3.3. Kwartał 3

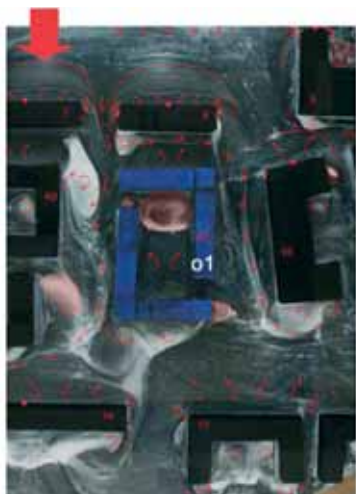
Wiatr od północy

Kwartał 3 od strony północnej zasłonięty jest budynkami nr 7, 8 i 9. Stanowią one barierę przepływu powietrza (il. 19). Powstają przed nimi wiry podkowiaste stanowiące strefę powietrza odbitego. W okolicę kwartału dostaje się ono szczelinami pomiędzy budynkami 7, 8 i 9. Opływa ono kwartał wzdłuż wschodniego

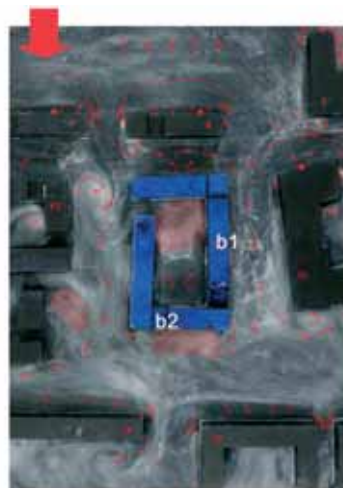


Il. 19. Przepływ powietrza przez kwartał 3 w podstawowej wersji projektu przy wietrze od północy, fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Brzozowska

² Skład zespołu badawczego kwartału 2: K. Zielonko-Jung, M. Poćwierz, J. Wiśniewski, M. Grzeszkiewicz, M. Zofiński, M. Groblewska, D. Przeplata, M. Grodkiewicz, K. Strzelczuk.



Il. 20. Przepływ powietrza przez kwartał 3 w wariancie 1 przy wietrze od północy (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Brzozowska



Il. 21. Przepływ powietrza przez kwartał 3 w wariancie 2 przy wietrze od północy (oznaczenia b1 i b2 określają położenie wprowadzonych bram), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Brzozowska

i zachodniego skrzydła. Wir przy północno-wschodnim narożniku kwartału blokuje częściowo ten ruch. Ze względu na odbicie powietrza od budynków nr 13 i 14 przepływ ulega spowolnieniu, w szczególności w południowo-zachodnim narożniku kwartału – gdzie występuje dość duża strefa zastoju. Wewnątrz kwartału praktycznie nie występuje ruch powietrza. Można jedynie zaobserwować delikatne odbicie powietrza dostającego się do wnętrza ponad północnym skrzydłem kwartału.

Kształt zabudowy został zmodyfikowany poprzez wprowadzenie dodatkowego otwarcia w skrzydle wschodnim w południowo-wschodnim narożniku badanego kwartału (il. 20). W stosunku do poprzedniej próby można zaobserwować jedynie nieznaczne zmiany. Dodatkowe otwarcie w niewielkim stopniu wpływa na ruch powietrza. Powoduje ono lokalne zmiany w przepływie w postaci delikatnego zasysania powietrza z zewnątrz kwartału do dziedzińca. Podobnie jak w poprzedniej próbie, powietrze dostaje się do wnętrza dziedzińca ponad północnym skrzydłem oraz następuje jego odbicie od skrzydła południowego. Powietrze wiruje, jednak prawdopodobnie nie ulega wymianie.

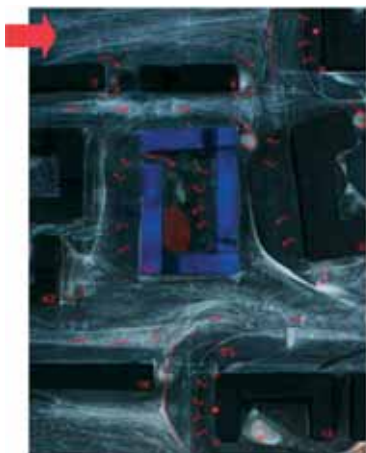
W wariancie 2 zlikwidowano wprowadzone uprzednio otwarcie i wycięto dwa dwukondygnacyjne otwory bramne (il. 21). Jeden – na środku skrzydła wschod-

niego, drugi – w skrzydle południowym, w południowo-zachodnim narożniku. Ponownie, wprowadzone zmiany w niewielkim stopniu wpłynęły na wymianę powietrza wewnątrz kwartału i praktycznie nie zmieniły przepływu wokół kwartału. W przestrzeni dziedzińca występuje nieznaczny ruch spowodowany odbiciem od południowego skrzydła powietrza napływającego ponad północnym skrzydłem kwartału. Prawdopodobnie wentylacja w tej strefie jest niewystarczająca.

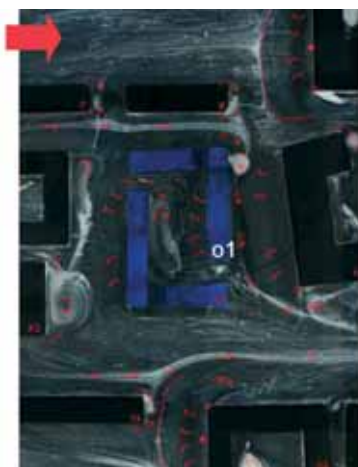
Wiatr od zachodu

Badany kwartał od strony zachodniej zasłonięty jest kwartałem 2 (il. 22). Przepływ powietrza odbywa się wzdłuż północnego oraz południowego skrzydła kwartału 3. Wzdłuż skrzydła wschodniego oraz zachodniego występuje jedynie nieznaczny ruch związany z odbiciem powietrza. Do dziedzińca kwartału 3 powietrze dostaje się ponad zachodnim skrzydłem, jednak nie penetruje w pełni jego wnętrza ze względu na niewielką odległość między budynkami. Widoczna jest strefa powietrza odbitego i zastój. Napływ powietrza do dziedzińca przez istniejące otwarcie jest słaby.

Zmiana wprowadzona w wariantcie 1 nie wpłynęła na zmianę przepływu wokół kwartału (il. 23). Dodatkowy otwór spowodował jednak ruch w jego wnętrzu. W związku z nieosiowym ustawieniem otworów w ścianach kwartału, powietrze jest do niego zasysane, jednak nie ma możliwości go opuścić. Nie występuje wyraźny zastój, jednak ruch wewnątrz kwartału jest powolny i nieznaczny.



Il. 22. Przepływ powietrza przez kwartał 3 w podstawowej wersji projektu przy wietrze od zachodu, fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Brzozowska



Il. 23. Przepływ powietrza przez kwartał 3 w wariancie 1 przy wietrze od zachodu (oznaczenie o1 określa położenie wprowadzonego otwarcia), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Brzozowska



Il. 24. Przepływ powietrza przez kwartał 3 w wariancie 2 przy wietrze od zachodu (oznaczenia b1 i b2 określają położenie wprowadzonych bram), fotografia z badań tunelowych metodą olejową, fot. A. Brzozowska

Wprowadzone w wariancie 2 dwie bramy powodują nieznaczne zmiany przepływu wokół kwartału (il. 24). W obrębie dziedzińca powstaje znaczna strefa zastoju w południowo-zachodniej strefie. Może to być spowodowane tym, że powietrze wpływając poprzez otwór w skrzydle zachodnim kieruje się ku nowej bramie we wschodnim skrzydle. Brama w skrzydle północnym pozostaje bez wpływu na ruch powietrza wewnątrz kwartału. W części północno-wschodniej kwartału występuje wentylacja³.

3.4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, że we wszystkich analizowanych kwartałach zabudowy najprawdopodobniej pojawia się problem niedostatecznej wentylacji z powodu dość intensywnej i „uszczelnej” zabudowy. Stosunkowo najlepiej przewentylowany jest kwartał 2. Zaproponowane korekty jego kształtu w postaci rozluźnienia zabudo-

³ Skład zespołu badawczego kwartału 3: K. Zielonko-Jung, M. Poćwierz, J. Wiśniewski, K. Alicki, A. Brzozowska, M. Dygas, D. Jurkiewicz, M. Majewska, A. Łapiński, K. Ślusarczyk, K. Żyngiel.

wy spowodowały pewną intensyfikację przepływu powietrza. Aby uzyskać jeszcze lepszy efekt należałoby prawdopodobnie rozluźnić strukturę geometryczną nie tylko badanego kwartału, ale także zabudowy w jego sąsiedztwie. W przypadku dwóch pozostałych kwartałów (1 i 3) problem braku przewietrzania jest jeszcze zauważalny i mimo wprowadzenia otwarć i bram, nie udało się go wyraźnie zmniejszyć. Efekty wprowadzonych zmian były mniej zadowalające niż w przypadku kwartału 2.

Przeprowadzone badania pozwalają wnioskować, że przy niewielkich wymiarach kwartałów, wprowadzanie bram oraz niezbyt szerokich otwarć (w badaniach przyjęto szerokość równą głębokości traktu) nie intensyfikuje wentylacji dziedzińców w znaczącym stopniu. Podczas badań podjęto dwie próby bardziej radykalnych zmian. Pierwsza dotyczyła kwartału 2, w którym podniesiono wysokość fragmentu zabudowy o 3 kondygnacje. Celem tej zmiany była próba uzyskania wzmożonej cyrkulacji pionowej. Jednak strefy zastoju powiększyły się, prawdopodobnie dlatego, że podniesiony fragment miał ograniczone przedpole we wszystkich kierunkach. Druga zmiana dotyczyła kwartału 1, z którego usunięto całe wschodnie skrzydło (pozostał układ w kształcie niesymetrycznej litery C). Wnętrze kwartału zostało całkowicie otwarte z jednej strony. W tym przypadku jego przestrzeń okazała się bardzo dobrze przewentylowana przy obu kierunkach wiatru.

4. Podsumowanie

Przeprowadzony eksperyment potwierdza ścisłą zależność między kształtem zabudowy a wietrznością przestrzeni miejskich. Można na jego podstawie wnioskować, że w zabudowie kwartałowej wznoszonej współcześnie w strefach śródmiejskich w realiach dużych polskich miast, istnieje problem niedostatecznej wentylacji dziedzińców wewnętrznych. Jest to część znacznie szerszego problemu związanego z rozpoznaniem charakterystyki opływu powietrza w strukturach zabudowy miejskiej i uwzględnianiu go w procesie projektowania. Pozwoliłoby to uniknąć wielu problemów związanych z dyskomfortem mikroklimatycznym, a jednocześnie optymalnie wykorzystać warunki wietrzne do budowania strategii energetycznej budynków. Niezwykle istotne jest wypracowanie odpowiednich metod badawczych, które będą dostosowane do specyfiki złożonych układów zabudowy, będą dawały wiarygodne i pełne wyniki oraz umożliwią szybkie

porównywanie różnych wariantów projektu. Obecnie jest to możliwe dzięki połączeniu metod eksperymentalnych i numerycznych.

Rozwijanie badań w tym zakresie może przynieść duże korzyści i wnieść nową wartość do projektowania urbanistycznego i architektonicznego.

Bibliografia

- [1] Bottema M., *Wind Climate and Urban Geometry*, praca doktorska, Technische Universiteit Eindhoven, 1993.
- [2] Blocken B., *50 years of Computational Wind Engineering. Past, present and future*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 03/ 2014.
- [3] Blocken B., Carmeliet J., *Pedestrian wind environment around building: Literature review and practical examples*, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 28(2), 2004, (107-159).
- [4] Flaga A., *Inżynieria wiatrowa*, Arkady, Warszawa, 2008.
- [5] Harman I.N., *The Energy Balance of Urban Areas*, praca doktorska na Wydziale Meteorologii Uniwersytetu w Reading, 2003.
- [6] Klemm K., *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych*, Sekcja Fizyki Budowli, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Studia z zakresu Inżynierii nr 75, Warszawa 2011.
- [7] Kovar-Panskus A., Louka P., Sini J.F., Savory E., Czech M., Abdelqari A., Mestayer P.G, Toy N., *Influence of geometry on the mean flow within urban street canyons - a comparison of wind tunnel experiments and numerical simulation*, *Water, Air and Soil Pollution: Focus 2*, 2002, (365-380).
- [8] Köse D. A., Dick E., *Prediction of the pressure distribution on a cubical building with implicate LES*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 98, 2010, (628-649).
- [9] Laskowski L., *Wybrane zagadnienia fizyki miasta*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa, 1987.
- [10] Lewińska J., *Klimat miasta, zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków, 2000.
- [11] Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., *Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques: Winds and Dispersion*, *Theoretical and Applied Climatology*, 7/2005.
- [12] Reiter S. *Validation Process for CFD Simulations of Wind Around Buildings*, *European Built Environment CAE Conference*, 2008.
- [13] Sakr Fadl M., Karadelis J., *CFD Simulations for Wind Comfort and Safety in Urban Area : A Case Study of Coventry University Central Campus*, *International Journal of Architecture, Engineering and Construction Vol2, No2*, 6/2013, (131-143).

- [14] Yoshie R., Mochida A., Tominga Y., Kataoka H., Harimoto K., Nozu T., Shirokawa T., *Cooperative project for CFD prediction of pedestrian wind environment in the Architectural Institute of Japan, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95, 2007, (1551-1578).

AIR-FLOW AROUND BUILDINGS AS AN OPTIMIZATION FACTOR OF BUILDING DEVELOPMENT SHAPE

The microclimate around buildings is a part of their energy system. The paper deals with the shaping of urban surroundings in relation to the wind conditions in their vicinity. In case of the dense building structure, a significant variation of wind conditions appears on a relatively small area. Moreover, a strong relationship between such factors as shapes of buildings, their mutual position and characteristics of the air flow around them is apparent. The use of aerodynamic analysis in the process of architectural and urban design gives an opportunity to optimize shapes that buildings take.

The first part of this paper, the main problems of air-flow around buildings in the context of energy have been presented. In the second part the wind tunnel experiments of airflow around a urban set of buildings, have been reported. The subject of the experiment was District 19 - the newly accomplished building development in Warsaw, designed by JEMS Architects. This example illustrates the conditions encountered in densely populated districts of large cities. Three urban quarters have been tested in the wind tunnel. A particular attention has been paid to problems of lack of ventilation in dense urban structures.

Karolina Kurtz-Orecka

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Budownictwa i Architektury

ROZDZIAŁ 5

ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ A BRYŁA BUDYNKU – STUDIA NAD WSPÓŁCZYNNIKIEM KSZTAŁTU

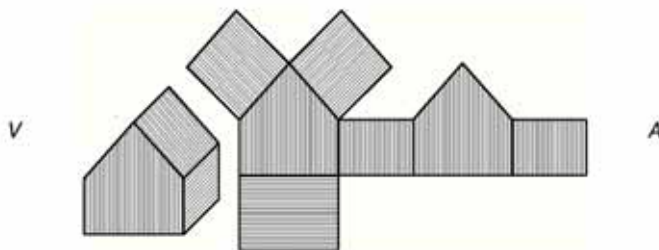
Potrzeby cieplne budynku stanowią wynikową wielu oddziałujących na siebie czynników i zjawisk. Jednym z istotnych elementów kształtujących efektywne energetycznie budynki jest kształt ich bryły. W rozdziale omówiono zagadnienia związane z kształtowaniem bryły budynku i powszechnie stosowaną miarą jej badania – wskaźnikiem zwartości bryły. Na tle aktualnych badań w tym zakresie, zaproponowano ocenę bryły budynku z perspektywy zapotrzebowania na moc cieplną wynikającą z przenoszenia ciepła z budynku do otoczenia. Wyprowadzone zależności pozwalają na ocenę porównawczą budynków o założonej kubaturze, polu powierzchni bryły, współczynniku kształtu oraz zróżnicowanym sposobie użytkowania.

Zużycie energii ewoluuje wraz z rozwojem gospodarczym świata. Zapoczątkowany w erze rewolucji przemysłowej gwałtowny wzrost potrzeb energetycznych, pierwotnie skierowany był na rozwijający się przemysł, a wraz ze wzrostem demograficznym i rozwojem infrastruktury miejskiej, na zapewnienie komfortu użytkowania budynków. Szacuje się, że około 40% energii produkowanej w Stanach Zjednoczonych [6] oraz krajach Unii Europejskiej [3] wykorzystywane jest w budynkach, przy czym na terenach zlokalizowanych w wyższych szerokościach geograficznych gross energii konsumowanej jest na pokrycie potrzeb grzewczych. Skutki środowiskowe związane ze stale rosnącym popytem na energię oraz ograniczenie kopalnych zasobów energetycznych, przyczyniły się do poszukiwania możliwości ograniczenia zużycia energii, w szczególności w budownictwie oraz prowadzenia licznych analiz nad efektywnym kształtowaniem przestrzennym budynku.

Potrzeby energetyczne budynku wynikają z wielu współistniejących i wzajemnie na siebie oddziałujących czynników, które odnoszą się zarówno do struktury obiektu, wyposażenia technicznego, parametrów klimatu zewnętrznego, jak i sposobu użytkowania obiektu. Wśród głównych należy wymienić:

- rozwiązania architektoniczne budynku,
- konstrukcję układów nośnych i kształtowanie materiałowe przegród,
- sposób doprowadzenia oraz wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego,
- rodzaj i sprawność systemów technicznych,
- sposób zarządzania energią w budynku,
- warunki otoczenia – z jego zagospodarowaniem oraz parametrami klimatu.

Stopień energochłonności rozwiązań architektonicznych wynika z przyjętego układu funkcjonalno-użytkowego, wielkości przegród przeźroczystych oraz ich orientacji względem stron świata, geometrii budynku i jego skali. Powszechnie przyjętą miarą oceny bryły budynku jest współczynnik kształtu, zwany również wskaźnikiem zwartości bryły [1, 2]. Jest to wielkość opisująca stosunek pola powierzchni zamykającego bryłę do jej objętości, A/V , i wyrażona jest w m^{-1} (il. 1).



Il. 1. Współczynnik kształtu – ilustracja graficzna wielkości geometrycznych, opracowanie własne

Dla danego kształtu bryły wskaźnik zwartości jest odwrotnie proporcjonalny do jego wielkości, co dobrze ilustruje wartość wskaźnika wyznaczona dla sześcienu o długości boku równym 2 przyjętym jednostkom j . Współczynnik kształtu w tym przypadku wynosi $3 [j^{-1}]$ i stanowi połowę wartości A/V tej samej sześcienniej bryły, ale o jednostkowej długości krawędzi. W tab. 1 zestawiono zależności opisujące współczynnik zwartości brył platońskich. Dla porównania z zestawionymi wartościami, w przypadku kuli – bryły osiągającej najniższe wartości współczynnika kształtu – zwartość jednostkowej objętości wynosi $4,836 [1/j]$, a charakterystyczną wielkością jest promień.

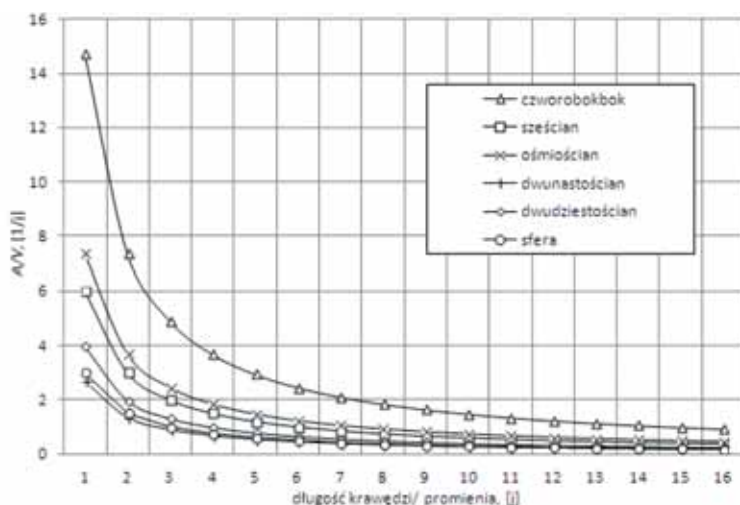
Tabela 1. Wielkości geometryczne charakteryzujące bryły platońskie, na podstawie [23]

Bryła	Powierzchnia bryły, A	Kubatura bryły, V	Współczynnik kształtu, A/V	Współczynnik kształtu jednostkowej objętości, [1/j]
Czworościan	$\sqrt{3}a^2$	$\sqrt{2}a^3/12$	$6\sqrt{6}/a \approx 14,697/a$	7,21
Sześcian	$6a^2$	a^3	$6/a$	6
Ośmiościan	$2\sqrt{3}a^2$	$\sqrt{2}a^3/3$	$3\sqrt{6}/a \approx 7,348/a$	5,72
Dwunastościan	$3\sqrt{25+10\sqrt{5}}a^2$	$\frac{1}{4}(15+7\sqrt{5})a^3$	$\frac{12\sqrt{25+10\sqrt{5}}}{(15+7\sqrt{5})a} \approx 2,694/a$	5,31
Dwudziestościan	$5\sqrt{3}a^2$	$\frac{1}{4}5(3+\sqrt{5})a^3$	$\frac{12\sqrt{3}}{(3+\sqrt{5})a} \approx 3,97/a$	5,148

W zaleceniach dotyczących projektowania budynków efektywnych energetycznie wskazuje się na konieczność posługiwania się bryłami o zwartych formach i możliwie jak najmniejszej wartości stosunku pola powierzchni opisującego kubaturę do tejże objętości – A/V [13]. Bryły te potocznie nazywane są energooszczędnymi [10]. Wnuk [20], a za nim Piotrowski [14], wskazują, że zadawalająca wartość współczynnika kształtu w odniesieniu do budynków jednorodzinnych kształtuje się na poziomie $0,8 - 1 \text{ m}^{-1}$, a w przypadku realizacji parterowych – $1,2 \text{ m}^{-1}$, zaś w przypadku obiektów wysokościowych przyjmuje wartość około $0,3 \text{ m}^{-1}$. Jednak w tak ogólnie ujętej zasadzie minimalizacji pola powierzchni opisującego bryłę budynku, brak jest wyraźnego podkreślenia wagi skali obiektu, która istotnie wpływa na osiąganą wartość współczynnika kształtu. Należy zauważyć, że wraz ze wzrostem gabarytów bryły, współczynnik ten maleje. Zasada ta odnosi się nie tylko do zwartych w swym kształcie brył (il. 2), ale również do obiektów o formach rozbudowanych, addytywnych. Za przykład ilustrujący tę zależność może posłużyć mocno rozczłonkowana bryła gmachu ZUW w Szczecinie, której wskaźnik zwartości kształtuje się na poziomie $0,18 \text{ m}^{-1}$ i wynika przede wszystkim z dużych gabarytów obiektu¹.

¹ Dane z archiwum autorki.

Wielu autorów, w tym Michalski [11], Kurtz i Gawin [8], zwraca uwagę, że przy zadanej bryle budynku zwiększenie jej skali powoduje redukcję powierzchni wymiany energii ze środowiskiem zewnętrznym², co bezpośrednio wpływa na ograniczenie strat ciepła przez przenikanie przez przegrody granicy termicznej obiektu. Należy jednak pamiętać, że zwiększenie skali – to również istotne zwiększenie kubatury wewnętrznej, stąd i potrzeb energetycznych związanych z wentylacją pomieszczeń, wynikających z zastosowanych tradycyjnych lub mechanicznych systemów doprowadzenia świeżego powietrza do wnętrza.



Il. 2. Zależność wskaźnika zwartości sfery oraz brył platońskich od długości wymiaru charakterystycznego (krawędzi boku lub promienia), opracowanie własne

Zagadnienie związane z wpływem na zamianę potrzeb energetycznych zastosowanego podziału i nadanej formy kubaturze o zadanej wielkości, zilustrowali Hegger, Fuchs, Stark i Zeumer [5]. W swoich analizach, przyjętą objętość 4320 m³ tkanki budowlanej rozczłonkowali na 9 sześcianów o długości krawędzi równej około 8,9 m, a następnie zestawili w 5 typów budynków:

² Opisane zjawisko można zilustrować na przykładzie sześcianu: w przypadku jednostkowej długości krawędzi (1 j), pole powierzchni opisujące sześcian i jego kubatura wynoszą odpowiedni: 6 j² oraz 1 j³ (tab. 1), a współczynnik kształtu – 6 j⁻¹. Jeżeli krawędź ulegnie zwiększeniu dziesięciokrotnie (10 j), parametry geometryczne opisujące sześcian odpowiednio przyjmą wielkości: 600 j², 1000 j³ oraz 0,6 j⁻¹. Przy zwiększeniu długości krawędzi stukrotnie – współczynnik kształtu sześcianu wyniesie 0,06 j⁻¹ (il. 2).

- 9 indywidualnych, wolnostojących segmentów,
- 9 indywidualnych jednostek w układzie tarasowym,
- 3 obiekty w zabudowie szeregowej, każdy składający się z 3 segmentów podstawowych,
- 1 wielorodzinny o średniej skali, zestawiający jednostki w układzie 3×3 ,
- 1 wielorodzinny, wysoki uzyskany poprzez zestawienie segmentów jeden na drugim.

Dla przyjętych założeń, najmniejszą wartością współczynnika kształtu charakteryzował się budynek wielorodzinny o średnich gabarytach, uzyskując A/V równe $0,43 \text{ m}^{-1}$, największą – zabudowa tarasowa oraz indywidualnie usytuowane segmenty. W obu przypadkach wartość współczynnika kształtu wyniosła $0,78 \text{ m}^{-1}$. Najmniejsze potrzeby związane z dostarczeniem energii użytkowej charakteryzowały budynek wielorodzinny o średnich gabarytach – 67% w odniesieniu do najbardziej energochłonnej zabudowy, tj. obiektów indywidualnych (100%). Autorzy wykazali możliwość ograniczenia potrzeb cieplnych budynków w układzie zabudowy tarasowej – 87% w odniesieniu do jednostek wolnostojących, co wynikało nie z samego ukształtowania bryły, a zmiany warunków wymiany ciepła. W układzie tarasowym o 100% w porównaniu z obiektami indywidualnymi, zwiększono udział powierzchni w kontakcie z podłożem gruntowym.

Jak wynika z analiz Heggera, Fuchsa, Starka i Zeumera oraz codziennej praktyki, potrzeby cieplne budynku stanowią wynikową wielu oddziałujących na siebie czynników i zjawisk. W literaturze przedmiotu brak opracowań poświęconych wyłącznie kwestii złożoności bryły architektonicznej, bez odniesień do innych czynników istotnych w kształtowaniu energetycznym obiektu. Zielonko-Jung w prowadzonych badaniach [21] wskazuje, że poza samym zagadnieniem kształtowania bryły budynku, istotny wpływ na jego potrzeby energetyczne ma mezoklimat i mikroklimat miejski, znacząco różny od warunków panujących w przestrzeni słabo zurbanizowanej. Na skalę tego zjawiska bezpośredni wpływ ma otoczenie urbanistyczne budynku, ograniczające m.in. ekspozycję elewacji na działanie promieniowania słonecznego, a tym samym powodujące jego zacienienie, którego miarą jest tzw. współczynnik horyzontu miejskiego UHA . Wielkość ta z samą bryłą budynku związana jest pośrednio i odnosi się przede wszystkim do gęstości zabudowy, czyli obiektów sąsiednich analizowanemu.

Rewolucja technologiczna XX wieku odcisnęła swój ślad w postaci stale rosnącego popytu na energię elektryczną, co jest wyraźnie skutkiem gospodarki świa-

towej. Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych [6] wskazują, że zużycie energii elektrycznej w budynkach pochłania około 70% jej całkowitej produkcji. Udział tej energii podawany w pracach Ryńskiej [17] wynosi 50% w odniesieniu do budynków użyteczności publicznej, zlokalizowanych w wyższych szerokościach geograficznych. Z uwagi na zmienną w skali roku dostępność światła dziennego, szacuje się, że czas pracy oświetlenia wbudowanego, w zależności od przeznaczenia budynku wynosi średnio od 2000, w przypadku szkół, do nawet 5000 godzin – w budynkach szpitali czy obiektach handlowo-usługowych. Z tej przyczyny, w studiach dotyczących energooszczędnego kształtowania współczesnej architektury, coraz częściej podnosi się kwestie nie tylko zwartości bryły budynku i niskiej wartości jej współczynnika kształtu, ale również ograniczenia potrzeb związanych z dostarczeniem energii elektrycznej do oświetlenia pomieszczeń. W pracach poświęconych bioklimatyce Ryńska podkreśla [17], że w kształtowaniu budynków, obok zwanego i funkcjonalnego rzutu typowej kondygnacji, istotne jest zapewnienie optymalnego oświetlenia wnętrza światłem dziennym oraz zwiększenie ekspozycji budynku na światło naturalne. Wskazuje, że w warunkach klimatu kontynentalnego i chłodnego znacznie efektywniejszym kształtem rzutu budynku w odniesieniu do kwadratu, będzie wydłużony prostokąt. Dalej proponowane rozróżnienie bryły celem umożliwienia samo zacielenia budynku, co stoi jednak w pewnej sprzeczności z powszechną ideą maksymalnego otwarcia na bierne pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego.

Zielonko-Jung w swojej pracy [21] również podnosi dyskusję nad zasadnością utrzymania minimalizacji wskaźnika zwartości bryły jako głównej wytycznej projektowania budynków o niskim zużyciu energii. W prowadzonym wywodzie odwołuje się do prac Martina i Marcha, analizujących w swych studiach nad formą zabudowy nie tylko jej zwartość, ale również możliwość zapewnienia w pomieszczeniach oświetlenia światłem słonecznym. Autorka cytuje również badania Rattiego nad efektywnością energetyczną wynikającą z ukształtowania tkanki miejskiej wybranych dzielnic Londynu, Tuluzi i Berlina. Ratti, poddając ocenie zwartość obiektów, najniższy współczynnik kształtu uzyskał w przypadku obiektów berlińskich. Jednak w porównaniu z poddanymi ocenie wybranymi budynkami z Londynu i Tuluzi, berlińskie realizacje nie charakteryzowały się spodziewanymi wynikami w zakresie możliwości pasywnego pozyskiwania energii promieniowania słonecznego, co wynikało z ukształtowania urbanistycznego poddanego analizie fragmentu przestrzeni miejskiej i ostatecznie okazały się być najbardziej energochłonne.

Przytoczone badania Rattiego, analizy Zielonko-Jung czy opisany efekt ska-

li, wskazują na silne wzajemne powiązanie wszystkich składowych wpływających na bilans potrzeb energetycznych budynku. Przy złożonej strukturze, którą stanowi sam budynek, w dodatkowej interakcji z ukształtowaniem bezpośredniego otoczenia, probabilistycznych cechach parametrów opisujących oddziaływanie środowiska zewnętrznego – uwzględnienie wszystkich zależności możliwe jest tylko przy zastosowaniu metod symulacyjnych, wymagających zastosowania odpowiedniego środowiska, wiedzy i umiejętności modelowania. W prostych analizach zadanie wymaga wprowadzenia pewnych uogólnień.

Z przedstawionych dotychczas prac i analiz, jako główny czynnik istotnie wpływający na zmianę wstępnie przewidywanej charakterystyki energetycznej budynku, przewija się dostępność elewacji budynku do promieniowania słonecznego, pozwalająca na pasywne pozyskanie energii z promieniowania słonecznego. Z uwagi na zmienność tego czynnika w zależności od ukształtowania otoczenia budynku, które nie jest cechą tegoż obiektu i niejednokrotnie od niego nie zależy, a także ze względu na trudność w spójnym opisie otoczenia – jakość bryły budynku, proponuje się odnieść do zapotrzebowania na moc cieplną do pokrycia strat ciepła z budynku, zakładając brak dostępności promieniowania słonecznego (np. okres od zmierzchu do świtu). Przyjęcie takiego punktu wyjścia, z dodatkowymi uproszczeniami, pozwoli na prowadzenie oceny geometrii budynku niezależnie od panujących warunków nasłonecznienia oraz dodatkowych parametrów opisujących strukturę budynku, jak np. powierzchnia i orientacja przegród przezroczystych czy ich współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego, podnoszących stopień trudności opisu analizowanych zjawisk. W zaproponowanym podejściu możliwa do uzyskania redukcja zużycia energii dzięki pasywnemu pozyskaniu zysków słonecznych oraz wykorzystaniu masy akumulującej budynku stanowi wartość dodaną do wstępnie określonego standardu energetycznego.

Zgodnie z normami przedmiotowymi [15, 16], zapotrzebowanie na moc cieplną wynikającą ze strat ciepła przez przenikanie i przez wentylację można opisać zależnościami (1) – (3).

$$q_H = q_{H,tr} + q_{H,ve} \quad (1)$$

$$q_{H,tr} = H_{tr} \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

$$q_{H,ve} = H_{ve} \cdot \Delta\theta \quad (3)$$

wprowadzone oznaczenia:

q – zapotrzebowanie na moc cieplną

H – współczynnik strat ciepła

$\Delta\theta$ – różnica temperatury

indeks tr – transmisyjny

indeks ve – wentylacyjny

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie przez przegrody budowlane, H_{tr} , opisano wzorem (4), w którym udział wielowymiarowej wymiany ciepła uwzględniono proporcjonalnie do wymiany ciepła przez pole powierzchni przegród obudowy³. Udział mostków termicznych opisano wielkością m . W przypadku współczynnika strat ciepła przez wentylację (5), projektowany strumień powietrza wentylacyjnego określono krotnością wymian n_{ve} kubatury wewnętrznej, wymaganą ze względów higieniczno-sanitarnych oraz krotnością wymian objętości powietrza n_{inf} wynikającą z infiltracji powietrza na skutek działania wiatru i sił wyporu termicznego. Kubaturę netto budynku, zgodnie ze stanowieniami normy PN-EN 12831 [15], opisano przybliżoną zależnością jako 0,8 kubatury budynku brutto. Wprowadzone założenia pozwalają na spójny opis budynków o zróżnicowanej funkcji, a w związku z tym odmiennych wymaganiach dotyczących jakości środowiska wewnętrznego. Ponadto umożliwiają uzależnienie formuł od danych geometrycznych stosowanych w ocenie ukształtowania bryły budynku, tj. pola powierzchni przegród opisujących kubaturę oraz samej kubatury obiektu. Ostatecznie, po przekształceniach wynikających z przyjętych założeń, zapotrzebowanie na moc cieplną budynku opisane zostało zależnością (6).

$$H_{tr} = (1 + m) \times A \times U_{sr} \quad (4)$$

³ Na wstępnym etapie analiz energetycznych budynków rzeczywisty wpływ mostków termicznych jest trudny do określenia, ponieważ wynika z ukształtowania geometrycznego detalu oraz zastosowanych materiałów i technologii, stanowiących efekt wynikowy procesu projektowania. W budynkach niskoenergetycznych zakłada się, że wpływ dwuwymiarowej wymiany ciepła nie powinien przekroczyć 10% wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie.

$$H_{ve} = 0,34 \cdot (0,8 \cdot n_{ve} \cdot V + 0,8 \cdot n_{inf} \cdot V) \quad (5)$$

wprowadzone oznaczenia:

A – powierzchnia opisująca kubaturę budynku

U_{sr} – średnioważona po powierzchni wartość współczynnika przenikania ciepła całej obudowy termicznej budynku

V – kubatura budynku

m – udział mostków termicznych we współczynniku strat ciepła przez jednowymiarową wymianę ciepła przez przegrody budowlane

n_{ve} – krotność wymiany kubatury ze względów higieniczno-sanitarnych lub technologicznych

n_{inf} – krotność wymiany kubatury wynikająca ze szczelności powietrznej budynku

$$q_H = \Delta \theta \cdot \left[(1+m) \cdot A \cdot U_{sr} + 0,272 \cdot V \cdot (n_{ve} + n_{inf}) \right] \quad (6)$$

Wprowadzając wielkość współczynnika kształtu, k , opisującego zwartość bryły (7), równanie (6) można przekształcić w celu opisanego zapotrzebowania na moc cieplną budynku polem powierzchni przegród obudowy A (8), bądź wielkością kubatury budynku V (9). W zależności od potrzeb, przekształcenie to może również przyjąć postać (10) i (11).

$$k = A/V \quad (7)$$

$$q_H = V \cdot \Delta \theta \cdot \left[(1+m) \cdot k \cdot U_{sr} + 0,272 \cdot (n_{ve} + n_{inf}) \right] \quad (8)$$

$$q_H = A \cdot \Delta \theta \cdot \left[(1+m) \cdot U_{sr} + \frac{0,272}{k} \cdot (n_{ve} + n_{inf}) \right] \quad (9)$$

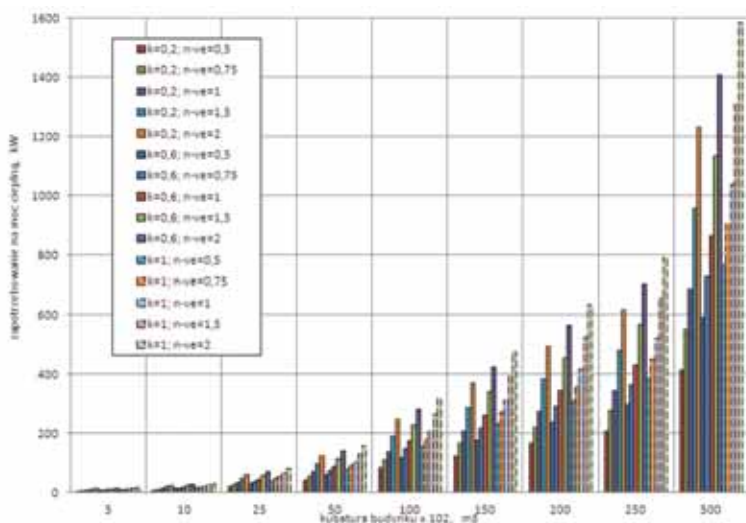
$$V = \frac{q_H}{\Delta \theta \cdot \left[(1+m) \cdot k \cdot U_{sr} + 0,272 \cdot (n_{ve} + n_{inf}) \right]} \quad (10)$$

$$A = \frac{q_H}{\Delta \theta \cdot \left[(1+m) \cdot U_{sr} + \frac{0,272}{k} \cdot (n_{ve} + n_{inf}) \right]} \quad (11)$$

Uzyskane zależności (8) do (11) pozwalają na ocenę porównawczą budynków o założonej kubaturze, polu powierzchni bryły oraz współczynnikiem kształtu. Zależności opisane są średnim współczynnikiem przenikania ciepła przegród granicy termicznej oraz strumieniami powietrza, które mogą również stanowić zmienne. Występująca we wzorach różnica temperatur odnosi analizowana wielkość do zadanych warunków klimatu wewnętrznego i zewnętrznego.

Na ilustracji 2 przedstawiono wyniki oceny przeprowadzonej dla budynku o średnim współczynniku przenikania ciepła przegród wynoszącym $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, udziale mostków termicznych przyjętym na poziomie 10% współczynnika strat ciepła przez przenikanie oraz różnicy temperatur wynoszącej 40 K (np. budynek zlokalizowany w III strefie obliczeniowej [15], temperatura powietrza wewnętrznego: 20°C). Jako zmienne przyjęto: krotność wymiany powietrza ze względów higieniczno-sanitarnych ($n_{ve} = 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2 \text{ h}^{-1}$) oraz współczynnik kształtu bryły budynku ($A/V = k = 0,2; 0,6; 1 \text{ m}^{-1}$).

Zgodnie z przewidywaniami, z przedstawionego zestawienia (il. 3) wynika, że przy zachowaniu stałej kubatury budynku, zwiększenie jego współczynnika kształtu A/V , skutkuje wzrostem zapotrzebowania na moc do pokrycia strat ciepła. Należy jednak zwrócić uwagę, że zależność ta jest wyraźniejsza w przypad-

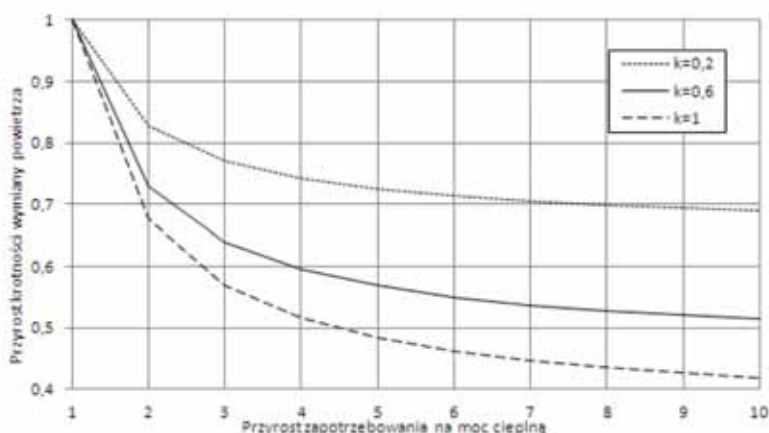


Il. 3. Zapotrzebowanie na moc ciepłą budynku o średnim współczynniku przenikania ciepła $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oraz zmiennej wartości współczynnika kształtu ($k = 0,2; 0,6; 1 \text{ m}^{-1}$) oraz krotności wymiany powietrza wewnętrznego ($n_{ve} = 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2 \text{ h}^{-1}$), opracowanie własne

ku budynków wielokubaturowych (2500 oraz 5000 m³), niż w przypadku obiektów opisanych kubaturą rzędu 500 czy 1000 m³. Jeżeli pominie się wpływ potrzeb wentylacyjnych na potrzeby cieplne budynku, to wraz ze wzrostem współczynnika kształtu współczynnik energochłonność rośnie, jednak nie wprost proporcjonalnie do przyrostu współczynnika A/V . W rozpatrywanych modelach budynku o kubaturze 500–5000 m³, przyrost energochłonności bryły opisany zapotrzebowaniem na moc cieplną (z wyłączeniem potrzeb wentylacyjnych) wyniósł 2,2 przy wzroście współczynnika kształtu z 0,2 do 0,6 m⁻¹ oraz 1,3 przy wzroście od 0,6 do 1 m⁻¹. Uwzględnienie potrzeb związanych z wentylacją wnętrza budynku powoduje zmniejszenie przyrostu energochłonności budynku do 1,4 i 0,4 przy założonej 0,5 krotności wymian kubatury wewnętrznej na godzinę. Zwiększanie wymian powietrza w budynku skutkuje dalszym obniżeniem wrażliwości budynku na zmianę wskaźnika A/V przy stałej kubaturze. W przypadku 2 wymian na godzinę wskazane przyrosty energochłonności wynoszą już tylko 1,1 i 0,2 przy zmianie zawartości bryły z 0,2 do 0,6 m⁻¹ oraz z 0,6 do 1 m⁻¹.

Na ilustracji 4 przedstawiono zmienność przyrostu zapotrzebowania na moc cieplną w funkcji przyrostu wymiany powietrza oraz współczynnika kształtu bryły budynku opisanego średnim współczynnikiem przenikania ciepła 0,2 W/(m²K).

Dla stałego współczynnika kształtu budynku, zapotrzebowanie na moc cieplną jest proporcjonalne do przyrostu strumienia powietrza wentylacyjnego,



Il. 4. Zmienność przyrostu zapotrzebowania na moc cieplną w funkcji przyrostu krotności wymiany powietrza oraz współczynnika kształtu bryły budynku opisanego średnim współczynnikiem przenikania ciepła 0,2 W/(m²K); wskaźnik k oznaczono w m⁻¹, opracowanie własne

a współczynnik kierunkowy prostej maleje wraz ze wzrostem średnioważonej wartości współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych oraz udziału mostków termicznych w wymianie ciepła pomiędzy budynkiem i jego otoczeniem. Z przeprowadzonych symulacji wynika, że we wszystkich przypadkach zwiększenie krotności wymiany powietrza oraz zwiększenie średniego współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych, daje współczynnik kierunkowy mniejszy od jedności. Zwiększenie lub zmniejszenie kubatury bryły (przy $A/V = k = \text{const.}$) nie powoduje zmiany współczynnika kierunkowego ustalonego dla danej wartości współczynnika kształtu A/V . Wyprowadzona zależność (11) może służyć pomocą w optymalizacji pola powierzchni zamykającego zadaną kubaturę projektowanego obiektu.

Przytaczane w literaturze przedmiotu zasady kształtowania budynków o ograniczonym zapotrzebowaniu na energię, z reguły poza określeniem definicji współczynnika kształtu projektowanej bryły, nie odnoszą się szczegółowo do pozostałych istotnych parametrów tworzących jakość energetyczną budynku. Zielonko-Jung podkreśla [20] konieczność prowadzenia szczegółowych analiz uwarunkowań kształtujących jakość środowiska zbudowanego oraz indywidualizacji stosowanych rozwiązań, zarówno standardowych jak i innowacyjnych, w odniesieniu do każdego budynku, lokalizacji i zastanych warunków otoczenia. Kwestię tę podnosi również Ryńska [18].

Istniejące realizacje budynków efektywnych energetycznie, dowodzą, że współczesne techniki i technologie pozwalają na uzyskanie pasywności również w obiektach o małej skali i silnie rozczłonkowanej bryle. Przykładem takiego budynku jest obiekt Libeskind Villa, wzniesiony w standardzie KfW 40, w Datteln w Niemczech [19]. Przytoczony przykład i wykonane analizy zdają się świadczyć o słuszności stwierdzenia Laskowskiego, wskazującego że „*budynek racjonalnie niskoenergetyczny to taki obiekt, który przede wszystkim bardzo mało energii potrzebuje, a nie taki, który bardzo dużo energii z otoczenia pozyskuje, gdyż z reguły równie dużo jej z powrotem traci*” [9]. Równie istotna dla kształtowania współczesnej, przyjaznej człowiekowi i środowisku architektury, jest uwaga poczyniona przez Niezabitowską [12] o konieczności budowania założeń jakościowych budynku na bazie badań przedprojektowych. W analizowanym kontekście uwagę tę można przenieść na modelowanie i poszukiwanie redukcji przyszłego zużycia energii przede wszystkim w fazie przedprojektowej oraz już etapie zintegrowanego projektowania. Do cech kształtujących profil wieloletniego zużycia energii w budynku Edwards [4] dodaje jeszcze zdolność adaptacji przestrzeni i tkanki budowlanej pod przyszłe rozwiązania podnoszące efektywność energe-

tyczną. Zdaniem autorki dalsze studia w podjętej tematyce powinny uwzględnić nie tylko bieżące potrzeby energetyczne budynku, ale również energię wbudowaną w jego strukturę.

Bibliografia

- [1] 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. Praca zbiorowa pod red. Bać A., Kasperskiego J., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [2] Bradecki T., Twardoch A., Współczesne kierunki kształtowania zabudowy mieszkaniowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2013.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego I Rady 2010/31/UE z dn. 19. maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dz. U. UE L153/13 z dn. 18.06.2010
- [4] Edwards B., Rough Guide to Sustainability. 3rd Edition. RIBA Publishing, London 2010.
- [5] Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zuemer M., Energy Manual. Sustainable Architecture. Birkhäuser Verlag AG, Basel – Boston – Berlin 2008.
- [6] Jonston D., Gibson S., Toward a zero energy home. A complete guide to energy self-sufficiency at home. The Taunton Press, Newtown 2010
- [7] Kurtz K., Projektowanie budynków niskoenergetycznych. „IZOLACJE”, Nr 11-12/2012.
- [8] Kurtz K., Gawin D., Ochrona cieplna budynków w polskich przepisach normalizacyjnych i prawnych. PWSBiA, Warszawa 2007.
- [9] Laskowski L., Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [10] Marchwiński J., Zielonko-Jung K., Współczesna architektura proekologiczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [11] Michalski P., Architektura niskoenergetyczna w projektach typowych. [w:] Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska. Praca zbiorowa pod red. Bać A., Kasperskiego J., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [12] Niezabitowska E., Masły D. (red.), Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2007.
- [13] Pallado J., Architektura wielorodzinnych domów dostępnych. „Śląsk” Sp. z o.o. Wydawnictwo Naukowe, Katowice 2007.
- [14] Piotrowski R., Domy pasywne. Najlepsze obiekty oraz technologie niskoenergetyczne i pasywne w Polsce. Green Leaf Sp. z o.o., Warszawa 2009.

- [15] Polska Norma PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach – Obliczanie zapotrzebowania na moc cieplną. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006
- [16] Polska Norma PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczenie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
- [17] Ryńska E.D., Bioklimatyka a forma architektoniczna. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
- [18] Ryńska E.D., Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [19] Van Uffelen Ch., Passive Houses. Energy efficient homes. Braun Publishing AG, Berlin 2012.
- [20] Wnuk R., Budowa Domu Pasywnego w praktyce. Przewodnik Budowlany, Warszawa 2006.
- [21] Zielonko-Jung K., Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria Architektura, Zeszyt 9. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
- [22] Zielonko-Jung K., Uwarunkowania energetyczne budynków tworzących ulicę miejską. [w:] Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska. Praca zbiorowa pod red. Bać A., Kasperskiego J., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [23] [www. http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-area-to-volume_ratio](http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-area-to-volume_ratio) [18.09.2014]

ENERGY EFFICIENCY AND BUILDING SHAPE – STUDIES ON SA:V RATIO

The heating needs of the building are the resultant of many interacting factors and phenomena. One of the key elements shaping energy-efficient building is the form their mass. The chapter discusses issues related to the evolution of the building blocks and commonly used measure of her research - aspect ratio. Against the background of current research in this field, proposed assessment body of the building from the perspective of thermal power demand resulting from the transfer of heat from the building to the environment. Derived dependencies allow for the comparative assessment of predetermined volume of buildings, solid surface area and aspect ratio.

ROZDZIAŁ 6

PASYWNE ROZWIĄZANIA SŁONECZNE W ZABUDOWIE WIELORODZINNEJ

1. Wprowadzenie

Możliwości wykorzystania energii słonecznej na potrzeby budownictwa są przedmiotem badań naukowych i wpływają na kierunki rozwoju technologii. To jeden z priorytetów, na których opiera się strategia projektowania architektury o obniżonym zapotrzebowaniu na energię nieodnawialną. Przedmiotem tego rozdziału są pasywne rozwiązania słoneczne, czyli elementy budowlane, które przez swoje ukształtowanie, zestawienie z innymi elementami oraz usytuowanie względem otoczenia, pozwalają na optymalne wykorzystanie energii słonecznej w budynku. Mają one bogatą historię, która sięga początków architektury. Wg S. Wehle-Strzeleckiej, pierwsza generacja rozwiązań, która obejmuje okres do połowy XX w., bazuje na następujących zasadach [17]:

- dostosowanie bryły oraz elewacji budynku do posykiwania energii słonecznej w okresie zimowym i ochrony przed wiatrem z północy – odpowiednia orientacja budynków i ich zespołów względem stron świata – preferowane układy wydłużone na osi wschód-zachód z szeroką płaszczyzną przesklonych ścian od południa oraz niewielkimi otworami od północy;
- wprowadzenie przeszkłonej przestrzeni buforowej od południa w postaci ogrodów zimowych i oranżerii, umożliwiających czerpanie zysków z nasłonecznienia zimą;
- ochrona przed przegrzewaniem pomieszczeń w lecie – odpowiednie ukształtowanie bryły oraz zastosowanie elementów zacieniających;
- wykorzystanie zjawiska konwekcji do celów naturalnej wentylacji i ogrzewania pomieszczeń;

- gromadzenie ciepła lub chłodu w masywnych ścianach i podłogach, stanowiących masę termiczną budynku.

Współczesne rozwiązania tworzą kolejną generację, która wykorzystuje znane, tradycyjne metody, przekształca je i uzupełnia nowoczesnymi, zaawansowanymi technologicznie elementami. Tworzą one bogaty zbiór, których systematykę odnaleźć można w literaturze [8,14,17,18,19]. Zakres możliwości ich implementacji w budynkach zależy od różnych czynników. Jednym z istotniejszych jest przeznaczenie budynku, gdyż wynika z niego wiele uwarunkowań, istotnych dla „działania” rozwiązań słonecznych, np. skala i forma budynku, układ podziału jego przestrzeni, wielkości i układ okien.

Rozdział ten dotyczy architektury wielorodzinnej. Jej przeznaczeniem jest mieszkalnictwo, jednak w odróżnieniu do budownictwa jednorodzinnego, charakteryzuje się dość dużą kubaturą i bardzo złożonym układem podziału pomieszczeń. Celem pracy jest analiza możliwości zastosowania pasywnych rozwiązań słonecznych w różnych typach zabudowy wielorodzinnej. Uwzględniono podstawowe typy: klatkowy, korytarzowy, galeriowy i punktowy. Dla każdego z nich określono zakres możliwości implementacji poszczególnych grup rozwiązań. Przyjęta systematyka pozwala na wyodrębnienie 3 grup rozwiązań, w zależności od zakresu zagadnień projektowych, na które się składają. Są to rozwiązania dotyczące: relacji budynku z otoczeniem i ukształtowania jego bryły, układu wnętrza oraz obudowy elewacyjnej [18,19]. Pominęto rozwiązania instalacyjne, jako stosunkowo najmniej wpływające na podstawowe decyzje architektoniczne. Analiza została zobrazowana przykładami współcześnie wzniesionych proekologicznych budynków wielorodzinnych, podczas projektowania których podjęto próbę optymalnego wykorzystania energii słonecznej.

W końcowej części pracy dokonano syntezy podjętych rozważań i ogólnej oceny przydatności poszczególnych typów zabudowy w zakresie implementacji pasywnych rozwiązań słonecznych.

2. Analiza możliwości aplikacji pasywnych rozwiązań słonecznych w różnych typach budynków wielorodzinnych

2.1. Budynki klatkowe

Zabudowa klatkowa jest najczęściej spotykanym w Polsce współczesnym typem zabudowy wielorodzinnej. Składa się ona z segmentów obsługiwanych

przez osobne pionowe komunikacyjne. Na każdą kondygnację segmentu przypada 2 do 4 mieszkań.

2.1.1. Relacja budynku z otoczeniem i ukształtowanie bryły

Zabudowa klatkowa ma charakter pasmowy. Przyjmuje formy wydłużonych prostokątów lub łałamuje się w układ liter L, U bądź w zamknięty czworobok. Pasma ułożone na osi wschód-zachód mają dużą powierzchnię elewacji południowej, stwarzając tym samym okazję do wprowadzania rozwiązań pasywnie i aktywnie pozyskujących energię słoneczną. Są jednak równocześnie narażone na silne wychładzanie przez długą elewację północną. Pasma położone na osi północ-południe poddawane są mniej zróżnicowanym warunkom nasłonecznienia elewacji. Mała powierzchnia elewacji południowej ogranicza możliwości pozyskiwania energii słonecznej. Układy pasm zabudowy położonych blisko siebie (gdy szerokość między budynkami nie przekracza dwukrotności wysokości budynków) narażone są na znaczne samozacienianie i zbyt słabą wentylację przestrzeni w bezpośrednim sąsiedztwie budynków [19]. Problem ten dotyczy w jeszcze większym stopniu układów L, U i czworobocznych, gdzie strefy przy narożnikach wklęsłych są zacienione przez dużą część dnia.

Zabudowa klatkowa stwarza dobre możliwości w zakresie wykorzystania zieleni do regulacji mikroklimatu w otoczeniu budynku. Przydomowe ogródki lub inne formy niskiej zieleni zagospodarowanej w bezpośrednim sąsiedztwie elewacji nasłonecznionych, chronią budynek przed przegrzewaniem. Zieleń wysoka może posłużyć jako ochrona przed wiatrem lub nadmiarem energii słonecznej latem [14]. Należy wziąć to pod uwagę przy projektowaniu podziemnych parkingów. Ograniczają one możliwości sadzenia drzew, gdy obrys parkingu wykracza poza obrys budynku.

Budynki klatkowe, z racji wydłużonego planu i stosunkowo małej wysokości, tworzą średnio zwarte bryły [10]. Współczynnik A/V niekorzystnie się zwiększa w przypadku wprowadzania wykuszy – czy uskoków elewacji. W przypadku wydłużonych budynków klatkowych, trudne jest realizowanie zasady tzw. koperty słonecznej, która mówi o takim kształtowaniu budynku, by maksymalnie duże powierzchnie ścian otwierały się ku słońcu, a możliwe małą powierzchnię osiągała elewacja północna [6, 8, 14]. Kształtowanie planu zgodnie z tą zasadą bardzo komplikuje rozplanowanie segmentów i ich łączenie. Pewne możliwości w tym zakresie daje zastosowanie wspomnianej zasady w kształtowaniu przekroju pionowego bryły, np. przez różnicowanie wysoko-

ści elewacji południowej i północnej na korzyść tej pierwszej [18,19]. Możliwe jest także pochylanie ścian południowych budynku ku słońcu, dzięki czemu zwiększyć można czerpane z niego zyski energetyczne. Oznacza to jednak utratę kubatury budynku i utrudnienia w projektowaniu mieszkań. Rozwiązania tego rodzaju są dość rzadko stosowane.

W przypadkach wielorodzinnej zabudowy klatkowej uzasadnione jest rozrzeźbianie bryły budynku od strony południowej, przez wprowadzanie elementów poziomych lub lekko nachylonych. Chronią one elewacje południowe przed nadmiarem słońca latem. Balkony, galerie, czy loggie, naturalnie wpisane w potrzeby budownictwa mieszkalnego, mogą spełniać taką rolę. Wprowadzanie ich na elewacjach północnych nie jest korzystne, gdyż ograniczają dostęp światła naturalnego do i tak słabo doświetlonych wnętrz.

2.1.2. Wnętrze budynku

Strategia strefowania funkcji budynku polega na grupowaniu pomieszczeń o podobnych potrzebach w zakresie ciepła i światła dziennego i lokalizowaniu ich w najbardziej optymalny sposób względem słońca [18]. Wprowadzanie jej w budownictwie wielorodzinnym jest trudniejsze niż w np. w przypadku budynków biurowych, z racji stosunkowo dużego rozdrobnienia pomieszczeń. Budynki klatkowe stwarzają taką możliwość, gdy położone są na osi wschód-zachód, a klatki schodowe usytuowane są od północy. Mieszkania większe o dwustronnym dostępie do okien projektować można tak, by pokoje miały okna od strony południowej, a przedpokoje, łazienki, kuchnie, garderoby od północy. Mieszkania jednostronne mogą mieć pokoje od południa, a przedpokoje i łazienki w „ciemnej” środkowej części traktu. Najlepiej, by kuchnie projektowane były także w tej strefie jako aneks pokoju dziennego. Trakty pomieszczeń sytuowanych od północy powinny być mniejsze niż trakty południowe.

Brak właściwie przeprowadzonego strefowania układu funkcjonalnego w budynkach na osi wschód-zachód stwarza niebezpieczeństwo tzw. zjawiska *mixing loss* [8], które powstaje, gdy różnica temperatur między dwiema zewnętrznymi ścianami budynku jest znaczna. Niekorzystne jest także sytuowanie klatek schodowych od południa, gdyż uniemożliwia, prawidłowe strefowanie termiczne i obniża komfort środowiska fizycznego wewnątrz.

W przypadku budynków położonych na osi północ-południe strefowanie układu funkcjonalnego nie jest wyraźne, gdyż warunki nasłonecznienia mieszkań z obu stron budynku są porównywalne. Kluczowym czynnikiem stają się pory oświetlenia poszczególnych pomieszczeń światłem dziennym (np. sypialnie do strony wschodniej, a strefy dzienne od zachodniej). W pasie środkowym lokalizowane są pomieszczenia nie wymagające bezpośredniego doświetlenia. Korzystne ze względów termicznych jest projektowanie w tej strefie także kuchni jako części pokoju dziennego. Ułożenie budynku klatkowego na osi północ-południe stwarza możliwość projektowania niewielkich mieszkań o jednostronnym doświetleniu.

Jednym z najbardziej powszechnych sposobów pasywnego pozyskiwania energii słonecznej jest stosowanie struktur szklarniowych np. w postaci atriów, pasaży, galerii, ścian o dużych powierzchniach szklenia [6,11,14,15,17]. Specyfika budynków wielorodzinnych sprawia, że stosowanie typowych, wymienionych wyżej rozwiązań szklarniowych nie ma uzasadnienia. Sprawdzić się jednak mogą zdecentralizowane, przeszklone elementy przestrzenne przyporządkowane poszczególnym mieszkaniom. Mogą przybrać postać przestrzeni wydzielonych np. oranżerii lub przeszklonych logii. Można też rozważać włączenie struktury szklarniowej do powierzchni mieszkania np. jako przeszklenia o dużej powierzchni w strefie dziennej. Szczególnie korzystne jest stosowanie tego rodzaju rozwiązań w mieszkaniach dwupoziomowych, gdyż powstają w ten sposób przestrzenie dogrzewające i wentylujące większą liczbę pomieszczeń.

W przypadku budynków klatkowych struktury szklarniowe mogą przynieść wymierne zyski energetyczne wyłącznie w przypadku usytuowania na osi wschód-zachód, na długiej elewacji południowej. Gdy orientacja elewacji ze strukturami szklarniowymi odchyłona jest od kierunku południowego bardziej niż 15° (spotkać można także z materiałach źródłowych wartość 30°), stosowanie struktur szklarniowych staje się energetycznie nieuzasadnione.

Najczęściej stosowane układy konstrukcyjne budynków klatkowych są na tyle masywne, że tworzą właściwą pojemność cieplną w ogólnym bilansie energetycznym budynku [10]. Najlepiej rolę tę pełnią żelbetowe stropy, które nie powinny być (i w budynkach mieszkaniowych zwykle nie są) zasłaniane przez sufity podwieszane. Trudniej wykorzystać właściwości akumulacyjne ścian konstrukcyjnych, które często nie mają bezpośredniego styku z pomieszczeniami o dużych przeszkleniach.

2.1.3. Obudowa elewacyjna

Racjonalizacja gospodarki energetycznej budynku mówi o konieczności różnicowania wielkości przeszkleń na elewacjach w zależności od ich orientacji [6, 10]. Największe powierzchnie powinny znajdować się na elewacjach południowych (40-50%), mniejsze na wschodnich (30-40%) i zachodnich, a możliwie najmniejsze na północnych (20-30%). Przeprowadzenie tego różnicowania jest możliwe w budynkach klatkowych usytuowanych na osi wschód-zachód. Gdy układ funkcjonalny podlega strefowaniu, duże przeszklenia otwierają ku południowemu słońcu pokoje mieszkalne, a pomieszczenia obsługujące mają niewielkie okna od północy. Przy innym układzie sytuowania budynków klatkowych, możliwości różnicowania wielkości okien są ograniczone.

Przeszklenia sytuowane na elewacjach eksponowanych na słońce wymagają ochrony przeciwsłonecznej. Gdy okna zajmują więcej niż 30% powierzchni ścian, wskazane jest stosowanie systemów zewnętrznych. W przypadku budynków klatkowych, sytuowanych na osi wschód-zachód, rolę tę pełnić mogą, jak wspomniano powyżej, płyty balkonowe, a także mocno wysunięte okapy dachy i gzymsy [7]. Przy zachowaniu zalecanych wielkości przeszkleń, elementy te mogą stanowić wystarczającą ochronę przeciwsłoneczną budynku. Uzasadnione może się także okazać różnicowanie parametrów szklenia na elewacjach północnej i południowej.

Gdy budynek usytuowany jest na osi północ-południe konieczne jest wprowadzanie zewnętrznych systemów zacieniających w postaci np. ruchomych żaluzji, suwanych okiennic czy markizolek, by chronić wnętrza przed niskim promieniowaniem wschodnim i zachodnim [7, 8, 18].

2.2. Budynki galeriowe

Budynki galeriowe wyróżniają się jednotraktowym układem mieszkań obsługiwanych zewnętrznym korytarzem – galerią. Komunikację pionową stanowią klatki schodowe umieszczane na końcach lub w środku podłużnej bryły. Mieszkania są oświetlone światłem dziennym z dwóch przeciwległych stron, choć sąsiedztwo okien z jednej strony z ogólnodostępną galerią, ogranicza swobodę ich projektowania. Jest to bardzo rzadko spotykany typ zabudowy mieszkaniowej w Polsce, czego powodem może być stosunkowo mała ilość uzyskiwanej powierzchni mieszkań w stosunku do powierzchni działki, względy klimatyczne (komunikacja zewnętrzna) oraz ograniczenie prywatności mieszkańców.

2.2.1. Relacja budynku z otoczeniem i ukształtowanie bryły

Zabudowa galeriowa podobnie jak klatkowa, przyjmuje charakter pasmowy. Zasady właściwego jej ustawiania względem otoczenia są analogiczne, jak w przypadku budynków klatkowych.

Budynki galeriowe to przeważnie budynki niskie i średniowysokie o znacznie wydłużonym planie. Dzięki powtarzalnej strukturze funkcjonalnej wnętrza, możliwe jest kształtowanie brył o optymalnych proporcjach i średnio zwartej bryle. Galeria zewnętrzna pogarsza nieco współczynnik kształtu.

Podobnie, jak w przypadku budynków klatkowych, dla orientacji na osi wschód-zachód trudno minimalizować obwód budynku od północy, maksymalizując go jednocześnie od południa. Można próbować realizować tę zasadę np. wprowadzając uskoki lub linie zakrzywione na elewacji południowej. Wydaje się to być korzystne, pomimo pogorszenia współczynnika A/V, gdyż może zwiększyć możliwości nasłonecznienia mieszkań od strony przeciwnej niż korytarz.

Budynki galeriowe są dodatkowo mało podatne na możliwości pochylania elewacji południowej ku słońcu, gdyż trudno różnicować głębokości i tak stosunkowo wąskiego traktu. Podobnie, jak w przypadku budynków klatkowych, można wykorzystać płyty balkonowe od strony południowej jako elementy ochraniające przeszklenia przed najintensywniejszym promieniowaniem letnim.

2.2.2. Wnętrze budynku

Mieszkania w budynkach galeriowych mają układ podłużny, z krótszym bokiem wzdłuż ściany zewnętrznej. Ich wewnętrzna strefa jest ciemna, a ta, sąsiadująca z ogólnodostępną galerią – bardzo słabo oświetlona światłem dziennym. Znacznie korzystniejsze jest zatem ustawianie budynków na osi wschód-zachód z komunikacją od północy. W tym układzie, głębsze trakty od południa pełnią zwykle funkcję strefy dziennej, zaś płytkie od północy strefy nocnej. W centrum układu sytuuje się niewymagające dostępu światła łazienki i garderoby oraz łączone z pokojem dziennym kuchnie. Pokoje od strony galerii są zdecydowanie słabo oświetlone światłem dziennym. W przypadku budynku usytuowanego na osi północ-południe galeria powinna zostać zaprojektowana od wschodu, a mieszkania od zachodu. Jednak niezależnie od umiejscowienia galerii, to zdecydowani mniej korzystne ustawienie ze względu na nasłonecznienie mieszkań.

Możliwości stosowania struktur szklarniowych w celu pozyskiwania energii cieplnej ze słońca oraz wykorzystywania masy termicznej do jej magazynowania, są analogiczne, jak w przypadku budynków klatkowych. Dodatkowo można rozważać częściowe lub całkowite obudowanie galerii. W przypadku orientacji budynku na osi wschód-zachód stanie się ona wówczas buforem termicznym dogrzewającym pomieszczenia od północy. Dla orientacji na osi północ-południe, przeszklona galeria od wschodu mogłaby posłużyć dodatkowo jako element pasywnie pozyskujący energię słoneczną. Należałoby jednak zapewnić jej ochronę przed przegrzewaniem (systemy zacinające lub możliwość otwierania galerii latem). Trudno jednoznacznie określić, czy w ogólnym bilansie byłoby to rozwiązanie korzystne. W obu przypadkach zabudowanie galerii pogarsza warunki wentylowania mieszkań.

2.2.3. Obudowa elewacyjna

W budynkach galeriowych obecność zewnętrznego korytarza powoduje konieczność różnicowania wielkości przeszkleń po obu stronach budynku. Dla budynków sytuowanych na osi wschód-zachód jest ono zgodne z zasadami wynikającymi w racjonalnej gospodarce energetycznej. Przy ułożeniu prostopadłym jest niekorzystne, gdyż znacznie ogranicza nasłonecznienie z jednej ze stron. Dla każdego wariantu usytuowania istnieje konieczność wprowadzania systemów zacinających przeszklania od strony przeciwległej do korytarza. Tym bardziej, że słabe oświetlenie światłem dziennym stref sąsiadujących z korytarzem, skłania zwykle do wprowadzania stosunkowo dużych powierzchni przeszkleń z przeciwległej strony, by zrównoważyć deficyt słońca we wnętrzu. Dla elewacji południowych wystarczające mogą się okazać odpowiednio zaprojektowane płyty balkonowe. Dla elewacji wschodnich i zachodnich konieczne jest uwzględnienie zewnętrznych systemów zacinających.

2.3. Budynki korytarzowe

W budynkach korytarzowych mieszkania dostępne są z wydłużonego ciągu komunikacyjnego w środku budynku. Dzięki temu jedna klatka schodowa może obsłużyć stosunkowo dużą liczbę mieszkań. Większość mieszkań jest jednostronnie oświetlona światłem dziennym.

2.3.1. Relacja budynku z otoczeniem i ukształtowanie bryły

Budynki korytarzowe mają wydłużony plan, choć z reguły bardziej zwarty niż budynki klatkowe i galeriowe. Są też często od nich wyższe. Tym niemniej zasady związane z optymalnym sytuowaniem ich w otoczeniu, ze względu na możliwości wykorzystania energii słonecznej, są podobne. W przypadku budynków wysokich i znacznie wydłużonych, trudniej uzyskać właściwe odległości między budynkami by uniknąć samozacieniania zabudowy i problemów z przewietrzaniem przestrzeni w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Mniejsza jest także rola zieleni wysokiej i niskiej w otoczeniu budynku w regulacji mikroklimatu w zakresie temperatury, wilgotności, wymiany powietrza, czy okresowej ochrony przed słońcem i wiatrem.

Budynki korytarzowe mają dość zwarte formy, ze względu na dużą głębokość, zawierającą korytarz i dwa trakty mieszkań. Możliwości kształtowania bryły budynku korytarzowego, by maksymalnie „otwierać” ją ku słońcu, są ograniczone, zarówno w planie, jak i w przekroju pionowym. Logika rozplanowania funkcji nie pozwala na przekształcanie prostokątnego rzutu, a odchylanie lub zakrzywienie ścian w pionie może być racjonalne jedynie przy niezbyt dużych wysokościach budynku.

Podobnie, jak w przypadku budynków klatkowych i galeriowych, płyty balkonowe mogą skutecznie chronić przeszklenia elewacji południowych przed nadmiarem energii słonecznej latem. Możliwości te są ograniczone dla budynków o znacznych wysokościach. Przepisy polskiego prawa zabraniają stosowania balkonów powyżej 25 metrów nad terenem, nakazując zastąpienie ich loggiami o pełnych balustradach. Pełne elementy mogą w znacznym stopniu zaciemniać elewacje i ograniczać zyski z nasłonecznienia. Stosowanie loggi powyżej 55 m jest zabronione.

2.3.2. Wnętrze budynku

Poważną wadą budynków korytarzowych jest jednostronne oświetlenie większości mieszkań światłem dziennym. Z tego powodu sytuowanie ich na osi wschód-zachód jest niekorzystne, gdyż okna dużej części mieszkań znajdują się po stronie północnej. Możliwości rozplanowania mieszkań są ograniczone. Wszystkie pokoje muszą się znaleźć po stronie zewnętrznej,

a pomieszczenia pomocnicze od strony korytarza. Warunki wentylowania mieszkań są słabe.

Możliwości stosowania struktur szklarniowych w celu pozyskiwania energii cieplnej ze słońca oraz wykorzystywania masy termicznej do jej magazynowania, są analogiczne, jak w przypadku budynków klatkowych.

2.3.3. Obudowa elewacyjna

Ze względu na jednotraktowy układ mieszkań, niemożliwe jest różnicowanie wielkości okien. Zasady stosowania zewnętrznych systemów zacieniających są analogiczne, jak w przypadku budynków klatkowych.

2.4. Budynki punktowe

Budynki punktowe mają stosunkowo niewielki plan i dużą wysokość. Jeden trzon komunikacyjny, usytuowany w środku planu, obsługuje wszystkie mieszkania na kondygnacji. Budynki punktowe łączone są niekiedy po dwie sekcje obsługiwane z osobnych trzonów komunikacyjnych lub z jednego, umieszczonego w łączniku.

2.4.1 Relacja budynku z otoczeniem i ukształtowanie bryły

Budynki punktowe charakteryzują się zwartym, centralnym planem. Ze względu na znaczną wysokość, tworzą natomiast mało zwarte układy urbanistyczne, z dużą powierzchnią terenu wolnego lub zajętego przez zabudowę niższą. Nie są zwykle narażone na zacienianie. Podobnie, jak w przypadku wysokich budynków korytarzowych, możliwości wykorzystania zieleni w otoczeniu do regulacji mikroklimatu są niewielkie.

W przeciwieństwie do innych omawianych wyżej typów zabudowy, plany budynków punktowych można kształtować tak, by minimalizować powierzchnię elewacji północnej na korzyść lepiej nasłonecznionych stron, np. przez zaokrąglone lub skośne linie rzutu. Nachylenie płaszczyzn pionowych ku słońcu jest możliwe jedynie na fragmentach wysokości.

Forma budynków punktowych ma korzystny współczynnik kształtu, jednak pogarsza się on wraz ze wzrostem wysokości. Potęguje się także niekorzystny efekt wychładzania budynku wiatrem na jego wyższych partiach.

2.4.2. Wnętrze budynku

Mieszkania budynków punktowych mogą być oświetlone światłem dziennym z dwóch stron, najczęściej z prostopadłych ścian zewnętrznych. Stwarza to dobre możliwości dla strefowania układu funkcjonalnego poszczególnych sekcji mieszkań i ich wentylowanie. Tworzy się korzystny dla dystrybucji ciepła i światła słonecznego, wyraźny układ strefowania funkcji całości budynku – pokoje po stronie zewnętrznej, a pomieszczenia obsługujące wokół wewnętrznego trzonu komunikacji.

Jedynie w części mieszkań budynków punktowych, tych o południowej ekspozycji, można zastosować struktury szklarniowe i jedynie na części obwodu, można wykorzystać płyty balkonowe do ochrony przeszkleń przed nadmiarem energii słonecznej. Obowiązują ograniczenia prawne do ich stosowania, opisane wyżej w rozdziale dotyczącym budynków korytarzowych.

2.4.3. Obudowa elewacyjna

Różnicowanie wielkości przeszkleń nie jest możliwe. Konieczne jest stosowanie dwóch różnych rodzajów systemów zacinających – dla elewacji południowej oraz dla elewacji wschodniej i zachodniej.

3. Przykłady

Przedstawione poniżej przykłady to budynki wielorodzinne różnych typów, które zaliczyć można do grupy budynków realizujących cele proekologiczne. Cele te skupiają się na ochronie środowiska (energooszczędność, odzysk wody, ograniczanie emisji szkodliwych substancji, racjonalne wykorzystanie surowców tworzących materiały budowlane, itp) oraz przyjazności dla człowieka (komfort użytkowania przestrzeni wokół budynków i we wnętrzach, humanizacja otoczenia, itp). Przykłady zostały opisane i przedstawione syntetycznie przez pryzmat zastosowanych rozwiązań proekologicznych w tym także tych, ukierunkowanych na pasywne zyski słoneczne.

Pierwsza grupa to przykłady europejskie, o klimacie nieodbiegającym znacznie od warunków klimatu polskiego. Druga grupa to przykłady polskie, które z racji niskiego poziomu wdrażania technologii proekologicznych w naszym kraju w stosunku do bardziej rozwiniętych krajów europejskich, posiadają skromniejszą paletę rozwiązań. Możliwości pasywnego wykorzystania energii słonecznej są w nich stosunkowo słabo wykorzystane.

3.1. Przykłady zagraniczne

BUDYNEK KLATKOWY, ekologiczna dzielnica Dijon

Lokalizacja: Dijon, Francja; projektant: EXP Architects; rok realizacji: 2010.



Il. 1. Ekologiczna dzielnica w Dijon, wizualizacja całości założenia (po lewej),
widok z ulicy (po prawej) [4]

Informacje ogólne:

Na osiedle składa się: trzysta jednostek mieszkalnych (budynki wielorodzinne, prywatne rezydencje i domy), dziewięć pracowni artystycznych, biura, sklepy, kiosk, domy kultury. Całość założenia przeznaczona jest w większości dla ruchu pieszych i rowerzystów.

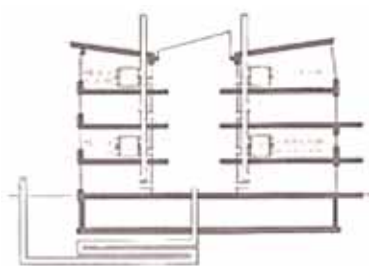
Rozwiązania proekologiczne:

- zabudowa szeregowa o zwartym, prostokątnym układzie,
- trakty wydłużone na osi wschód-zachód,
- otwarte przedpole budynku od strony zysków z nasłonecznienia (południe),
- maksymalizacja przeszkleń od stron nasłonecznionych, ograniczenie przegród transparentnych od północy,
- struktury szklarniowe od południa jako elementy pasywnego ogrzewania słonecznego,
- aktywne zyski z nasłonecznienia – kolektory i ogniwa fotowoltaiczne na dachu
- ochrona przed przegrzewaniem w porze letniej – elementy architektoniczne o funkcji zacieniającej: balkony, loggie, daszki; zewnętrzne ruchome systemy zacieniające,
- zwiększona termoizolacja przegród północnych,

- termiczne i świetlne strefowanie funkcji,
- wykorzystanie masy termicznej – masywne stropy,
- naturalna wentylacja pomieszczeń – wykorzystanie strategii wietrzenia nocnego oraz kominów wentylacyjnych,
- wysoka liściasta zieleń od południa w roli elementu zacieniającego,
- zieleń na elewacji oraz zielony dach – modyfikator parametrów powietrza,
- minimalizacja powierzchni utwardzonych wokół budynków.

BUDYNEK GALERIOWY, budynek mieszkalno-biurowy

Lokalizacja: Landshut (Niemcy); projektant: Bauderer, Feigl, Huber.



Il. 2. Budynek mieszkalno-biurowy w Landshut, fotografia od strony północnego skrzydła biurowego (po lewej), przekrój pionowy (po prawej) [16]

Informacje ogólne:

Budynek o funkcji mieszkalno-biurowej, wyraźnie podzielony na dwa skrzydła połączone przeszklonym atrium.

Rozwiązania proekologiczne:

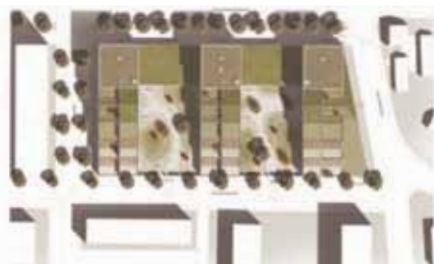
- zabudowa o zwartym, prostokątnym układzie,
- ukształtowanie i zorientowanie budynku na działce dostosowane do lokalnych warunków nasłonecznienia,
- atrium pełniące rolę bufora termicznego oraz części wspólnej – wejściowa przestrzeń łącząca strefę mieszkań ze strefą pracy,
- jednoraktowy układ mieszkań od południa,
- strefowanie termiczne i świetlne funkcji – mieszkania w południowym skrzydle, biura w północnym; mieszkania jednostronnie doświetlone o głębokich

traktach – strefa dzienna od strony nasłonecznionej, strefa wejściowa z kuchniami i łazienkami od strony galerii,

- dwustronne oświetlenie części biurowej światłem dziennym – naświetla od strony atrium,
- ochrona atrium przed przegrzewaniem w porze letniej – system wentylacji naturalnej (otwierane segmenty w dachu i elewacjach), wewnętrzne elementy zacieniające,
- szklenie o podwyższonej termoizolacyjności,
- pośrednie ogrzewanie przestrzeni atrialnej za pomocą zlokalizowanego pod przekryciem atrium zbiornika magazynującego ciepłą wodę (energia cieplna z instalacji kolektorów słonecznych),
- wykorzystanie energii promieniowania słonecznego do ogrzewania pomieszczeń – 45% zapotrzebowania na ciepłą wodę pokrywa instalacja kolektorów słonecznych zamontowanych na dachu budynku,
- wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła – indywidualne centrale wentylacyjne dla poszczególnych mieszkań z możliwością modyfikowania parametrów powietrza,
- gruntowy wymiennik ciepła,
- ogrzewanie budynku za pomocą kotła o łącznej mocy 60 kW, ograniczenie strat ciepła na przesyle – zcentralizowany system instalacji grzewczej o zminimalizowanej ilości i długości przewodów instalacyjnych (węzeł cieplny zlokalizowany na pierwszym piętrze w centralnej części budynku).

BUDYNEK KORYTARZOWY, osiedle mieszkaniowe

Lokalizacja: Cean, Francja; projektant: Olgga Architects; rok realizacji: 2010.



Il. 3. Osiedle mieszkaniowe w Cean, wizualizacja od strony południowej (po lewej), rzut sytuacyjny (po prawej) [12]

Informacje ogólne:

Budynek mieszkalny (100 lokali) z usługami w parterze. Certyfikaty: Effinergie dla budynków o niskim zużyciu energii, H&E poziom A.

Rozwiązania proekologiczne:

- ukształtowanie i zorientowanie budynku na działce dostosowane do lokalnych warunków nasłonecznienia,
- zapewnienie komfortowych warunków oświetlenia światłem naturalnym oraz możliwości czerpania pasywnych zysków z nasłonecznienia dzięki zastosowaniu tarasowego układu zabudowy,
- termiczne i świetlne strefowanie funkcji,
- trakty wydłużone na osi północ-południe – ograniczenie powierzchni ścian zewnętrznych od północy,
- ograniczenie powierzchni transparentnych od północy,
- umożliwienie naturalnej wentylacji mieszkań dzięki ograniczeniu głębokich traktów,
- elementy obudowy zewnętrznej o podwyższonej termoizolacyjności.

BUDYNEK PUNKTOWY, osiedle mieszkaniowe Wolfswinkel

Lokalizacja: Zurych, Szwajcaria; projektant: Egli Rohr Partner AG Dattwil; rok realizacji: 2007/2008.



Il. 4. Osiedle mieszkaniowe w Zurychu, widok na elewację wschodnią (po lewej), rzut kondygnacji powtarzalnej (po prawej) [3], fot. Hannes Henz

Informacje ogólne:

Osiedle składa się z siedmiu niskich budynków punktowych. Mieści 189 lokali mieszkalnych. W 2008 r. osiedle uzyskało szwajcarski certyfikat jakości MINERGIE nadawany nowoczesnym i energooszczędnym budynkom.

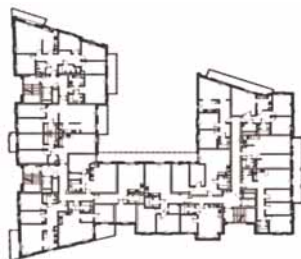
Rozwiązania proekologiczne:

- ukształtowanie i zorientowanie budynku na działce dostosowane do lokalnych warunków nasłonecznienia,
- trakty wydłużone na osi północ-południe
- strefowanie świetlne pomieszczeń (pokój dzienny i sypialnie od stron nasłonecznionych, pomieszczenia niewymagające dostępu światła w środku planu),
- uproszczenie układów funkcjonalnych (kuchnia jako część pokoju dziennego),
- elementy obudowy zewnętrznej o podwyższonej termoizolacyjności,
- ograniczenie przemysłowych strat ciepła (termoizolacja przewodów instalacyjnych),
- ogrzewanie z wykorzystaniem pompy ciepła oraz zasobników ciepła (w każdym budynku mieszkalnym),
- wysoka szczelność obudowy pomieszczeń,
- wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła o sprawności 90% (indywidualna instalacja dla poszczególnych mieszkań),
- ograniczenie wykorzystania wentylacji mechanicznej do okresu zimowego,
- naturalna wentylacja pomieszczeń latem (otwierane drzwi balkonowe, tarasy i okna),
- instalacja ogniw fotowoltaicznych o powierzchni 465 m² (sprzedaż energii do sieci miejskiej).

3.2. Przykłady polskie

BUDYNEK KLATKOWY, budynek wielorodzinny

Lokalizacja: Warszawa, ul. Krasińskiego 41, Polska; proj.: Galicki Sypniewski Architekci s. c.; rok realizacji: 2014



Il. 5. Budynek wielorodzinny MBJ 2030 w Warszawie, wizualizacja od strony południowo-wschodniej (po lewej), rzut kondygnacji powtarzalnej (po prawej) [9]

Informacje ogólne:

Budynek demonstracyjny projektu Miejski Budynek Jutra 2030 dofinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, kierowanego przez firmę Mostostal. Współpracujące jednostki naukowe: Instytut Techniki Budowlanej, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej oraz Instytut Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego. Celem projektu jest wyznaczanie standardów dla osiedli mieszkaniowych budowanych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Budynek liczy siedem kondygnacji nadziemnych i dwie kondygnacje podziemne. Na paterze zlokalizowano 6 lokali usługowych, na piętrach 70 lokali mieszkalnych. Piwnica to dwukondygnacyjny garaż na 106 stanowisk postojowych.

Rozwiązania proekologiczne:

- ochrona przed przegrzewaniem w porze letniej – elementy architektoniczne o funkcji zacieniającej: balkony, loggie, daszki, zewnętrzne ruchome systemy zacieniające,
- ograniczenie strat ciepła zimą – zwiększona termoizolacja przegród zewnętrznych,
- aktywne zyski z nasłonecznienia – kolektory słoneczne na dachu (pokrycie 25% zapotrzebowania na ciepło),
- energooszczędny system wentylacji – wentylacja hybrydowa,
- minimalizacja powierzchni utwardzonych wokół budynków,
- ograniczenie zużycia wody pitnej – oszczędna instalacja wodno-kanalizacyjna, magazynowanie wody deszczowej (spłukiwanie toalet, podlewanie trawników),
- oszczędność energii – zintegrowany system zarządzania budynkiem,
- ograniczenie zużycia energii w całym cyklu życia budynku.

BUDYNEK KORYTARZOWY, Osiedle Fi

Lokalizacja: Kraków, Polska; projektant: 22Architekci,; rok realizacji: 2013-2016.



Il. 6. Osiedle Fi w Krakowie, wizualizacja fragmentu (po lewej), rzut sytuacyjny (po środku), analiza nasłonecznienia (po prawej) [1,13]

Informacje ogólne:

Pionierskie osiedle zrównoważone w Krakowie. Pięć średniowysokich budynków mieszkalnych z usługami w parterach.

Rozwiązania proekologiczne:

- nacisk na wykorzystanie naturalnych materiałów budowlanych,
- elementy obudowy zewnętrznej o podwyższonej termoizolacyjności (izolacyjność termiczna ścian siedmiokrotnie wyższa od normatywnej, energooszczędne trójszybowe okna),
- optymalny układ budynków na działce zapewniający komfortowe warunki nasłonecznienia pomieszczeń,
- trakty wydłużone na osi północ-południe i wschód-zachód,
- klatki schodowe projektowane od północy lub w wewnętrznych narożach budynku,
- brak mieszkań jednostronnie doświetlonych od północy,
- strefowanie świetlne pomieszczeń (pokój dzienny i sypialnie od stron nasłonecznionych, pomieszczenia niewymagające dostępu światła w środku planu),
- uproszczenie układów funkcjonalnych (kuchnia jako część pokoju dziennego),
- zapewnienie komfortowych warunków oświetlenia wewnątrz światłem naturalnym – duże okna umożliwiające także pasywne czerpanie z energii słonecznej,
- instalacja ogniw fotowoltaicznych wykorzystywana do zasilania oświetlenia części wspólnych,

- system gromadzenia wody deszczowej wykorzystywanej do podlewania terenów zielonych,
- zwiększenie powierzchni biologicznej czynnej poprzez uwolnienie osiedla od ruchu samochodowego (parking podziemny).

BUDYNEK PUNKTOWY, Osiedle Klonowa Aleja

Lokalizacja: Warszawa, Polska; projektant: APA Wojciechowski Sp. z o. o.; rok realizacji: 2007/2009.



Il. 7. Osiedla Klonowa Aleja w Warszawie, wizualizacja całości założenia (po lewej), widok zielonego dachu z instalacją kolektorową (po prawej) [5,2]

Informacje ogólne:

Osiedle położone na warszawskim Targówku, w bezpośrednim sąsiedztwie Lasu Bródnowskiego. Zabudowę osiedla stanowi między innymi dziewięć niskich budynków mieszkalnych. Siedem z nich to czterokondygnacyjne punktowce. W parterze od strony ul. Św. Wincentego zlokalizowano usługi. Osiedle posiada garaż podziemny.

Rozwiązania proekologiczne:

- układ budynków na działce zapewniający komfortowe warunki nasłonecznienia mieszkań,
- wykorzystanie naturalnych materiałów budowlanych,
- ograniczenie strat ciepła zimą – elementy obudowy zewnętrznej o podwyższonej termoizolacyjności (oszczędność w opłatach za energię wynosząca 20%),
- strefowanie świetlne pomieszczeń (pokój dzienny i sypialnie od stron nasłonecznionych, pomieszczenia niewymagające dostępu światła w środku planu),

- uproszczenie układów funkcjonalnych (kuchnia jako część pokoju dziennego),
- wykorzystanie energii promieniowania słonecznego – instalacja 108 kolektorów słonecznych na dachach budynków wykorzystywana do produkcji ciepłej wody użytkowej,
- minimalizacja terenów utwardzonych – parking podziemny,
- zwiększenie powierzchni biologicznie czynnej – zielone dachy.

4. W poszukiwaniu rozwiązań optymalnych

Ze względu na swoją specyfikę, zabudowa wielorodzinna wymaga szczególnie starannego doboru pasywnych rozwiązań solarnych. Budownictwo biurowe oraz mieszkaniowe jednorodzinne, czyli najbardziej współcześnie zaawansowane we wdrażaniu tego rodzaju rozwiązań, nie stanowią właściwych, gotowych do powielania wzorców w tym zakresie. Wnętrza budynków wielorodzinnych są podzielone na wiele stosunkowo małych pomieszczeń. Grupowane są w sekcje mieszkaniowe, znacznie drobniejsze niż np. jednostki biurowe. Mniejsza jest zatem swoboda kształtowania formy budynku, jego struktury przestrzennej i układu funkcjonalnego. Istnieje także silna potrzeba indywidualizacji rozwiązań wnętrza, a wpływ na ich wybór jest ograniczony. Z tego powodu, w przypadku domów wielorodzinnych, nie sprawdzają się w praktyce takie rozwiązania słoneczne jak: ścisłe podporządkowanie formy budynku warunkom insolacji (zasada koperty słonecznej) czy scentralizowane struktury szklarniowe (atria, arkady słoneczne, wielkopowierzchniowe przeszklenia). Trudniej jest także wprowadzać systemy opierające się na automatycznym sterowaniu (np. systemy zacieniające lub automatycznie otwierane i zamykane okna) lub wpływające na układ i wygląd wnętrza (np. nie zasłonięte ściany akumulacyjne w pobliżu przeszkleń).

Tym niemniej można wyodrębnić grupę rozwiązań stwarzających możliwości pasywnego pozyskiwania energii słonecznej właściwych dla budynków wielorodzinnych. Należą do nich:

- optymalizacja układu zabudowy ze względu na ekspozycję słoneczną i działanie wiatru – maksymalizacja powierzchni elewacji nasłonecznionych, unikanie samozacieniania zabudowy, zapewnienie odległości między budynkami umożliwiających przepływ wiatru, osłanianie przed wychładzającymi wiatrami;
- wykorzystanie zieleni niskiej i wysokiej lub zbiorników wodnych do regulacji mikroklimatu w bezpośrednim sąsiedztwie budynku (zacienianie i chłodzenie latem, regulacja wilgotności, ochrona przed wiatrem);
- dążenie do zwartych form;

- optymalizacja formy budynku w przekroju pionowym – np. przez pochylanie, zakrzywienie, uskoki ścian, formowanie dachu;
- kształtowanie tzw. profilu elewacji od strony południowej tak, by zacieniać przeszklenia w porach letnich (płyty balkonowe, galerie, gzymsy, inne);
- strefowanie funkcji w ramach jednostek mieszkalnych;
- wprowadzanie struktur szklarniowych dostosowanych skalą do jednostek mieszkalnych od południa,
- wykorzystanie masy termicznej budynku;
- zróżnicowanie wielkości okien i parametrów szklenia na elewacjach w zależności od warunków ich nasłonecznienia;
- wprowadzanie zewnętrznych systemów zacieniających dostosowanych do warunków insolacji elewacji.

Możliwości wprowadzania tych rozwiązań są różne dla różnych typów budynków wielorodzinnych (tab. 1). Przeprowadzona analiza wykazała, że z punktu widzenia możliwości pasywnego pozyskiwania energii słonecznej, najwłaściwsze jest stosowanie pasmowych układów zabudowy klatkowej ukierunkowanych na osi wschód-zachód. Pozwalają one na wykorzystanie najpełniejszej palety rozwiązań: np. właściwego strefowania układu funkcjonalnego, wprowadzenie struktur szklarniowych na elewacji południowej, racjonalnego doboru wielkości przeszkleń. Położenie budynku klatkowego na osi północ-południe nie daje takich możliwości, choć jego niewątpliwą zaletą jest brak wydłużonych, narażonych na największe przemarzanie elewacji północnych.

Jako średnio korzystny dla możliwości pasywnego pozyskiwania energii słonecznej można uznać typ zabudowy punktowej. Choć ma najbardziej zwartą formę, a więc traci najmniej ciepła, ma stosunkowo małą powierzchnię elewacji południowej, a przy znacznych wysokościach narażony jest na wychładzanie wiatrem. Można jednak optymalizować jego projekt przez celowe formowanie budynku (np. kształtowaniu planu wg zasady koperty słonecznej), zapewnieniu dwustronnego doświetlenia mieszkań, strefowaniu ich funkcji, właściwe dobranym rozwiązaniom elewacyjnym.

Budynki galeriowe, to rzadko spotykany typ zabudowy wielorodzinnej w Polsce. Ich możliwości w zakresie zastosowania rozwiązań słonecznych są średnie. Korzystniejsze jest sytuowanie budynków tego rodzaju na osi wschód-zachód, z galeriami od północy, gdyż w takim położeniu, nasłonecznienie mieszkań jest najmniej ograniczone. Częściowe lub całkowite zabudowanie

galerii może korzystnie ochronić mieszkania przed przemarzaniem, ale jednocześnie pogarsza możliwości ich przewietrzania.

Budynki korytarzowe nie są właściwym typem zabudowy ze względu na możliwości pasywnego wykorzystania energii słonecznej. Ustawienie na osi wschód-zachód pozwala na wprowadzanie struktur szklarniowych, ale nieuniknione jest wówczas projektowanie jednostronnych mieszkań północnych. Położenie na osi północ-południe zrównuje standard nasłonecznienia mieszkań po obu stronach korytarza, ale nie jest on wysoki. Jednostronne mieszkania od wschodu i zachodu są słabo wentylowane i trudno je ochronić przed przegrzewaniem letnim.

Tabela 1. Możliwości i ograniczenia różnych typów zabudowy wielorodzinnej w zakresie wprowadzania pasywnych rozwiązań słonecznych.

Budynki klatkowe		
		
	na osi wschód-zachód (klatka od północy)	na osi północ-południe
zalety	• maksymalizacja elewacji południowej • dość zwarta bryła • dobrze doświetlone i wentylowane mieszkania • możliwość wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • możliwość strefowania termicznego i świetlnego mieszkań • możliwość wykorzystania balkonów jako elementów zacieniających przeszklenia od południa • możliwość zróżnicowania wielkości okien • możliwość projektowania mieszkań jednostronnych od południa	• minimalizacja powierzchni elewacji północnej • dość zwarta bryła • dość dobrze doświetlone i wentylowane mieszkania, równomierne nasłonecznienie • dość duża swoboda projektowania układów mieszkań, możliwość projektowania mieszkań jednostronnych,
wady	• duża powierzchnia elewacji północnej (straty energetyczne) • możliwość wystąpienia efektu <i>mixing loss</i> • brak możliwości projektowania mieszkań jednostronnych od północy • niebezpieczeństwo przegrzewania pomieszczeń latem po stronie południowej (konieczność zastosowania systemów zacieniających)	• brak możliwości wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • brak możliwości strefowania termicznego i świetlnego mieszkań • brak możliwości wykorzystania balkonów jako elementów zacieniających przeszklenia, konieczność wprowadzania zewnętrznych systemów zacieniających • brak możliwości zróżnicowania wielkości okien

Tabela 1. cd.

Budynki galeriowe		
		
	na oś wschód-zachód (galeria od północy)	na oś północ-południe (galeria od wschodu)
zalety	• maksymalizacja elewacji południowej • dość zwarta bryła • wykorzystanie galerii jako ochrony przed przemarzaniem mieszkań od północy (częściowe lub całkowite osłonięcie galerii) • możliwość wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • możliwość strefowania termicznego i świetlnego mieszkań • możliwość wykorzystania balkonów jako elementów zacieniających przeszklenia od południa • możliwość zróżnicowania wielkości okien	• dość zwarta bryła • wykorzystanie galerii jako bufora termicznego – przy wprowadzeniu jej przeszklenia
wady	• duża powierzchnia elewacji północnej (straty energetyczne) • jednostronne doświetlenie mieszkań, mała swoboda projektowania układu funkcjonalnego, mało ekonomiczne wykorzystanie działki (jeden trakt mieszkań) • niebezpieczeństwo przegrzewania pomieszczeń latem po stronie południowej (konieczność zastosowania systemów zacieniających)	• brak możliwości wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • jednostronne doświetlenie mieszkań, mała swoboda projektowania układu funkcjonalnego, mało ekonomiczne wykorzystanie działki • słabe oświetlenie mieszkań światłem dziennym i ich wentylacja, ryzyko przegrzewania latem • brak możliwości wykorzystania balkonów jako elementów zacieniających (konieczne systemy zewnętrzne)
Budynki korytarzowe		
		
	na oś wschód-zachód (klatki od północy)	na oś północ-południe
zalety	• maksymalizacja powierzchni elewacji południowej • dość zwarta bryła • możliwość wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • możliwość wykorzystania balkonów jako elementów zacieniających przeszklenia od południa	• minimalizacja powierzchni elewacji północnej • dość zwarta bryła • mieszkania, równomierne nasłonecznienie po obu stronach korytarza

Tabela 1. cd.

wady	• duża powierzchnia elewacji północnej (straty energetyczne) • jednostronne doświetlenie mieszkań, słaba wentylacja • nieuniknione są jednostronne mieszkania od północy, duże różnice standardów mieszkań po obu stronach korytarza • niebezpieczeństwo przegrzewania pomieszczeń latem po stronie południowej (konieczność zastosowania systemów zacienniających) • brak możliwości zróżnicowania wielkości okien	• brak możliwości wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • jednostronne doświetlenie mieszkań, słaba wentylacja • brak możliwości wykorzystania balkonów jako elementów zacienniających przeszklenia, konieczność wprowadzania zewnętrznych systemów zacienniających • brak możliwości zróżnicowania wielkości okien
Budynki punktowe		
		
zalety	• zwarta bryła, możliwość minimalizacji elewacji północnej i maksymalizacji południowej przez uformowanie planu • możliwość wprowadzenia struktur szklarniowych od południa • możliwość strefowania termicznego i świetlnego części mieszkań • możliwość wykorzystania balkonów jako elementów zacienniających przeszklenia od południa • możliwość zróżnicowania wielkości okien	
wady	• część mieszkań jednostronnie doświetlonych, średnie warunki nasłonecznienia i przewietrzania • wychładzanie wiatrem budynków wysokich, duże straty ciepła (mała powierzchnia rzutu w stosunku do powierzchni elewacji i dachu) • konieczność stosowania różnych rodzajów systemów zacienniających	

5. Podsumowanie

W porównaniu z budownictwem biurowym, inwestycje mieszkaniowe podlegają większym ograniczeniom ekonomicznym, a przyszli użytkownicy mieszkań mają znacznie mniejsze możliwości dyktowania warunków deweloperom niż najemcy biur. Deweloperzy wznoszący budynki wielorodzinne w Polsce nie konkurują jeszcze między sobą takimi elementami jak certyfikaty proekologiczne, czy rzetelnie oszacowane koszty przyszłej eksploatacji budynku. Z czasem, w miarę wzrostu cen energii dostarczanej i świadomości klientów, sytuacja ta może się zmieniać. Tym niemniej, jak wykazano w tym rozdziale, specyfika budownictwa wielorodzinnego ogranicza możli-

wości wykorzystania rozwiązań pasywnie pozyskujących energię słoneczną w stosunku np. do budynków biurowych czy mieszkalnych jednorodzinnych. Obniżanie zapotrzebowania budynków wielorodzinnych na energię najłatwiej obecnie realizować za pomocą rozwiązań materiałowych minimalizujących straty energetyczne (wysokie właściwości termoizolacyjne przegród i przeszkleń, racjonalne powierzchnie przeszkleń), oszczędnych systemów grzewczych i wentylacyjnych, odzysk ciepła. W przyszłości, w miarę tanienia technologii większego znaczenia mogą nabrać systemy aktywnie pozyskujące energię słoneczną (kolektory słoneczne, ogniwa fotowoltaiczne), choć w przypadku funkcji mieszkalnej trudno osiągnąć zgodność dobowych krzywych popytu na energię i jej podaży.

Spośród rozważanych tu rozwiązań zwiększających możliwości pasywnego pozyskiwania energii, największe znaczenie wydaje się mieć dobór właściwego typu i układu przestrzennego budynku, jego rozmieszczenie względem stron świata, otaczającej zabudowy i zieleni, właściwe rozplanowanie funkcjonalne, dobór wielkości przeszkleń i ochrona przed okresowymi nadwyżkami energii słonecznej (masa termiczna, zacienianie). Są to proste, tradycyjne działania projektowe, które mają swoją genezę w historii architektury i składają się na dobrą praktykę projektową. Obecnie mogą zostać wsparte technologią dotyczącą projektowania np. przez programy symulacyjne umożliwiające optymalizowanie rozwiązań na podstawie przesłanek naukowych. Dostępne obecnie i wciąż rozwijające się technologie materiałowe, konstrukcyjne i instalacyjne pozwalają efektywniej pozyskiwać energię słoneczną i gospodarować nią na potrzeby budynku. Konieczne jest jednak ustawienie tych problemów jako istotnych dla inwestycji na różnych etapach jej powstawania – planowania przestrzennego, tworzenia ekonomicznych i programowych założeń inwestycji deweloperskich, projektowania urbanistycznego i architektonicznego, tworzenia projektów branżowych, budowania świadomości proekologicznej przyszłych mieszkańców. Spójność i konsekwencja tych działań tworzy właściwą podstawę, by maksymalnie wykorzystać możliwości pozyskiwania energii słonecznej w budynkach wielorodzinnych.

Bibliografia

- [1] 22Architekci-oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://www.22architekci.pl/index.php?/portfolio/rzemieslnicza/>

- [2] APA Wojciechowski Sp. z o.o.- oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, http://www.apa.com.pl/5_projekty/38_mieszkaniowe/79_klonowa_aleja_osiedle_domow_wielorodzinnych.html
- [3] Egli Rohr Partner AG Architekten BSA SIA - oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://www.erp-architekten.ch/wohnbauten.html?dtl=25>
- [4] EXP Architects- oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://www.exp-architectes.com/portfolio-item/dijon-21/>
- [5] Grupa Formacja- oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://www.formacja.pl/portfolio/projekt/31>
- [6] Hausladen G., De Sladanha M., Liedl P., Sager Ch., *Climate Design*, Birkhauser, Basel, Boston, Berlin, 2005.
- [7] Hausladen G., Saldanha M., Liedl P., *Climate Skin*, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin 2006
- [8] Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., *Energy Manual. Sustainable Architecture*, Birkhauser, Basel, Boston, Berlin, 2008.
- [9] Krasieńskiego 41 - oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://www.krasinskiego41.pl/Products.aspx>
- [10] Laskowski L., *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2008
- [11] Marchwiński J., *Naturalne chłodzenie domów mieszkalnych ze strukturami szklarniowym*, 2008, on line, dostęp 10 czerwca 2013, <http://www.klimatyzacja.pl/klimatyzacja/naturalne-chlodzenie-domow-mieszkalnych-ze-strukturami-szklarniowym>
- [12] Olga Architects- oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://olgga.fr/projects/caen>
- [13] Osiedle Fi – oficjalna strona internetowa, on line, dostęp 13 października 2015, <http://osiedlefi.pl/pl/osiedle-fi/plan-osiedla>
- [14] Ryńska E., *Bioklimatyka a forma architektoniczna*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2001.
- [15] Schittich Ch., *Solar Architecture*, Birkhauser Edition Detail, Basel, Boston, Berlin 2006.
- [16] Tectone architectes+RFR Eléments+RFR, *Habitat pluriel dense et activités Terre et temporalités*, on line, dostęp 13 października 2015, http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/tectone_projet.pdf
- [17] Wehle-Strzelecka S., *Architektura słoneczna w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym*, Politechnika Krakowska, Kraków 2004
- [18] Zielonko – Jung K., Marchwiński J., *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2012.
- [19] Zielonko-Jung K., *Kształtowanie architektury ekologicznej w strukturze miasta*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 2013.

PASSIVE SOLAR MEASURES IN MULTIFAMILY RESIDENTIAL BUILDINGS

One of the biggest challenges of contemporary architecture is increasing the ability to use solar power. From an architect's point of view passive solar measures are the most important as they concern the fundamental design decisions like: shape of the building, location of the building, functional layout, window size and location, the placing of large glazed structures, detail and building surrounding design. The scope for implementation of those measures in buildings depends on various factors. One of the most important is the building's purpose, which implies a number of conditions relevant to the „action” of solar solutions.

This chapter concerns multifamily residential architecture. The aim of the study is to analyze the applicability of passive solar solutions in various types of multifamily housing. The analysis covers basic types: staircase building, corridor building, gallery building and point block. A scope of implementation of various groups of solutions has been set for each type. This approach allows three main groups of solutions to be distinguished, based on conditions. These concern: the relationship of the building and its surrounding as well as its shape; the functional layout; the outer décor and facade. The fittings solutions were omitted due to their low impact on architectural decisions. The analysis presents contemporary examples of ecological multifamily residential architecture, in which an attempt was made to optimize the use of solar energy.

In the final part of the work synthesis considerations have been made as well as an overall assessment of the suitability of particular types of development in the implementation of passive solar solutions.

Janusz Marchwiński, Joanna Ruchała

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 7

SYSTEMY SŁONECZNE I WIATROWE W ARCHITEKTURZE BUDYNKÓW WYSOKOŚCIOWYCH

W rozdziale zostały przedstawione zagadnienia wprowadzania systemów słonecznych i wiatrowych w strukturę budynków wysokościowych, pod kątem ich wpływu na formę przestrzenną i elewacje budynku. Uwzględniono energetyczne i użytkowe aspekty związane z ich stosowaniem. Oszacowano ograniczenia i możliwości wykorzystania systemów słonecznych i wiatrowych w kontekście cech architektonicznych tych budynków jak i uwarunkowań lokalizacyjnych. Zaprezentowano koncepcję architektoniczną wysokościowego¹ budynku biurowego w Warszawie, w którym zastosowano, innowacyjne w skali kraju, rozwiązania i słoneczne i wiatrowe służące szeroko rozumianym celom proekologicznym w architekturze.

Współcześnie coraz wyraźniej zarysowuje się nurt wysokościowych budynków proekologicznych. Jakkolwiek można mieć wątpliwości, czy ten rodzaj budynków, z uwagi na ich skalę i związane z tym faktem konsekwencje energetyczno-użytkowe, w ogóle jest w stanie sprostać założeniom ekologicznym, tak nie podlega kwestii fakt, iż w ostatnich 20-30 latach nastąpiło zasadnicze przewartościowanie relacji pomiędzy budownictwem wysokościowym a środowiskiem naturalnym. Jak piszą Adam Z. Pawłowski i Ireneusz Cała „również z budynkiem wysokim kojarzone są działania proekologiczne, szczególnie oszczędność energii oraz tworzenie korzystnego dla człowieka mikroklimatu” [10]. Potwierdzają to coraz liczniejsze realizacje i koncepcje studialne obiektów o obniżonym zużyciu energii użytkowej, w których systemy słoneczne i wiatrowe odgrywają istotną rolę,

¹ W Polsce jako budynki wysokościowymi traktuje się obiekty o wysokości przekraczającej 55 m. Rozdział dotyczy jednak wyższych obiektów. Bardziej adekwatna jest tu klasyfikacja europejska, przyjmująca dolną granicę 90-100 m [10]

przy czym rola ta nie sprowadza się wyłącznie do obszaru energetycznego, mając swój przejaw w kształtowaniu form architektonicznych.

Na wykrystalizowanie nurtu budynków wysokościowych z wykorzystaniem energii i wiatru zwraca uwagę m.in. Katarzyna Zielonko-Jung, wskazując na charakterystyczne integrowanie budynków z turbinami wiatrowymi oraz wykorzystanie zjawisk aerodynamicznych w newralgicznych miejscach budynków wysokościowych [15]. Analogiczny wzrost zainteresowania dotyczy także stosowania technik słonecznych w budynkach wysokościowych, które sukcesywnie przenikają na ich grunt po doświadczeniach zebranych na budynkach niższych.

Powyższe, relatywnie nowe zjawisko wymaga przyjrzenia się, jakie możliwości, ale i problemy, stoją w najbliższym czasie przed projektantami budynków wysokościowych, ukierunkowanymi w stronę realizacji idei zrównoważonego rozwoju.

1. Systemy słoneczne i wiatrowe w architekturze

1.1. Pasywne systemy słoneczne

Ukształtowanie przestrzeni wewnętrznej jest istotnym elementem wpływającym na możliwości wykorzystania energii słonecznej w budynku bez stosowania w tym celu urządzeń technicznych. Możliwości takie dają rozwiązania tworzące pasywne systemy słoneczne. Terminem tym określa się zespoły elementów budowlanych, których ukształtowanie i zestawienie z innymi elementami oraz przestrzenią budynku, a także odpowiednie usytuowanie względem Słońca, tworzy układ mający na celu optymalne (dostosowane do aktualnych potrzeb użytkowych) wykorzystanie energii słonecznej do naturalnego klimatyzowania i oświetlenia przestrzeni wewnętrznej budynku lub jego fragmentu. W aspekcie wykorzystania energii słonecznej, jako źródła ciepła, rozwiązania te są dostosowane do kontrolowanego wykorzystania efektu szklarniowego oraz magazynowania i rozprowadzania uzyskanego ciepła w przestrzeni wewnętrznej, bez potrzeby doprowadzania w tym celu energii spoza układu. Przestrzeń wewnętrzna jest ośrodkiem warunkującym magazynowanie, przepływ i rozdział pozyskanej energii cieplnej, wpływając na kształtowanie mikroklimatu wnętrza. Stanowi ponadto ośrodek rozprowadzania światła słonecznego, implikujący jakość środowiska wizualnego budynku.

Systemy te są zatem skorelowane z kształtowaniem przestrzennym – bryłą, orientacją i układem przestrzenno-funkcjonalnym budynku.

Do rozwiązań mogących tworzyć pasywny system słoneczny należą m. in.: struktury szklarniowe (atria, szklarnie dobudowane, ogrody zimowe itp.), ściany kolektorowe, w tym przeszklone ściany dwupowłokowe, tzw. okna słoneczne oraz czerpnie i kominy słoneczne.

1.2. Aktywne systemy słoneczne

Aktywne systemy słoneczne są reprezentowane przez rozwiązania techniczno-instalacyjne przystosowane do konwersji energii promieniowania słonecznego na energię użytkową. Do najważniejszych instalacji słonecznych w budownictwie należy zaliczyć:

- instalacje kolektorów słonecznych służących przemianie energii słonecznej na energię ciepłą (konwersja fototermiczna);
- instalacje fotowoltaiczne (PV) służące przemianie energii słonecznej na energię elektryczną (konwersja fotowoltaiczna).

1.3. Systemy wiatrowe

Instalacje wiatrowe w postaci siłowni wiatrowych stanowią rozwiązania zamieniające energię kinetyczną wiatru na energię mechaniczną, która wykorzystywana jest do uzyskiwania użytkowej energii, głównie energii elektrycznej. Wielkościami charakteryzującymi siłownie wiatrowe są m.in. szybkobieżność silników wiatrowych, oś obrotu turbiny wiatrowej oraz moc użyteczna siłowni.

W budynkach lub w ich zespołach zastosowanie znajdują siłownie o małej mocy (od kilku do kilkuset kW), umieszczane w pobliżu budynku w postaci instalacji wolno stojącej o wysokości masztu w przedziale 1-15 m lub w obrębie budynku. Przeważają siłownie wiatrowe o poziomej osi obrotu, niemniej coraz większą popularność zyskują mniejsze, lecz za to lepiej adaptowalne, siłownie z osią pionową.

2. Możliwości i ograniczenia wykorzystania systemów słonecznych i wiatrowych w kształtowaniu formy architektonicznej budynków wysokościowych

Budownictwo wysokościowe cechuje się charakterystycznym i w wielu przypadkach odmiennym, w porównaniu do obiektów niższych, podejściem do projektowania. Ogólnie rzecz ujmując, struktura wysokościowa podlega

zwielokrotnionym siłom zewnętrznym oraz obciążeniom własnym, wymaga odmiennego podejścia do kształtowania funkcjonalno-przestrzennego, rośnie skala wymogów technicznych i technologicznych w zakresie bezpieczeństwa i komfortu użytkowania, co powoduje wysoki stopień skomplikowania budowlanego takich obiektów.

Odnosząc tę uproszczoną charakterystykę do specyfiki pasywnych systemów słonecznych, których funkcjonowanie opiera się na wykorzystaniu naturalnych zjawisk fizycznych przez odpowiednie ukształtowanie przestrzeni, dobór i zestawienie materiałowe, należy stwierdzić, że środowisko materialne budynków wysokościowych jest zasadniczo nieprzyjazne dla tych systemów.

W porównaniu z budynkami niższymi, rośnie rola systemów opartych na zyskach pośrednich, w tym odizolowanych. Systemy te służą pozyskiwaniu rozproszonego światła naturalnego oraz ciepła słonecznego, w których ciepło to jest czynnikiem pośrednio wpływającym na kształtowanie środowiska termicznego i służy na ogół do wspomagania systemów grzewczych oraz stymulowania cyrkulacji powietrza. W tym świetle relatywnie duże możliwości wiążą się ze stosowaniem struktur szklarniowych z zyskiem pośrednim w postaci przeszklonych atriów, ogrodów zimowych a także przeszklonych ścian dwupowłokowych. Rozwiązania te stanowią silnie zauważalny czynnik w kształtowaniu formy architektonicznej.

Pozostałe systemy pasywne mają ograniczone zastosowanie. Z uwagi na wysokość omawianych budynków, kominy i czerpnie słoneczne, które w budynkach niskich i średniowysokich spełniają swą rolę, jako dystrybutor ciepła i światła słonecznego na kierunku pionowym, w budownictwie wysokościowym są nieefektywne i tracą z reguły możliwość lub sens zastosowania.

Okna słoneczne w rozumieniu termofizycznym, tj. jako układ kolektorowy złożony z przegrody szklanej i pomieszczenia stanowiącego ośrodek magazynowania i rozprowadzenia ciepła [6], są na ogół rozwiązaniem niepożądanym, z uwagi na priorytet zapobiegania przegrzewaniu. Przeciwnie, w kontekście oświetlenia naturalnego, gdzie poprzez odpowiedni dobór elementów sterowania dopływem promieniowania słonecznego, parametrów szklenia oraz odpowiednią orientację okien i innych przegród szklanych, dąży się do maksymalnego wykorzystania światła naturalnego. Skutkuje to wpływem na kształt rzutu (wąskie trakty, orientacja w kierunku pd.) oraz rysunek i tektonikę (postać przestrzenną) elewacji.

Aktywne systemy słoneczne, jako rozwiązania instalacyjne cechują się większą elastycznością i niezależnością w zakresie integracji strukturalnej z budynkiem. Tu jednak też występują charakterystyczne ograniczenia. Do-

tyczy to zasadniczo systemów kolektorowych, których budowa w wielu przypadkach ogranicza ich zastosowanie do płaszczyzn dachowych. W tym przypadku należy podkreślić również ograniczenia natury technologicznej, wynikające z wydłużonej drogi przesyłu czynnika grzewczego, co redukuje wydajność systemu.

Znaczne możliwości wiązą się zastosowaniem systemów fotowoltaicznych zintegrowanych z architekturą budynku. Moduły PV mogą występować w postaci zarówno dachowych jak i elewacyjnych systemów okładzinowych, szkła fotowoltaicznego oraz systemów zacieniających.

Stosowanie systemów wiatrowych, jako zjawisko stosunkowo nowe, nie „odkryło” jeszcze prawdopodobnie w pełni możliwości integracji z architekturą budynku. Mariusz Filipowicz wskazuje na trzy zasadnicze koncepcje integracji siłowni wiatrowych z budynkiem, polegające na ich zastosowaniu [5]:

- pomiędzy budynkami jako dyfuzorami: wykorzystuje się tutaj efekt koncentracji prędkości wiatru przez budynki w największym miejscu pomiędzy budynkami;
- w kanale przechodzącym przez budynek: zwiększony przepływ powietrza wywołuje różnica ciśnień pomiędzy stroną wietrzną i zawietrzną;
- na dachu budynku: symulacje komputerowe pokazują ok. 30% zwiększenie prędkości wiatru kilka metrów nad dachem w porównaniu do przepływu bez obecności budynku.

Wszystkie z powyższych koncepcji znajdują zastosowanie w budownictwie wysokościowym, choć trzecia z nich nie zawsze musi oznaczać pełną integrację w rozumieniu architektonicznym.

Można przyjąć tezę, iż budynki wysokościowe są najlepiej przystosowane do tych zastosowań, zapewniając, przy założeniu umieszczania turbin na dużej wysokości, najlepsze warunki wiatrowe. Takie aplikacje też są silnym czynnikiem kształtowania form architektonicznych.

2.1. Kontekst lokalizacyjny

Kluczowe znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania omawianych systemów ma zapewnienie dogodnych warunków insolacyjnych i wiatrowych. Zagadnienie kontekstu lokalizacyjnego sprowadza się więc przede wszystkim do uwarunkowań klimatycznych i przekłada się na dobór działki, m.in. w kontekście jej kształtu i otoczenia.

Szczególną rolę odgrywa orientacja budynku, dyktowana na ogół kształtem działki. W przypadku systemów słonecznych dąży się do tworzenia planu budynków, tak by jak największa powierzchnia ich ścian elewacyjnych miała ekspozycję południową, lub przynajmniej „uciekała” od kierunku północnego, aczkolwiek dominacja elewacji zachodniej naraża obiekt na przegrzewanie.

Realizacja tego zamierzenia odbywa się przez zakrzywianie planów lub, o ile kształt działki pozwala, rozciąganie ich wzdłuż osi wschód-zachód z maksymalizacją elewacji południowej. Działanie to ma szczególne znaczenie w przypadku systemów pasywnych, które jako integralny element strukturalny budynku, silniej oddziałują na środowisko wewnętrzne i komfort użytkowania. Zabieg polegający na „uciekaniu” od kierunku północnego obserwujemy w budynku PZU Tower w Warszawie, w którym na całym obwodzie zastosowano przeszkloną ścianę dwupowłokową². Plan tego budynku zakrzywiono od strony północnej, nadając mu kształt półkola.

Pokrewnym problemem jest samozacienienie lub zacienienie budynku przez zabudowę otoczenia. Pierwszy z wymienionych nie jest problemem typowym dla budownictwa wysokościowego, gdyż dość często względy aerodynamiki decydują o projektowaniu brył zwartych, w tym opływowych. Drugi z kolei wiąże się z lokalizacją. Mimo że budynki wysokościowe są najmniej wrażliwe na znaczące, w skali całej kubatury, zacienianie, a bardziej same powodują ten efekt, to jednak mogą mu ulegać w gęstej wysokościowej zabudowie, która zresztą stanowi dość częste środowisko omawianych budynków. W warunkach tych funkcjonowanie systemów pasywnych jest utrudnione i nieprzewidywalne. Klaus Daniels zwraca uwagę na różnice nagrzewania elewacji zależne od wysokości. Różnice te sięgają 50°C [101], powodując przyrost parcia wiatru na elewacje i w efekcie przemarzanie budynku oraz trudności z wymianą powietrza. W warunkach zacienienia problem ten ulega spotęgowaniu.

Aktywne systemy słoneczne, podlegając analogicznym regułom, wykazują znacznie mniejszą zależność od warunków lokalizacyjnych. W przypadku systemów fotowoltaicznych ograniczenia w ich stosowaniu dotyczą praktycznie dolnych zacienionych partii elewacyjnych (tzw. poziom uliczny) oraz wyjątkowo niekorzystnych planów i sąsiedztwa działek, które utrudniają wytworzenie elewacji południowej. Innym natomiast, charakterystycznym ograniczeniem w budownictwie wysokościowym, może być zastosowanie modułów PV w postaci półek przeciwsłonecznych w górnych jego partiach, uniemożliwione

² Niedawno, z powodów technicznych, zewnętrzna powłoka została zdemontowana

przez wzrost obciążeń mechanicznych wywołanych parciem wiatru na powierzchnię instalacji.

Systemy wiatrowe wymagają wiatru o prędkości minimalnej ok. 4- 5 m/s. Wymóg ten stanowi zasadnicze ramy implikujące rozwiązania budynków z systemami wiatrowymi, w tym decyzje lokalizacyjne. Problem polega na nieprzewidywalności kierunków przepływu powietrza w gęstej zabudowie otoczenia [3], [15]. Jest on jeszcze większy przy dynamicznie zmieniającym się zagospodarowaniu przestrzennym, co zresztą jest typowe dla rozwijających się centralnych obszarów miast, w których budynki wysokościowe często są projektowane. Inny problem to kształt działki, który może implikować formę przestrzenną uniemożliwiającą zastosowanie turbin wiatrowych, wyeksponowanych na działanie przeważających wiatrów. W projekcie koncepcyjnym wysokościowego budynku biurowego przy ul. Towarowej w Warszawie, kształt działki niejako zdefiniował plan budynku, który nie pozwolił na racjonalne zastosowanie turbin wiatrowych od strony zachodniej, tj. z przeważającego kierunku oddziaływania wiatru w tym mieście [9]. Należy jednak zauważyć, że budynki stanowiące dominanty wysokościowe są najlepiej predystynowane do roli obiektów wykorzystujących energię wiatru w systemach wiatrowych, gdyż relatywnie najsłabiej podlegają zmiennym warunkom wiatrowym, jako efektowi działalności człowieka.

Omawiane zagadnienie wykracza poza aspekt klimatyczny. Dotyczy również zagadnień natury urbanistyczno-kompozycyjnej.

Wprowadzanie omawianych systemów może być skorelowane z poszanowaniem zasad kompozycji przestrzennej lub pozostawać z nią w konflikcie. Pierwszy przypadek obrazuje nowo powstający budynek wysokościowy Q22 w Warszawie. Jego forma przestrzenna korzystnie łagodzi kontrast wysokościowy ze znacznie niższym sąsiednim 16-kondygnacyjnym budynkiem mieszkalnym. Efekt ten uzyskano przez zaprojektowanie kubatury pośredniej, która w najbliższym sąsiedztwie budynku mieszkalnego przyjmuje zbliżoną do niego wysokość, rosnąc w kierunku głównej wieży wysokościowca. Wytworzona przeszklona połącz ma orientację południową, stwarzając idealne warunki insolacyjne dla przewidzianego tam systemu fotowoltaicznego (modułów PV typu szkło-szkło).

Konflikt z kolei obrazuje wspomniany budynek PZU Tower. Zakrzywienie planu umożliwiające uniknięcie elewacji o ekspozycji północnej, jakkolwiek zasadne z punktu widzenia użytkowo-energetycznego, nie koresponduje z kontekstem miejsca. Zakrzywienie to, o czym pisze K. Zielonko-Jung [15], byłoby w tym sensie bardziej zasadne od przeciwległej strony, tj. skrzyżowania ulic, podkreślając eksponowany narożnik działki.

Pokrewnym, acz osobnym zagadnieniem, jest zgodność nowoczesnego i technologicznego wizerunku, jaki wiąże się zastosowaniem omawianych systemów (zwłaszcza aktywnych systemów słonecznych i wiatrowych dużej skali) z kontekstem społeczno-kulturowym i historycznym. To obszerne zagadnienie wymaga oddzielnego opracowania, niemniej z dużym uproszczeniem można stwierdzić, że eksponowane systemy słoneczne i wiatrowe, definiujące formę architektoniczną budynku, mogą być nieadekwatne w zabudowie tradycyjnej i historycznej, zwłaszcza o silnie zindywidualizowanych cechach stylowych. Jak pisze Joanna Tymkiewicz, „w polskich realizacjach widać raczej tendencje do spokojnego wpisywania się w istniejący kontekst, szczególnie tam, gdzie architekt ma do czynienia z tkanką historyczną” [14].

2.2. Forma przestrzenna i elewacje

Forma przestrzenna budynku i jego elewacje są elementami, które pozostają w bezpośredniej relacji z czynnikami klimatycznymi otoczenia. Ich odpowiedni projekt jest zatem kluczowy w aspekcie wykorzystania energii słońca i wiatru. Są to też elementy, które determinują architekturę budynku.

Pośród wszystkich systemów słonecznych, struktury szklarniowe jako struktury wieloprzestrzenne, mogą stać się najsilniej zauważalnym składnikiem bryły i elewacji budynku. Mniej więcej od połowy lat 90. XX w. obserwuje się coraz wyraźniejszy proces przenikania tych struktur na grunt budownictwa wysokościowego. Niewątpliwym impulsem stała się realizacja budynku *Commerzbanku* we Frankfurcie nad Menem (arch. sir *Norman Foster*), w którym struktury szklarniowe, w postaci ogrodów zimowych, zostały rozmieszczone spiralnie na obwodzie rzutu. Rozwiązania te zdeterminowały formę przestrzenną budynku, wprowadzając charakterystyczne podziały bryłowe osadzone w narożnikowych trzonach komunikacyjnych. W połączeniu z centralnym atrium stały się głównym elementem strategii naturalnej wentylacji i oświetlenia. Architekt powtórzył pomysł w budynku *Swiss Re* w Londynie, tym razem wewnętrzne atrium zastępując trzonem techniczno-komunikacyjnym. Ogrody zimowe zostały umieszczone narożnikowo, lecz w odbiorze wizualnym elewacji są one bardziej dyskretne.

Powyższe rozwiązania reprezentują typ „wędrujących” ogrodów zimowych, charakterystyczny dla budynków wysokościowych. Inny spotykany rodzaj to struktury centralne, wzorem z tradycyjnych atriów półotwartych (z jedną lub dwiema szklanymi ścianami elewacyjnymi). Struktury te charakteryzują się

większą kubaturą i są odpowiedzialne za dopływ energii słonecznej do partii centralnych budynku. Silniej też oddziałują na bryłę i elewacje, mogą tworzyć, jak w budynku *City Gate* w *Düsseldorfie* (arch. *Petzinka, Pink & Partner*) charakterystyczny wizualny prześwit, bądź też niezależną strukturę scalającą poszczególne bryły budynku jak w obiekcie *Edgar Street Tower* w Nowym Jorku (arch. *IwamotoScott Architecture*).

Powyższe rozwiązania reprezentują struktury szklarniowe zintegrowane z budynkiem. Odpowiedniki szklarni przydomowych (struktury w układzie przylegającym) mają mniejszy potencjał zaistnienia.

Często obserwowanym rozwiązaniem w koncepcji ekologiczno-energetycznej budynku, jest łączenie wielkoprzestrzennych struktur szklarniowych z podwójnymi ścianami szklanymi. Ściany te najsilniej zakorzeniły się właśnie na gruncie budynków wysokościowych, funkcjonując jako przestrzeń cyrkulacji powietrza, bufor termiczny, a od stron nasłonecznionych – pasywny kolektor ciepła. Ich genezy należy jednak upatrywać w ochronie przed parciem wiatru. Ściany dwupowłokowe powodują uprzestrzennienie obrazu elewacji. Efekt ten jest wyraźny w przypadku tzw. elewacji niejednorodnych, gdzie obie płaszczyzny ścian są zróżnicowane wizualnie. Ściany jednorodne niekiedy nie przynoszą zamierzonego efektu. Próba urozmaicenia jednorodnej elewacji w budynku PZU Tower za pomocą zróżnicowania akcentów horyzontalnych i wertykalnych w jej podziale, nie powiodła się – zabieg ten pozostał prawie niezauważalny. Niewątpliwą jednak zaletą, nie tylko w sensie użytkowym, ale i estetycznym jest możliwość wykorzystania przestrzeni międzypowłokowej – stosowane w niej systemy zacieniające, podesty technologiczne itp. na ogół wzbogacają rysunek elewacji.

Pokrewną obserwowaną tendencją jest tworzenie drugiej „dynamicznej skóry” budynku. Rozwiązanie to, w specyficznych przypadkach, tworzy mobilną formę podwójnej elewacji szklanej. Na ogół może być traktowane jako rozbudowany system sterowania dopływem promieni słonecznych w ścianach z pojedynczą przegrodą szklaną, w tym oknami słonecznymi. Interesujące rozwiązania wprowadzono w dwóch bliźniaczych wieżach nowej siedziby Rady Inwestycyjnej w Abu Dhabi w Emiratach Arabskich (arch. *Aedas*). Elewacje pokryto mechanicznym systemem osłon okiennych w postaci ruchomych trójpalczastych przesłon, które w warunkach silnej insolacji rozwijają się. Przesłony te tworzą unikalną formę ochrony przed przegrzewaniem oraz regulują dostęp światła słonecznego, jednocześnie definiując orientálną estetykę elewacji [13].

Stosowanie tradycyjnych zewnętrznych osłon przeciwsłonecznych (żaluzje, rolety, *brisse-soleil* itp.) podlega ograniczeniom w partiach wyższych budynku – obciążenia poziome, powodowane parciem wiatru mogą stwarzać zagrożenie lub dyskomfort użytkowy oraz problemy techniczne.

Analogiczne ograniczenie wiąże się z tak zastosowanymi aktywnymi systemami słonecznymi, co dotyczy głównie modułów PV, gdyż kolektory słoneczne w tej postaci występują rzadko. Instalacje PV mogą jednak tworzyć składnik „drugiej skóry” budynku, zarówno w strukturach dynamicznych jak i w tradycyjnych przeszklonych ścianach dwupowłokowych.

Obserwuje się coraz liczniejsze aplikacje modułów PV na elewacji, zarówno w postaci okładzin elewacyjnych jak i szkła fotowoltaicznego. Ograniczenia, poza tymi powodowanymi przez zacienienie, samozacienienie lub niekorzystną orientację, mają charakter użytkowy – ogniwa PV jako elementy zmniejszające dopływ światła słonecznego są nieadekwatne w strefach doświetlających pomieszczenia o wysokich wymaganiach, dotyczących jakości środowiska świetlnego, a w szerszym kontekście – środowiska wizualnego. Ich najkorzystniejsze położenie sprowadza się do płaszczyzn bezokiennych, międzyokiennych w tym pasa czoła stropów oraz płaszczyzn przeszklonych, lecz nie mających zasadniczego wpływu na niematerialne środowisko wewnętrzne. Odmienność wizualna modułów PV względem innych materiałów elewacyjnych daje znaczne możliwości kreowania efektów plastyczno-malarskich (por. rozdz. 8), co w przypadku budynków wysokościowych, cechujących się dużymi powierzchniami elewacji, może mieć szczególną siłę oddziaływania. Systemy PV mogą też pozostać bardziej anonimowe, upodabniając się do tradycyjnych okładzin lub przegród szklanych.

Charakterystycznymi rozwiązaniami są bryły o ściętych połączeniach w kierunku południowym, tworzących powierzchnię o korzystnym nasłonecznieniu. Trudno w tym przypadku jednoznacznie wykazać wpływ zastosowania aktywnych systemów słonecznych na koncepcję bryłową, niemniej pomiędzy tak ukształtowaną bryłą a zastosowaniem systemów słonecznych występuje zgodność celów.

Coraz bardziej interesującym zjawiskiem staje się wpływ systemów wiatrowych na bryłę i, pośrednio, elewacje budynków. Przeważnie są to instalacje silnie eksponowane w sylwecie budynku wysokościowego. Systemy wiatrowe stosowane pomiędzy budynkami lub jego częściami jako dyfuzory są w aspekcie estetyczno-przestrzennym elementem spajającym te części. Wpływ ich zastosowania ma też charakter pośredni. W budynku *Bahrain World Tower* (arch. *Atkins*) umieszczenie pomiędzy dwiema jego wieżami turbin wiatrowych wymusiło konkretne

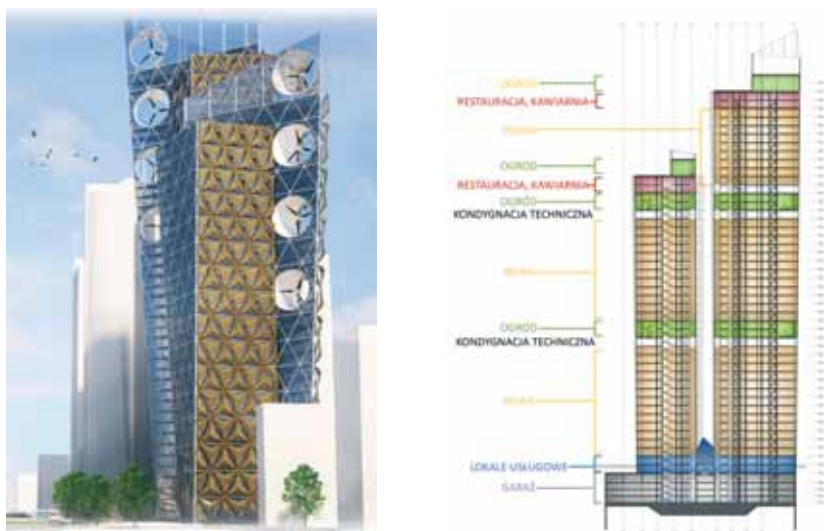
ukształtowanie przestrzenne wież w celu wytworzenia jak największych sił przepływu powietrza przez system wiatrowy.

W przypadku umieszczania turbin w kanale przechodzącym przez budynek, urządzenia te „dziurawią” budynek, wpływając na jego charakterystyczną postać przestrzenną, jak w budynku *Strata SE1* w Londynie (arch. *BFLS*) oraz niezrealizowanym Wieżowcu Gminy Żydowskiej w Warszawie.

W ostatnich latach krystalizuje się pokrewny nurt, w którym zamiast kanałów stosuje się wyprofilowane wąskie tunele. Geometria tuneli, gdzie montowane są turbiny, potęguje efekt ssania. Można tu mówić o bardziej powściągliwym podejściu do eksponowania turbin wiatrowych, gdyż są one ukryte lub nie tak widoczne jak turbiny kanałowe. Charakterystyczne tunele mają jednak wyraźny wpływ na ukształtowanie bryły i elewacji budynków, tworząc charakterystyczne wgłębienia horyzontalne jak w budynkach *Perl River Tower* w chińskim Kantonie (arch. *SOM*) czy wertykalne jak w budynku *Clean Technology Tower* w Chicago (arch. *Adrian Smith*).

3. Forma architektoniczna a użytkowanie budynku i jego „zachowanie” energetyczne – studium przypadku koncepcji budynku wysokościowego w Warszawie

Przedmiotem analizy jest projekt wysokościowego budynku biurowego położonego na działce o powierzchni 7040 m² w centrum Warszawy przy zbiegu ulic



Il. 1. Koncepcja budynku wysokościowego w Warszawie [11]

Prostej i Al. Jana Pawła II. Budynek składa się z dwóch wież o różnej wysokości. Wysokość całego kompleksu rośnie proporcjonalnie od 34 do 45 kondygnacji (il. 1).

W budynku na kondygnacjach 0 oraz -1 zlokalizowana została recepcja oraz pomieszczenia o charakterze usługowym ogólnodostępnym. W każdej z wież na poziomie kondygnacji 15. i 30. oraz ostatniej zaprojektowano strukturę szklarniową w postaci ogrodów zimowych, których zadaniem jest polepszenie warunków klimatycznych panujących wewnątrz budynku. Cała wewnętrzna przestrzeń zyskuje także wydźwięk społeczny dzięki przeznaczeniu tego miejsca na pracę, naukę, rekreację i nawiązywanie kontaktów interpersonalnych. W każdej z wież zaplanowano kawiarnię oraz restaurację (il. 1).

Ideą projektu było stworzenie architektury w nurcie ekologiczno-energetycznym, zakładając niskie koszty eksploatacji, ale także podwyższony komfort użytkowania przestrzeni wewnątrz budynku, tworząc w niej warunki maksymalnie zbliżone do naturalnych. W budynku przewidziano wykorzystanie nowoczesnych, odważnych technik na potrzeby rozwoju zrównoważonego budownictwa ekologicznego, w tym systemy wiatrowe i słoneczne. Oba rozwiązania o charakterze proekologicznym i energooszczędnym miały znaczący wpływ na formę architektoniczną budynku.

3.1. Koncepcja zastosowania systemu wiatrowego

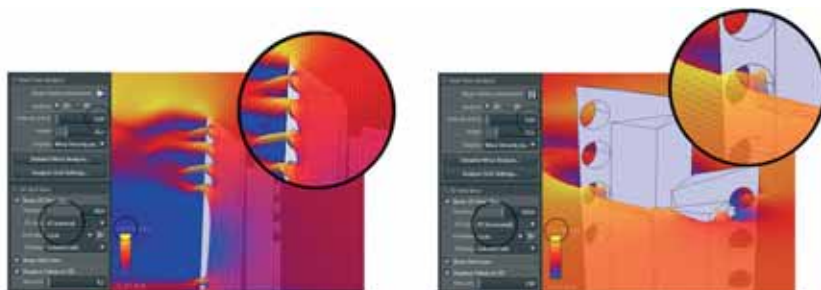
W Polsce nie istnieją jeszcze zrealizowane projekty budynków wysokościowych wykorzystujących systemy wiatrowe zintegrowane z budynkiem. Analizowany przykład to jedna z pierwszych propozycji wprowadzenia takich rozwiązań w kraju.

Obiekt wykorzystuje turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu – turbiny śmigłowe trójłopatowe. Budynek składa się z dwóch wież. Na każdej z wież zamontowane zostały 4 turbiny wiatrowe o różnej średnicy wirnika (od 13 m do 18 m) oraz mocy (od 30 kW do 80 kW). Łączna moc turbin wynosi 330 kW. W projekcie dodatkowo wprowadzono specjalnie ukształtowane otwory na turbiny wiatrowe, które pełnią funkcję dyfuzora. Poprzez takie rozwiązanie zwiększona została wydajność turbin o około trzy razy. Obie wieże bazują na podstawie zbliżonej do kwadratu. Kształt ten nieco zmodyfikowano poprzez wyciągnięcie wzdłuż przekątnej podstawy dwóch rogów wież, w celu umieszczenia w nich turbin wiatrowych. Budynek został również lekko skręcony w kierunku zachodnim w celu zlokalizowania otworów na turbiny dokładnie w kierunku wiatru, by jak najefektywniej wykorzystać jego ener-

gię. W tym wypadku niezbędna okazała się eliminacja formy prostokątnej na rzecz wprowadzenia form krzywoliniowych. W ten sposób budynek uzyskał dynamiczną formę, zoptymalizowaną ze względu na warunki wiatrowe, słoneczne oraz aerodynamiczne. Jednym z ważniejszych czynników, który został wzięty pod uwagę, były warunki wiatrowe panujące w Polsce, przede wszystkim dla rejonu działki. Warunki wiatrowe definiowane są przez prędkość wiatru, jego kierunek oraz rozkład sił w określonych kierunkach mierzony w różnych odstępach czasu, czyli powtarzalność. Jak już wcześniej wspomniano, turbina wiatrowa pracuje przy minimalnej prędkościach wiatru 4-5 m/s. Oznacza to, że przy wietrze o mniejszej prędkości jest ona automatycznie zatrzymywana (obecnie prowadzone są prace nad umożliwieniem pracy turbin w szerszym zakresie prędkości wiatru). Oczywiście prędkość wiatru decyduje o mocy turbiny (zależy od prędkości do trzeciej potęgi). Nawet niewielki wzrost średniej prędkości daje duży przyrost mocy i ilości wyprodukowanej energii. Średnia prędkość wiatru w Warszawie na poziomie 20 m nad poziomem gruntu wynosi 4,5-5 m/s, przy czym, im większa wysokość, tym prędkość wiatru większa. Turbina wiatrowa, która w strukturze budynku została umiejscowiona najniżej, znajduje się na wysokości ok. 80 m. Kolejnym parametrem charakteryzującym wiatr jest kierunek. Z róży wiatru dla Warszawy wynika, że w tej lokalizacji przeważa główny kierunek wiatru zachodniego i w tym kierunku zostały zamontowane turbiny. Rozwiązanie to byłoby niemożliwe, gdyby nie prostokątny kształt działki, której dłuższa krawędź zlokalizowana jest od strony zachodniej. Nie bez znaczenia była także forma oraz znacznie mniejsza wysokość pobliskiej zabudowy od strony zachodniej. Na wysokości powyżej 20 m przepływ powietrza nie jest już zakłócony przez otoczenie. Ostatnim parametrem charakteryzującym wiatr jest jego powtarzalność. W Polsce w ciągu roku jest około 8700 godzin wietrznych. Z ilości tej praktycznie może być wykorzystane około 92%. Z analizy wiatru dla tej działki wynika, że warunki są korzystne i sprzyjają takim inwestycjom.

Oprócz usytuowania budynku na działce w kierunku wiatru i utworzenia odpowiedniej formy przestrzennej budynku, w celu umiejscowienia turbin, w projekcie dodatkowo wprowadzono specjalnie ukształtowane otwory na te turbiny. Mają one kształt rury, w której występuje zmiana średnicy, dzięki czemu zwiększa się przepływ prędkości gazu. W zwężeniach gaz lub ciecz musi płynąć szybciej, aby taka sama masa ośrodka przeszła przez zwężenie. Żeby ośrodek mógł płynąć szybciej, musi zaistnieć siła przyspieszająca przepływ. Siła ta może po-

chodzić jedynie z różnicy ciśnień. Gdyby w zwężeniach panowało większe ciśnienie niż poza nimi, to ośrodek byłby hamowany, a nie przyspieszany. Zasada ta jest zawarta w prawie *Bernoulliego*. Dzięki takiemu rozwiązaniu wydajność turbiny zwiększona została ok. trzykrotnie, co obrazuje analiza oddziaływania wiatru na budynek oraz turbiny wiatrowe, wykonana za pomocą symulacji komputerowej w programie *Ecotect Wind Tunnel, Vasari* (il. 2).



Il. 2. Analiza wiatrowa budynku w programie *Ecotect Wind Tunnel, Vasari* [11]

Każda turbina wyposażona jest w wirnik składający się z trzech łopat zbudowanych z włókna szklanego wzmocnionego poliestrem. W piaście wirnika umieszczony jest serwo mechanizm pozwalający na ustawienie kąta nachylenia łopat (skoku). W celu obliczenia wydajności energetycznej wykorzystana została metoda nanogramów. Metoda ta zakłada, że rozkład występowania poszczególnych prędkości wiatru jest opisany modelem *Rayleigha*³. Obliczenia zostały dokonane dla każdej turbiny wiatrowej z osobna. Wynik sumujący wydajność energetyczną wszystkich ośmiu turbin wyniósł 2 769 912 kWh/rok, co jest równoznaczne z możliwością zaopatrzenia ok. 6870 komputerów w energię elektryczną w ciągu roku.

Na rzeczywiste efekty energetyczne na razie musimy jeszcze poczekać. Zyski energetyczne podane wyżej są szacunkowe i rozbieżność informacji może być znaczna.

Forma architektoniczna powyższej koncepcji w zdecydowanej mierze została zdominowana przez aplikację w strukturę budynku turbin wiatrowych. Ten czynnik zdefiniował bryłę budynku, która stała się narzędziem w dążeniu do uzyskania konkretnych korzyści – pozyskiwania energii.

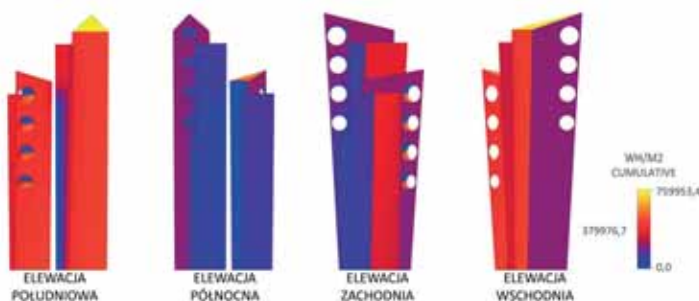
³ Rozkład Rayleigha jest szczególnym przypadkiem rozkładu Weibulla (rozkład prawdopodobieństwa), dzięki któremu można określić zmienność wiatru w ciągu roku.

Zastosowane systemy wiatrowe nie mają znaczącego wpływu na układ funkcjonalny budynku. Zlokalizowane są tak, aby nie ingerowały w sposób rozłożenia funkcji wewnątrz obiektu. Funkcjonalnie stanowią oddzielny element budynku. Należy jednak przewidzieć dostęp do poszczególnych turbin wiatrowych w celu umożliwienia ich konserwacji lub ewentualnej naprawy.

Ze względu na wibracje wywołane pracą turbin konstrukcja budynku musi zostać wzmocniona. Wciąż trwają badania nad poradeniem sobie z drganiami, co stanowi ogromne wyzwanie dla inżynierów i konstruktorów. Kontrolowanie wibracji wymaga starannego zaprojektowania obudów i systemów montażowych w celu odizolowania budynku od drgań. Im wyżej zlokalizowane są turbiny, w celu uniknięcia turbulentnego przepływu powietrza oraz zwiększenia wydajności turbiny, tym większe naprężenia przesyłane są do konstrukcji budynku, wywołując niepożądany rezonans harmoniczny.

3.2. Koncepcja zastosowania systemu słonecznego

Na najbardziej nasłonecznionych ścianach obiektu (południowych oraz zachodnich) zainstalowano powłokę typu „dynamiczna skóra” inspirowaną rozwiązaniem zastosowanym w budynkach Al Bahar Towers w Abu Dhabi (Zjednoczone Emiraty Arabskie). Powłoka reaguje na zmienne uwarunkowania insolacyjne i jest wyposażona w panele z wbudowanymi półprzeziernymi modułami PV. Dzięki temu rozwiązaniu możliwe jest zmniejszenie użycia klimatyzacji, ze względu na brak przegrzewania się pomieszczeń biurowych oraz wykorzystanie pobranej energii do celów eksploatacyjnych budynku. Decyzja, związana z faktem, które dokładnie ściany zostaną pokryte tą powłoką, jest uzasadniona wynikami analiz nasłonecznienia bryły budynku w ciągu roku. Analiz dokonano przy wykorzystaniu oprogramowania Auto-

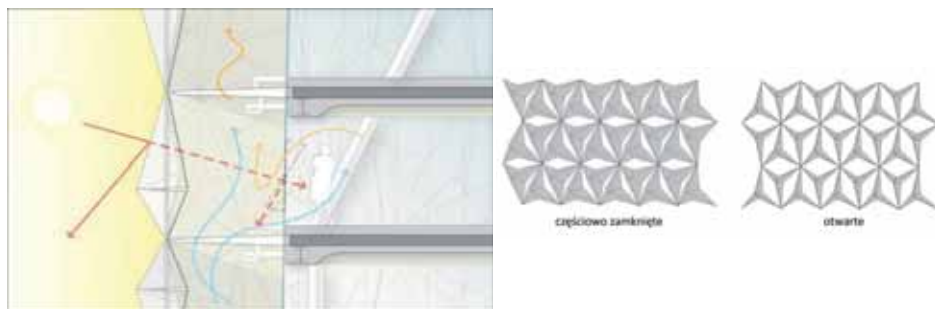


Il. 3. Analiza nasłonecznienia elewacji w ciągu roku [11]

desk Vasari, który posiada wbudowany moduł analizy energetycznej oraz zaawansowanego studium nasłonecznienia, dzięki czemu możliwe jest odczytanie danych związanych z kumulacją energii słonecznej na powierzchni modelu bryłowego. Koncepcja formy budynku poddana została symulacji nasłonecznienia dla całego roku (il. 3).

W celu optymalnego wykorzystania paneli, usytuowano je na ścianach, które w ciągu roku są najbardziej nasłonecznione. Pojedynczy panel w kształcie trójkąta równobocznego składa się z trzech głównych elementów, a każdy z nich dzieli się dodatkowo na pół, co umożliwia, w zależności od stopnia nasłonecznienia, otwieranie bądź zamykanie się paneli. Jeżeli słońce nagrzewa daną część elewacji panele otwierają się tworząc barierę ochronną przed nagrzewaniem pomieszczeń, jednocześnie wykorzystując pobraną energię przez moduły PV wbudowane w każdy panel na potrzeby eksploatacji budynku (il. 4).

Cała konstrukcja wymaga zastosowania elementów wspornikowych. Wsporniki są przytwierdzone od tyłu panelu struktury budynku. Wsporniki i ramy wsporcze dla paneli są wykorzystywane do przeprowadzenia okablowania w celu połączenia modułów PV między sobą oraz jako kanał służący przeprowadzeniu okablowania z zewnętrznej wiązki do wnętrza.



Il. 4. Schemat paneli słonecznych [11]

Panele, ze względu na swój charakterystyczny kształt oraz ilość, są wyraźnym elementem elewacji budynku. Ze względu, na to, że nie implikują całej bryły, można mówić o ich wpływie na postać przestrzenną elewacji, na której te panele z modułami PV zostały zastosowane. Usytuowanie ich w pewnym oddaleniu od płaszczyzny elewacyjnej tworzy trzeci wymiar tej płaszczyzny. Powłoka z modułami PV tworzy płaszczyznę pierwszoplanową, natomiast ściana zewnętrzna, do której są przytwierdzone panele staje się płaszczyzną na drugim planie. Kolejnym elementem wpływającym znacząco na kompozy-

cję elewacji jest możliwość sterowania poszczególnymi elementami, przez co kompozycja jest zmienna. Efekt zmienności obrazu elewacji ma na celu zwiększenie ilości promieniowania słonecznego padającego na moduł PV, jednocześnie tworząc bryłę bardziej dynamiczną i interaktywną. Powłoka z modułami PV zacieniającymi w omawianej koncepcji stała się cennym elementem, wzbogacającym architekturę budynku, tworząc płaszczyznę elewacyjną dynamiczną oraz ekspresyjną.

Obecność fasady PV nie ma większego wpływu na funkcję użytkową budynku. Panele są skonstruowane w taki sposób, żeby nie utrudniały kontaktu wzrokowego użytkownika z otoczeniem, gdyż jest on pożądanym, a także nie powodowały pogorszenia warunków oświetlenia wnętrza światłem naturalnym. Dzięki modułom PV zacieniającym możliwa jest ochrona przeciwsłoneczna pomieszczeń, czerpanie energii słonecznej, przy jednoczesnym zachowaniu bezpośredniego kontaktu wzrokowego z otoczeniem zewnętrznym.

Na kilku kondygnacjach przewidziano dwupoziomowe, horyzontalnie usytuowane struktury szklarniowe w postaci ogrodów zimowych, które użytkowane są w pełni przez cały rok. Pełnią dwie kluczowe role: w kształtowaniu funkcji użytkowej i estetycznej budynku oraz niematerialnego środowiska wewnętrznego. Oba aspekty wzajemnie się przenikają. W przyjętej koncepcji projektowej ogrody zimowe zostały zaprojektowane przede wszystkim w celu stworzenia dużej otwartej przestrzeni o charakterze publicznym. Tworzą one strefę rekreacji, wypoczynku oraz kultury poprzez możliwość wprowadzenia tymczasowych wystaw, ekspozycji czy cyklicznych wykładów. Mają służyć jako miejsce do wymiany spostrzeżeń wśród kadry pracowniczej, nawiązywania kontaktów interpersonalnych pomiędzy pracownikami oraz integrować personel z użytkownikami spoza budynku. W ten sposób obiekt staje się elementem struktury urbanistycznej, dzięki zachowaniu relacji pomiędzy otoczeniem a przestrzenią wewnętrzną. Całkowicie przeszklona elewacja budynku eksponuje ogrody zimowe z zewnątrz, powodując zwiększenie atrakcyjności wyglądu obiektu. Dodatkowo charakter estetyczny elewacji jest podkreślony przy nocnym oświetleniu, kiedy podział na strefy w bryle jest jeszcze bardziej wyraźny i komponuje się z tłem panoramy miasta. Kolejnym elementem są czynniki warunkujące komfort użytkowania obiektu. Wprowadzona zieleń ma za zadanie kształtować środowisko atmosferyczne, tak aby wytworzyć komfortowe, naturalne warunki mikroklimatyczne we wnętrzu obiektu.

5. Podsumowanie

Istnieją czytelne związki pomiędzy systemami wiatrowymi i słonecznymi a kształtowaniem architektury budynków wysokościowych. Najsilniejsze relacje występują w obszarze kształtowania elewacji budynku, a także, zwłaszcza w przypadku systemów wiatrowych – jego formy przestrzennej.

Przytoczone przykłady oraz analizowane studium przypadku potwierdzają, że podobnie jak w zabudowie niższej, kluczowym elementem są uwarunkowania lokalizacyjno-klimatyczne, implikujące potrzebę przemyślanego doboru działki już na etapie przedprojektowym.

W tabeli 1 określono relacje, tj. wzajemne zależności pomiędzy wybranymi systemami słonecznymi i wiatrowymi (m. in. ich sposobem zastosowania, rodzajem, funkcjonowaniem) a szeroko rozumianymi cechami architektury budynku, które z jednej strony mogą podlegać wpływowi zastosowania tych systemów, z drugiej zaś – same implikować ich aplikacje. Wzięto ponadto pod uwagę lokalizację budynku ocenianą przez pryzmat zagospodarowania przestrzennego otoczenia.

Tabela 1. Określenie relacji pomiędzy wybranymi systemami słonecznymi i wiatrowymi a architekturą budynków wysokościowych i ich lokalizacją
(● relacja silna; ○ relacja słaba; – brak relacji/ związki niebezpośrednie)
[opr. autorów]

	Cechy architektoniczne budynku i jego lokalizacja	Powłoka z modułami PV zacieniającymi	Ogrody zimowe	Turbiny wiatrowe
Lokalizacja i mikroskala urbanistyczna	Zagospodarowanie otoczenia budynku	●	–	●
	Orientacja budynku	●	○	●
	Plan budynku	○	–	○
Forma architektoniczna	Forma przestrzenna budynku	○	○	●
	Geometria płaska elewacji	●	●	●
	Uprzestrzennienie (tektonika) elewacji	●	–	–
	Efekty kolorystyczne	●	○	–
	Efekt zmienności obrazu	●	–	○
Inne	Komfort termiczny	●	●	–
	Komfort wizualny	●	●	–
	Układ funkcjonalny wnętrza	–	●	○
	Konstrukcja	○	●	●

Budynki wysokościowe z pewnością są i wciąż będą grupą obiektów, cechujących się dynamicznym rozwojem myśli technicznej, w tym nowymi koncepcjami zastosowań systemów słonecznych i wiatrowych. Wydaje się, że ten postęp, który przebiegał dotychczas głównie w obszarze materiałowo-konstrukcyjnym, obejmie z czasem coraz silniej technologie proekologiczne, w tym energooszczędne. Z punktu widzenia estetycznego, można przypuszczać, że będzie to skutkowało wzbogaceniem formy architektonicznej i odchodzeniem od anonimowości postmodernistycznego stylu międzynarodowego.

Do przezwyciężenia pozostają przede wszystkim problemy związane z kontrolą i lepszym dopasowaniem pracy urządzeń w zmiennych warunkach klimatycznych, co pozwoli na bardziej racjonalne i efektywne wykorzystanie systemów słonecznych i wiatrowych. Jak dowodzą wstępne analizy opisane-go w p. 3 budynku, zyski energetyczne mogą być pokaźne.

Osobnymi kwestiami związanymi z problematyką architektoniczną, które jedynie zasygnalizowano w opracowaniu, są związki systemów słonecznych i wiatrowych w kontekście kształtowania fizycznego i niematerialnego środowiska wewnętrznego. W przypadku integracji systemów wiatrowych, istotnym wyzwaniem jest neutralizacja negatywnych efektów przenoszenia obciążeń dynamicznych na ustrój konstrukcyjny budynku, a także zbadanie wpływu ich pracy na parametry środowiska akustycznego i atmosferycznego.

Bibliografia

- [1] Benyus J.: *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, William Morrow Paperbacks, New York 2002.
- [2] Bergman D.: *Sustainable Design: A Critical Guide for Architects and Interior, Lighting and Environmental Designers*, Princeton Architectural Press, New York 2012.
- [3] Daniels K.: *The Technology of Ecological Building*. Wyd. Birkhäuser, Basel-Boston-Berlin 1999.
- [4] Gogół W.: *Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych*, PAN, Warszawa 1993.
- [5] Filipowicz M.: *Małe turbiny wiatrowe*. Nafta i Gaz Biznes, 04/2004.
- [6] Laskowski L.: *Systemy biernego ogrzewania słonecznego. Zagadnienia funkcjonowania i efektywności energetycznej*. Warszawa 1993.
- [7] Marchwiński J.: *Fasady fotowoltaiczne. Technologia PV w architekturze*. Wyd. WSEiZ, Warszawa 2012.

- [8] Marchwiński J., Zielonko-Jung K.: Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2012.
- [9] Narloch P.: Zasady kształtowania formy architektonicznej budynku wysokościowego w Warszawie przy ul. Towarowej (praca magisterska pod kierunkiem W. Zabłockiego), WSEiZ, Warszawa 2013.
- [10] Pawłowski A.Z., Cała I.: Budynki wysokie. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2013.
- [11] Ruchała J.: Wysokościowy budynek biurowy przy zbiegu ul. Prostej i Al. Jana Pawła II w Warszawie (praca inżynierska pod kierunkiem J. Marchwińskiego), WSEiZ, Warszawa 2012.
- [12] Ryńska E.D.: Bioklimatyka a forma architektoniczna. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2001.
- [13] Shenyang Yuanda Aluminium Industry Engineering. Materiały informacyjne.
- [14] Tymkiewicz J.: Funkcje ścian zewnętrznych w aspektach badań jakościowych. Wpływ rozwiązań architektonicznych elewacji na kształtowanie jakości budynku. Wydawnictwo PŚ, Gliwice 2012.
- [15] Zielonko-Jung K.: Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2013.

SOLAR AND WIND SYSTEMS IN THE ARCHITECTURE OF HIGH-RISE BUILDINGS

The chapter discusses the issues of implementation of solar- and wind systems to the structure of high-rise buildings. The solar systems are divided in two groups: passive (atria, glass 3d structures, double glazed walls, solar windows etc.) and active (solar collector systems, photovoltaic systems).

The discussion refers to their impact on the spatial form and building facades. Energy and functional matters connected with application of the systems have been also included. Some restrictions of their use were estimated in context of architectural features of these buildings as well as locational determinants. An architectural concept of high-rise office building in Warsaw has been presented. The concept includes innovative -on a national scale - solar measures and building integrated wind turbines which aim to fulfil proecological targets in their wide sense.

Janusz Marchwiński

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 8

FOTOWOLTAIKA ZINTEGROWANA Z BUDYNKIEM (BIPV) W KONTEKŚCIE KSZTAŁTOWANIA FORM ARCHITEKTONICZNYCH

W rozdziale zostały przedstawione zagadnienia dotyczące integracji fotowoltaiki z architekturą oraz zanalizowany jej wpływ na kształtowanie bryły i elewacji budynku. Zaprezentowano autorską koncepcję demonstracyjnego budynku we Wrocławiu, w oparciu o którą wydobyto problemy wprowadzania modułów PV, wynikające z przesłanek użytkowych i lokalizacyjnych, jak również ich potencjał w kreowaniu funkcji estetycznej budynku.

Jedną z ważnych i perspektywicznych metod wykorzystania energii słonecznej, jako energii odnawialnej, redukującej energochłonność sektora budowlanego i wpisującej się w ideę zrównoważonego rozwoju, jest przetworzenie jej na energię elektryczną z wykorzystaniem ogniw fotowoltaicznych (PV). Szacuje się, że pokrycie ogniwami PV jedynie południowych elewacji budynków oraz ich dachów w krajach europejskich spowodowałoby zaspokojenie ponad 30% zapotrzebowania energetycznego kontynentu [16].

Jak stwierdza Henk Kaan, ze wszystkich technologii energetycznych, zespoły ogniw PV w postaci modułów PV są najlepiej dostosowane to integracji ich z budynkiem i architekturą. Elementy te, jako jedyne z wszystkich technologii OZE, mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych wyrobów budowlanych, łącząc w sobie tradycyjne cechy materiału budowlanego ze światem zaawansowanej technologii energetycznej i ochrony środowiska [4].

1. Zagadnienia integrowania fotowoltaiki z budynkiem i jego architekturą

1.1. Integracja budowlana i architektoniczna

Pojęcie fotowoltaiki zintegrowanej z budynkiem (BIPV) nie zostało dotychczas zdefiniowane jednoznacznie. Z punktu widzenia budowlanego oznacza integralność fizyczną, polegającą na zespoleniu fotowoltaiki (na ogół modułów PV) ze strukturą budynku. Z punktu widzenia architektonicznego oznacza zaś integrację estetyczną.

Do tej pory nie doszło do rozdzielenia pojęć integracji budowlanej i architektonicznej. Powszechnie funkcjonuje to pierwsze, jako obejmujące oba sposoby rozumienia terminu BIPV, niemniej istnieje wiele przykładów, w których brak dosłownej integralności fizycznej skutkuje interesującymi rozwiązaniami architektonicznymi i przeciwnie, zintegrowanie ze strukturą budynku, powoduje zaburzenie ładu architektonicznego.

Problem ten został podjęty przez grupę architektów w ramach projektu badawczego IEA PVPS (PV Power System) Task 7. Ostatecznie wyszczególniono trzy warunki, jakie powinny zostać spełnione, mówiąc o BIPV [14]:

- jakość techniczna systemu PV (np. falowników, okablowania),
- jakość budowlana systemu PV: moduły PV traktowane jako element budowlany (np. część dachu i fasady zastąpione modułami PV) – moduł PV i sposób jego zespolenia z budynkiem muszą spełnić typowe wymagania budowlane, jak odporność na wiatr, obciążenie śniegiem, szczelność itp.,
- jakość estetyczna systemu PV, jako najmniej wymierne kryterium oceny, niemniej istotne z punktu widzenia społecznej akceptowalności, a z punktu widzenia architektonicznego kryterium najistotniejsze.

Zarówno jakość techniczna jak i budowlana są warunkami wstępnymi, tzn. system musi działać jako urządzenie i zachowywać się jako element budowlany poprawnie, tj. zgodnie z normami, przepisami i oczekiwaniami użytkowymi. W odniesieniu do jakości estetycznej, sformułowano następujące zasady poprawnej integracji systemów PV z budynkiem [4],[14]:

- „naturalna” integracja, tj. gdy system PV wydaje się stanowić spójną część koncepcji architektonicznej,
- wysoka jakość architektoniczna projektu BIPV: system PV zwiększa walory estetyczne budynku (jest to najbardziej subiektywne kryterium),

- właściwa kompozycja kolorystyczna i materiałowa – barwa i tekstura odpowiednio dobrane względem innych materiałów wykończeniowych,
- wymiary modułów PV, które wpisują się w ogólną koncepcję kompozycyjną (rytmy, podziały, ideowe siatki modularne, proporcje itp.) oraz skalę budynku,
- dopasowanie systemu PV do charakteru budynku (np. cech stylowych),
- wyrafinowanie techniczno-budowlane: nie chodzi tu o jakość budowlaną, lecz elegancję rozwiązań, dbałość o detal, racjonalność i umiar w zastosowaniu materiału,
- innowacyjność projektu BIPV.

Tjerk Reijenga wskazuje 5 poziomów integracji architektonicznej systemu PV [14]:

- zastosowanie niewidoczne: nie wpływa na percepcję architektury lub wpływ ten jest niewielki np. system PV ukryty na dachu lub harmonijnie i dyskretnie wkomponowany,
- dodanie do projektu: system PV zintegrowany z niewielką częścią budynku i nie determinujący wizerunku architektonicznego,
- uzupełnienie architektoniczne wizerunku budynku: system PV korzystnie zintegrowany z całym projektem, lecz nie determinujący wizerunku architektonicznego (np. w budynku historycznym),
- kształtowanie architektury budynku: system PV determinuje jakość architektoniczną budynku, jest istotnym elementem jego funkcji estetycznej,
- zastosowanie systemu PV, jako czynnika kreującego innowacyjną i holistyczną koncepcję architektoniczną.

1.2. Rozwój technologii PV w kierunku integracji architektonicznej

Rozwój technologii PV zwrócony w stronę zwiększenia możliwości aplikacyjnych w budynku w kontekście kształtowania jego formy architektonicznej, przebiega w następujących, powiązanych ze sobą, obszarach:

- rozwój technologii ogniw PV i modułów PV w zakresie wzrostu palety kolorystycznej, teksturowej, przezierności, kształtów 2d, kształtów 3d,
- rozwój modułów PV i akcesoriów do elastycznego montażu w obrębie lub sąsiedztwie obudowy budynków.

Cechy wizualne ogniw PV i modułów z nich zbudowanych determinowane są technologią ogniw PV, którą, w omawianym aspekcie, można podzielić na dwie zasadnicze kategorie:

- technologia ogniw grubowarstwowych, reprezentowana w budownictwie przez ogniwa krzemowe monokrystaliczne (m-Si) i polikrystaliczne (p-Si),
- technologia ogniw cienkowarstwowych, reprezentowana w budownictwie m.in. przez ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) oraz z CdTe i CdS oraz CIS.

W tabeli 1 dokonano zestawienia porównawczego ogniw PV i modułów PV obu kategorii w zakresie ich cech wizualnych.

Tabela 1. Zestawienie porównawcze cech wizualnych ogniw PV i modułów PV w zależności od ich technologii
[opr. autora na podst. [1], [2], [5], [7], [9], [10], [11], [15], [16]]

	Ogniwa grubowarstwowe	Ogniwa cienkowarstwowe
kolorystyka	Ogniwa m-Si: czarny, szary, niebieski Ogniwa p-Si: niebieski granatowy Zwiększenie palety barw modułów PV odbywa się przez różnicowanie grubości powłoki antyrefleksyjnej; popularne barwy: brązowy, czerwony, żółty, zielony	Ogniwa CIS i CdTE: czarne-ciemnobrązowe Ogniwa a-Si: czarne, rdzawe Zwiększenie palety barw modułów PV odbywa się przez stosowanie barwionych powłok laminacyjnych: kolorystyka nieograniczona
faktura	Ogniwa m-Si: jednorodna Ogniwa p-Si: niejednorodna połyskliwa z drobnymi kryształkami Moduły PV – widoczna metalowa siatka łącząca ogniwa PV Tworzenie grafik przez rozsuwanie ogniw PV w obrębie modułów	Ogniwa i moduły PV – jednorodne gładkie Moduły PV: Tworzenie nieograniczonej palety wzorów graficznych przez: – nakładanie powłok laminacyjnych o określonych wzorach – laserowe nacinanie ogniw PV
przezierność	Ogniwa PV: brak Moduły PV – częściowa przezierność uzyskiwana przez rozsuwanie ogniw PV	Ogniwa PV (do 50%) Moduły PV: zastosowanie ogniw częściowo przeziernych; nacinanie laserowe ogniw
kształt płaski	Ogniwa PV: kwadrat (rzadziej okrąg) Moduły PV: ograniczony: prostokąt, rzadziej kwadrat i trójkąt	Nieograniczony
kształt przestrzenny	Brak możliwości kształtowania 3d	Nieograniczony

Choć z uwagi na niższe koszty produkcji i większą elastyczność zastosowań BIPV oraz mniejszą wrażliwość na wysokie temperatury, technologia ogniw cienkowarstwowych uznawana jest za przyszłościową, to technologia ogniw grubowarstwowych obecnie zdecydowanie dominuje na rynku fotowoltaicznym oraz cechuje się wciąż wyższą sprawnością ogniw PV.

Obok opisanych podstawowych rozwiązań, trwają badania nad innowacyjnymi produktami BIPV, wśród których, do najbardziej interesujących architektonicznie, należy zaliczyć:

- ogniwa PV uczulane barwnikiem (*dye-solar cells*): są to ogniwa wykorzystujące proces fotochemiczny, w których stosuje się płynny elektrolit oraz barwniki nieorganiczne lub organiczne – szczególną zaletą jest nieograniczona paleta barw ogniw PV, a także mniejsza wrażliwość na warunki temperaturowe; wadą zaś relatywnie mała sprawność, żywotność i ograniczoność aplikacyjna z uwagi na płynny elektrolit [2],[15],[16],
- ogniwa PV sferyczne i 3d (*spherical*): są to ogniwa półprzezroczyste zbudowane z krzemowych kuleczek o średnicy ok. 1 mm, zdolne do pochłaniania promieniowania rozproszonego (mniej czułe na zacinienie) [16].

Rozwój technologiczno-materiałowy ogniw PV staje się czynnikiem napędzającym rozwój modułów PV i ich akcesoriów jako komponentów BIPV. W chwili obecnej można wskazać trzy podstawowe grupy modułów PV przystosowane do integracji architektoniczno-budowlanej:

- moduły PV okładzinowe elewacyjne i dachowe: uzupełnienie lub alternatywa dla tradycyjnych komponentów okładzinowych, takich jak klinkier, kamień elewacyjny, dachówka itd.,
- moduły PV jako szklany element obudowy budynku (tzw. szkło fotowoltaiczne): uzupełnienie lub alternatywa dla okien, szklanych ścian osłonowych (w tym spandrelli), szklanych przekryć dachowych, świetlików itd.,
- moduły PV na stelażu przestrzennym, w postaci zwieńczeń dachowych, element ochrony przeciwsłonecznej w obrębie dachu i elewacji, moduły te występują w postaci elementów stałych lub mobilnych wyposażonych w systemy nadążne.

Rozwiązania te skłaniają do analizy ich wpływu na formę architektoniczną budynku.

2. Wpływ technologii PV na kształtowanie form przestrzennych budynków

Zasadniczo uznaje się, że moduły PV jako elementy zewnętrznej obudowy budynku, nie wywierają bezpośredniego wpływu na jego formę przestrzenną. Jako takie, w skali całego budynku, pozbawione są w odbiorze wizualnym trzeciego wymiaru, w związku z czym ich zastosowanie nie może powodować

zmiany kształtu przestrzennego. Z kolei elementy ich konstrukcji wsporczej, choć powodują uprzestrzennienie zewnętrznej instalacji PV, mają raczej wpływ na postać przestrzenną elewacji niż samą bryłę (por. p. 3.1).

Omawiane zagadnienie wymaga spojrzenia systemowego. Spojrzenie to koncentruje się na wydobyciu tego, co leży u źródeł kształtowania form przestrzennych budynków z systemami PV. Źródeł tych należy z kolei dopatrywać się w założeniu, że istotą stosowania fotowoltaiki w budynkach jest kontekst energetyczny, tj. stworzenie optymalnych warunków pracy modułów PV poprzez eliminację ich zacienienia, orientację względem stron świata oraz nachylenie względem padania promieni słonecznych. W naszych warunkach geograficznych za najbardziej korzystną, w aspekcie maksymalizacji generowania energii elektrycznej, uznaje się orientację południową i nachylenie ok. 30 stopni do horyzontu. Analogiczne ustawienie wertykalne powoduje straty rzędu ok. 30%, zaś w płaszczyźnie poziomej – ok. 10%. Ponadto każde odchylenie od południa, to kolejne straty od kilku do kilkudziesięciu procent, które rosną wraz z oddalaniem się od tego kierunku [1],[7].

W tym świetle zatem, można mówić o pośrednim wpływie zastosowania modułów PV na formę przestrzenną budynku, który polega na ukształtowaniu planu budynku oraz nachyleniu i kształtowaniu geometrii jego przegród zewnętrznych pod kątem maksymalizacji zysków energetycznych. Prowadzi to do tworzenia różnorodnych form przestrzennych – często dynamicznych, ekspresyjnych, kreujących znaczenia semiotyczne nowoczesności i zaawansowanej technologii. Innym razem są to formy proste, nie wyróżniające się, a dopiero ich analiza pozwala na wydobycie wpływu zastosowania modułów PV. Do powszechnie obserwowanych rozwiązań, ilustrujących pośredni wpływ modułów PV na formę przestrzenną należy zaliczyć [7]:

- pochylenie fasad PV w kierunku „do budynku” (np. w biurowcu Doxford Int. Solar Office, Sunderland),
- zakrzywianie łukowe i łamane profilu fasady PV (np. w fabryce Solar Cell Plant, Gelsenkirchen),
- pochylenie i zakrzywianie płaszczyzn dachowych (np. tworzenie dachów piłastych ze świetlikami szedowymi o odpowiednim nachyleniu połaci pd.),
- tworzenie planów rozciągniętych na osi w-z w celu zwiększenia powierzchni elewacji pd.,
- zakrzywianie planów budynku w kierunku południowym,
- tworzenie form eliminujących ryzyko samozacienienia elewacji z modułami PV (m. in. form zwartych).

3. Wpływ technologii PV na kształtowanie elewacji i dachów

3.1. Postać przestrzenna

W sytuacji, gdy zastosowanie modułów PV wiąże się z nadaniem obudowie budynku (elewacjom, dachom) cech trójwymiarowych, można mówić o wpływie ich zastosowania na postać przestrzenną obudowy budynku.

Wpływ ten obrazują dwa zasadnicze rozwiązania [7]:

- zastosowanie modułów PV na stelażu przestrzennym, pokrywającym całą lub znaczną część obudowy budynku (czwarty i piąty poziom integracji BIPV wg Reijengi – por. p. 1.1.),
- zastosowanie ogniw/modułów PV w ścianie dwupowłokowej.

Pierwsze z wymienionych rozwiązań wywiera wpływ bezpośredni, gdyż uprzestrzennienie elewacji bądź dachu kreowane jest przez cechy fizyczne modułów PV i ich konstrukcji. W przypadku elewacji, najsilniejszy wpływ wywierają moduły PV w postaci listew zacieśniających, osadzonych na niezależnym od konstrukcji budynku – stelażu konstrukcyjnym, który nadaje im odpowiedni kąt nachylenia. Stelaż sam też niekiedy odsunięty jest od ściany zewnętrznej budynku, definiując nową geometrię fragmentu budynku (np. w biurowcu Itoman City Hall na Okinawie). Tworzenie planu pierwszego (moduły + stelaż) oraz drugiego (ściana zewnętrzna) powoduje wrażenie uprzestrzennienia elewacji.

Analogiczne rozwiązania cechują kształtowanie dachu – w tym przypadku jednak nie zawsze mamy do czynienia z modułami PV w roli elementów zacieśniających. Dość często obserwowanym zabiegiem jest tworzenie przestrzennych zwieńczeń dachowych, niezależnych od geometrii dachu właściwego. Innym zobrazowaniem omawianego wpływu są gęsto osadzone moduły PV położone na dachu, które kreują przestrzenny obraz piątej elewacji. Należy zwrócić uwagę, że w tym przypadku, mimo iż nie można mówić o fizycznej integracji BIPV, to niewątpliwie wpływ takich rozwiązań na funkcję estetyczną uprawnia do postrzegania modułów PV jako elementu idei BIPV w rozumieniu architektonicznym.

Uprzestrzennienie elewacji poprzez zastosowanie ścian dwupowłokowych zintegrowanych z modułami PV należy postrzegać w kategoriach wpływu pośredniego. Wiąże się z zastosowaniem modułów PV w postaci szkła fotowoltaicznego i wynika po części z przesłanek technologiczno-energetycznych.

Międzypowłokowa pustka powietrzna stanowi kanał cyrkulacyjny, pozwalający na schładzanie tylnej płaszczyzny modułów PV, co zwiększa ich sprawność, a jednocześnie pozwala wykorzystywać energię ciepłą do celów użytkowych budynku (m.in. bierne ogrzewanie słoneczne)[6].

3.2. Kompozycja geometryczna

Kompozycja geometryczna obudowy budynku, kreowana przez moduły PV jest zagadnieniem obszernym, niemniej zasadniczo sprowadza się do podziałów przestrzennych, płaszczyznowych i linearnych [7]:

- podziały przestrzenne: tworzone są przez elewacyjne (rzadziej dachowe) moduły PV w roli elementów zacieniających,
- podziały płaszczyznowe: powstają na ogół przez zastosowanie elewacyjnych okładzinowych modułów PV lub szkła fotowoltaicznego, tworzących wizualnie odrębny pas elewacyjny (np. międzyokienny); wpływ ten jest tym silniejszy, im większa jest odrębność wizualna modułów PV,
- podziały linearne: wytwarzane są przez krawędzie styczne sąsiadujących ze sobą modułów PV w obrębie obudowy budynku, tworząc na ogół siatkę linii poziomych i pionowych na elewacji; najsilniejszy wpływ wywierają moduły PV ramowe o silnie eksponowanych wizualnie ramach.

Potencjał estetyczny fotowoltaiki w omawianym aspekcie tkwi w fakcie, że kompozycja geometryczna obudowy budynku, szczególnie elewacji, może być kształtowana przez równoczesne wprowadzanie wszystkich wspomnianych podziałów, a także wynikowo, tworzenie regularnych bądź nieregularnych rytmów, celowych zaburzeń poziomych i pionowych kierunków siatki kompozycyjnej, zakończeń elewacyjnych, wprowadzanie hierarchizacji i kierunkowości podziałów, świadome zamazywanie lub podkreślanie skali człowieka.

3.3. Efekty plastyczne

Dążenie do integracji estetycznej technologii fotowoltaicznej z architekturą (por. p. 1.2.) skutkuje coraz większymi możliwościami tworzenia efektów plastycznych z jej udziałem w obrębie obudowy budynku. Z uwagi na silniejszą percepcję, omawiany wpływ dotyczy głównie elewacji budynków, aczkolwiek analogicznie może odnosić się również do dachów. Efekt plastyczny zależy od technologii oraz budowy ogniw PV/modułów PV (tab. 1) i ich pod-

zespołów. Omawiane zagadnienie jest złożone, gdyż paleta rozwiązań plastycznych jest nieograniczona, niemniej każde rozwiązanie opiera się, łącznie lub alternatywnie, na posługiwaniu się trzema zasadniczymi elementami artystycznymi: barwą, fakturą i „grą” światłocieni. W tym kontekście, w znacznym uproszczeniu, można wyróżnić następujące grupy rozwiązań elewacji PV:

- elewacje jednobarwne jednorodne (technologie ogniw cienkowarstwowych i grubowarstwowych) oraz niejednorodne (moduły z ogniw p-Si), których ekspresja wyraża się metalicznym lśniąącym wyglądem,
- elewacje jednobarwne z eksponowanym kolorystycznie podziałem (moduły PV ramowe),
- elewacje wielobarwne uzyskane z zestawienia modułów PV o różnych barwach, tworzące rodzaj kolorowej mozaiki (ogniwa PV grubowarstwowe lub moduły PV wielobarwne z ogniw w technologii cienkowarstwowej),
- elewacje wielobarwne oraz tworzące rodzaj kolorowej grafiki (np. napisy), uzyskane z indywidualnych wielobarwnych modułów PV (moduły złożone z wielobarwnych ogniw PV w technologii grubowarstwowej),
- elewacje z grafiką „punktową”, uzyskaną przez rozstawienie ogniw PV (często zróżnicowane) w modułach PV (ogniwa m-Si lub p-Si),
- elewacje wielobarwne uzyskane przez zestawienie modułów PV z innymi technologiami (np. oświetleniem LED),
- elewacje o różnym stopniu przezierności (zróżnicowanie fakturalne) modułów PV (technologia ogniw cienkowarstwowych lub mieszanie technologii),
- elewacje przestrzenne, w których elementem funkcji estetycznej jest „gra światłocieni” (moduły PV z przestrzenną konstrukcją wsporczą, podwójne niejednorodne elewacje szklane wyposażone w szkło PV z rozsuniętymi ogniwami PV m-Si lub p-Si),
- elewacje stanowiące połączenie wybranych ww. rozwiązań.

3.4. Dynamika obrazu elewacji

Efekt zmienności obrazu powodują instalacje PV wyposażone w urządzenia nadążne (ruchome). Ma to na ogół związek z systemowymi rozwiązaniami modułów PV w roli elementów zacieniających, zastosowanych w obrębie elewacji. Zmiana ich położenia jest wynikiem podążania za pozornym ruchem słońca, co ma na celu zwiększenie pozyskiwania energii promieniowania słonecznego i skuteczniejszą ochroną przeciwsłoneczną budynku.

4. Koncepcja budynku demonstracyjnego *Solar-copper house* we Wrocławiu

Budynek nazwany *Solar-copper house* ma być obiektem demonstracyjnym, ukazującym możliwości integracji technologii OZE z budownictwem i architekturą (ponadto potencjału wykorzystania miedzi jako ekologicznego, szlachetnego materiału budowlanego). Integracja ta ma dwa zasadnicze cele: stworzenie budynku niskoenergetycznego oraz wykreowanie nowoczesnej architektury o silnej konotacji z ekologią oraz oszczędnością energetyczną. Głównym środkiem realizacji tych celów stało się wdrożenie technik i rozwiązań słonecznych z główną rolą technologii fotowoltaicznej.

Zasadnicze założenia projektowe sformułowano następująco:

- budynek o obniżonym zużyciu energii operacyjnej, służący promowaniu technologii proekologicznych opartych na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii, ze szczególnym uwzględnieniem technologii PV,
- obiekt z przeznaczeniem na funkcje biurowe i promocyjne dla ok. 10 użytkowników stałych (pow. ok. 200-250m²),
- rozwiązania proekologiczne jako integralny składnik awangardowej architektury budynku, wpisującej się w hasło „Wrocław – stolicą innowacyjności technologicznej”,
- jak najlepsze wyeksponowanie wizualne budynku oraz dostępność dla osób postronnych, jako istotne składniki marketingowej strony przedsięwzięcia.

4.1. Forma architektoniczna a uwarunkowania zewnętrzne

Do opracowania koncepcji projektowej przystąpiono na etapie poszukiwań przez Inwestora odpowiedniej działki pod projekt. To pozwoliło na sformułowanie ogólnych wytycznych lokalizacyjnych, odnośnie do cech samej działki, jak i jej otoczenia, które określiłyby uwarunkowania korzystne w aspekcie spełnienia wspomnianych założeń projektowych. Wytyczne te sformułowano następująco:

- zapewnienie nieograniczonego nasłonecznienia od strony południowej, brak stałych przeszkód powodujących zacienienie od tej strony,
- zalecany kształt na planie rozciągniętym wzdłuż osi wschód-zachód, uzasadniający stworzenie wydłużonej elewacji południowej,
- dogodne połączenie komunikacyjne działki z otoczeniem,
- prestiżowa lokalizacja, dobra ekspozycja widokowa, zwłaszcza od strony południowej.

Zainteresowanie inwestorów wzbudziła¹ działka zlokalizowana w samym sercu miasta na zachód od Mostu Pomorskiego. Wyjątkowy walor działki polega na tym, że jest ona położona bezpośrednio przy nabrzeżu Odry, granicząc z rzeką od strony południowej.

Lokalizacja taka daje gwarancję pełnej ekspozycji słonecznej elewacji południowej, jednocześnie zapewniając możliwość nieograniczonej obserwacji budynku z drugiej strony rzeki. Niekwestionowana zaleta wynika ponadto z faktu, że przeciwny brzeg rzeki graniczy ze Starym Miastem, co pozwala zakładać dużą liczbę obserwatorów.

Wybór miejsca jest też korzystny w aspekcie cech samej działki. Jest ona płaska, pozbawiona zabudowy, rozciągnięta na osi wschód-zachód. Dojazd odbywa się od strony wschodniej, nie kolidując z południową jej częścią. Działka cechuje się odczuwalną hierarchicznością stref w zależności od orientacji – zgodnie z wytycznymi, reprezentacyjny front znajduje się od południa, zaś słabo eksponowany tył – od północy. Jediną niedogodność z punktu widzenia wykorzystania energii słonecznej stanowi drzewo liściaste o rozłożystej koronie, które koliduje z koncepcją zastosowania technologii PV i musi zostać usunięte.



Il. 1. Rozpatrywana działka (oznaczona czerwoną linią) na tle miasta [Google Earth]

Koncepcję opracowano w dwóch wariantach, które różnią się podejściem do kształtowania formy architektonicznej, implikowanej zastosowaniem technologii PV. Odwołując się do poziomów integracji fotowoltaiki

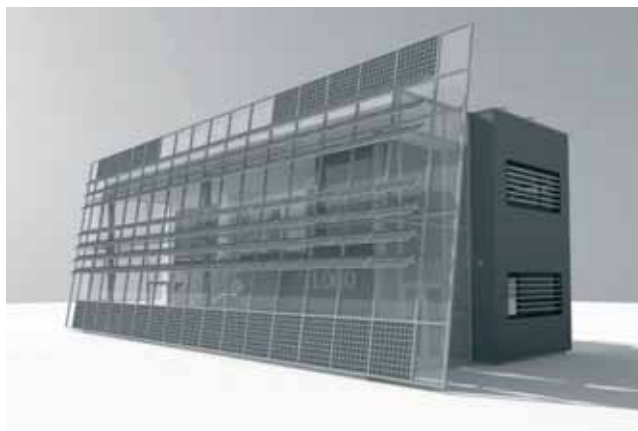
¹ W chwili pisania rozdziału, lokalizacja była nadal przedmiotem rozważań

z architekturą wg Reijengi, oba warianty zakładają integrację na poziomie piątym, tj. nadanie wiodącej roli technologii fotowoltaicznej w tworzeniu wizerunku architektonicznego budynku. Rola ta została jednak wydobyta w skrajnie inny sposób.

Pierwotny wariant inspirowany architekturą budynku Solar Fabrik we Freiburgu, nawiązywał do *nurtu high-tech*, w którym elementy technologii (tu głównie moduły PV i ich konstrukcja) są silnie eksponowane i kreują industrialny, technologiczny obraz budynku. W ten sposób chciano wytworzyć konotacje z nowoczesną technologią ekologiczną. Dynamiczna i zrytmizowana forma przestrzenna o silnej ekspresji stała się nie tylko artystycznym środkiem wyrazu, ale również została zoptymalizowana w kontekście biernego i czynnego wykorzystania energii słonecznej, a aspekt energetyczny stał się kluczowym czynnikiem ją kształtującym.

Wariant ten został odrzucony. Weryfikatorem proponowanych w nim rozwiązań projektowych stał się historyczny kontekst miejsca. Zestawienie industrialnej, technologicznej formy architektonicznej z historyczną i tradycyjną zabudową otoczenia wykazało zbyt dużą odmiennosć formalno-estetyczną. Mimo dążenia do wyraźnego zindywidualizowania architektury projektowanego budynku, jego *high-techowski* charakter uznano za zbyt „brutalny” i niekorzystujący z substancją budowlaną otoczenia, zarówno w sensie estetyczno-architektonicznym jak i urbanistyczno-kompozycyjnym.

Wariant drugi, który stał się przedmiotem dalszych działań projektowych, zakłada wydobywanie potencjału technologii PV w kreowaniu efektów plastyczno-malarskich. Forma przestrzenna została „uspokojona”, elewacje „wyglądzo-



Il. 2. Pierwotny szkic koncepcyjny budynku [własność autora].

ne”. Decyzje te pociągnęły jednak za sobą konsekwencje natury energetycznej i użytkowej, które w niektórych aspektach okazały się mniej korzystne niż w wariancie pierwotnym.

4.2. Koncepcja formalno-estetyczna a efektywność energetyczna

Charakterystycznym elementem koncepcji formalno-estetycznej budynku jest fasada fotowoltaiczna. Koncepcja estetyczna fasady zasadza się na przekątniowym przełamaniu jej kompozycji plastyczno-malarskiej, dzięki zastosowaniu odmiennych rodzajów modułów fotowoltaicznych, którymi pokryto również fragmenty elewacji zachodniej i wschodniej.

Moduły fotowoltaiczne z ogniw krzemowych zastosowano jako:

- moduły bezramowe typu szkło-szkło częściowo przezielne (z nadrukiem z rozsuniętych krzemowych monokrystalicznych ogniw PV) – jako okładzina szklana i balustrady całoszklane oraz nieprzezielne (z nadrukiem PV prostokątnym pokrywającym ok. 80% modułu) – na wysokości czoła stropodachu. Powierzchnia całkowita ogniw PV wynosi 12 m²,
- moduły PV w aluminiowej konstrukcji słupowo-ryglowej ściany osłonowej, jako okładzina szklana – moduły PV z ogniw z krzemu amorficznego kolorowe nieprzezielne (ASI opaque) i półprzezielne (ASI-thru) tworzące część elewacji południowej i zachodniej. Powierzchnia całkowita modułów PV wynosi – ~70 m².

Szczególną cechą wyróżniającą budynek spośród dotychczasowych realizacji BIPV, nie tylko w kraju, ale i na świecie, jest zastosowanie modułów PV, tworzących na części fasady charakterystyczną kolorową mozaikę. Unikalność rozwiązania polega na zestawieniu różnobarwnych modułów PV nie tylko o różnym stopniu przezierności (0%, 20%, 30%), ale i kształcie, które wraz tradycyjnymi panelami szklanymi tworzą szklaną ścianę kurtynową. Rozwiązanie to wykorzystuje najnowsze osiągnięcia technologii fotowoltaicznej, polegające na zastosowaniu kolorowych folii w laminacie szklanym od strony zewnętrznej ogniw PV, nie powodujących, jak dotychczas, nieracjonalnie dużych strat energetycznych.

Położenie na działce i bryła budynku

Obiekt zlokalizowano w centralnej części działki skosem do nabrzeża tak, że dłuższa frontowa elewacja w postaci fasady fotowoltaicznej ma dokładnie eks-

pozycję południową (kąt azymutalny wynosi 180°). Położenie to wynika w głównej mierze z przesłanek energetycznych, to jest stworzenia najlepszych warunków insolacyjnych tak dla pionowej fasady PV, jak i wertykalnych elewacji bocznych, również częściowo pokrytych modułami PV. Uniknięto w ten sposób sytuacji, w której jedna z bocznych elewacji miałaby ekspozycję o niekorzystnym odchyleniu w kierunku północnym. Zasadność przyjętego rozwiązania dowodzą pomiary dziennego napromieniowania H_c dla płaszczyzn pionowych w bilansie rocznym (tab. 2).

Tabela 2. Średnie dzienne napromieniowanie H_c powierzchni pionowych [3].

Orientacja	Pd.	Pd.-zach.	Zach.	Pn.-zach.	Pn.	Pn.-wsch.	Wsch.	Pd.-wsch.
miesiąc	H_c , MJ/(m ² xdzień)							
VI	10	10,5	11,5	8	7	7,5	10	10
XII	2	1,5	1	1	1	1	1	1,5
III	8	7,5	5,5	3	3	3	4,5	6,5

Rozwiązanie to jest ponadto zasadne w sensie percepcji budynku z przeciwległego nabrzeża i Mostu Pomorskiego. Skośne ustawienie na działce ekspozuje bowiem nie tylko południową fasadę, ale i elewacje boczne, które stanowią jej kontynuację, dzięki czemu koncepcja formalno-estetyczna staje się bardziej czytelna.

Budynek zaprojektowano jako bryłę regularną prostopadłościenną o planie wydłużonym na kierunku wschód-zachód (stosunek boków 2:1). Elewacje, poza północną, zostały znacznie przeszklone. Zgodnie z zasadami projektowania energooszczędnego, prostopadłościenna bryła cechuje się relatywnie niskim współczynnikiem $A/V = \sim 0,5$. Zrezygnowano z, wprowadzonego w wariantie pierwotnym, nachylenia fasady fotowoltaicznej, które powodowało niepożądane estetycznie zdynamizowanie bryły, lecz zwiększało zyski energetyczne z promieniowania słonecznego. Wariant pierwotny zakładał nachylenie przeszklonej elewacji południowej pod kątem 70° , co powodowało potencjalny wzrost zysków ciepłych z nasłonecznienia w okresie grzewczym, zwiększając jednocześnie zyski energii elektrycznej z zastosowanych w niej modułów PV o ok. 10 % w stosunku do pionowego położenie modułów PV [7]. Wprowadzony ponadto system fotowoltaicznych półek nachylonych pod kątem 30° ,

który jednocześnie pełnił rolę ochrony przeciwsłonecznej w okresach ciepłych, zwiększał wydajność pracy modułów PV o dodatkowe 20% w bilansie rocznym [1]. Koncepcję fotowoltaicznych półek przeciwsłonecznych, cechującą się ekspresyjnymi rytмами i efektami światłocieniowymi oraz wyrazistą ekspozycją elementów konstrukcyjno-technologicznych, odrzucono w powodów natury estetycznej, uznając system PV za zbyt „agresywny”, w zastanym otoczeniu.

Tektonika elewacji

Ogólna koncepcja estetyczna elewacji opiera się na założeniu stworzenia gładkich, silnie przeszklonych płaszczyzn pozbawionych nadwieszzeń, wyraźnych wcięć, wysunięć i innych form zwiększających artykulację przestrzenną ścian zewnętrznych. Wyjątek stanowi powtarzający się motyw przekątniowego przełamania rysunku elewacji – jest on obecny zarówno w elewacji pd. jak i elewacjach bocznych (powtórzone go również w rysunku piątej elewacji i kompozycji posadzki zewnętrznej). W celu podkreślenia wspomnianego motywu od strony frontowej, dokonano przestrzennego przełamania fasady PV, dzięki czemu fragment stanowiący różnobarwną mozaikę został nieznacznie wysunięty do przodu – w kierunku południowym. Zabieg ten, uznany za wartościowy estetycznie, spowodował pewne konsekwencje natury energetyczno-technologicznej. Przestrzenne przełamanie fasady PV sprawia, iż jej cofnięty fragment jest podatny na zacienienie z kierunku pd.-zachodniego. Światłocień rośnie wraz z „podążaniem” słońca w kierunku zachodnim, co ma szczególne znaczenie w okresie letnim, gdy kąt azymutalny pozornej drogi słońca nad horyzontem jest największy. Choć zmierzony światłocień dla tego okresu pokrywa stosunkowo niewielką liczbę ogniw PV, to wymusza on na dalszym etapie projektowym zastosowanie równoległego łączenia ogniw. Pozwoli to uniknąć efektu charakteryzującego łączenie szeregowo, polegającego na przyjmowaniu przez cały system PV charakterystyki prądowo-napięciowej z ogniwa „najśłabszego”, co skutkuje na ogół poważnym spadkiem sprawności systemu PV. Alternatywnym rozwiązaniem jest rezygnacja z zastosowania ogniw PV w obszarze zacienienia – powoduje to jednak, co oczywiste – zmniejszenie łącznej mocy nominalnej instalacji PV.

Pokrewny problem wiąże się z faktem, iż wysunięcie fragmentu fasady PV generuje nową płaszczyznę o ekspozycji wschodniej. Biorąc pod uwagę jej niekorzystne pochylenie względem promieni słonecznych (w kierunku podłoża),

a także głębokość uskoju, wynoszącą zaledwie ok. 35 cm, oraz stosunkowo gęste i nieregularne podziały elewacyjne, które stanowią kontynuację podziałów „kolorowej mozaiki”, zastosowanie na tej płaszczyźnie modułów PV nie jest racjonalne. Elementy te zostaną zastąpione atrapami. Ich dobór będzie wymagał starannego sprawdzenia pod kątem podobieństwa wizualnego z modułami PV, które mają imitować.

Efekty plastyczno-malarskie

Koncepcja formalno-estetyczna zasadza się na wykreowaniu oryginalnych efektów plastyczno-malarskich na elewacjach (zwłaszcza fasadzie pd.) z wykorzystaniem do tego celu zróżnicowanych estetycznie modułów PV. Koncepcja ta polega na skonstruowaniu „kolorowej mozaiki” z przezierną ścianą kurtynową wykonaną ze szkła z nadrukiem PV.

Do stworzenia „kolorowej mozaiki” dobrano moduły PV o różnym stopniu przezierności (0%, 20% i 30%) w trzech kolorach: rdzawo-czerwonym przypominającym miedź, zielonym odwołującym się do ekologii i żółtym, który symbolizuje słońce. Ze względów użytkowych (por. p. 4.3), ale i dla urozmaicenia rysunku mozaiki, moduły PV wymieszano tradycyjnymi szklanymi panelami szklanymi. Poszczególne składowe tworzące mozaikę – ich zróżnicowane wielkości i kształty podkreślone zostały wyraźnym podziałem linearnym, tworzoną przez odmiennie kolorystycznie listwy maskujące konstrukcji słupowo-ryglowej.

W kontraście pozostaje fragment fasady PV w postaci przeziernej ściany kurtynowej. Zastosowane w niej moduły z nadrukiem PV mają postać laminatu szklanego o neutralnej barwie, w którym umieszczono rozsunięte względem siebie ogniwa PV. Na wysokości czoła stropodachu, ogniwa są zagęszczone tak, by stworzyć wizualnie jednolitą, nieprzejrzystą płaszczyznę. Moduły mocowane są bezramowo za pomocą stalowych rotuli, co w przeciwieństwie do „kolorowej mozaiki” zamazuje ich podziały, tworząc wrażenie jednolitej gładkiej powierzchni.

Powyższe rozwiązania są kluczowym elementem funkcji estetycznej budynku opartej na kreowaniu ekspresyjnych efektów plastyczno-malarskich na elewacjach, głównie fasadzie PV. Efekty te ulegają wzmocnieniu po zmroku przy oświetleniu sztucznym wnętrza. Wydobywa się wówczas zróżnicowanie stopnia przezierności modułów PV, a gładka przezierna część fasady PV staje się „ekranem” odsłaniającym wnętrze budynku z silnie eksponowanym na pierwszym planie nadrukiem PV.



Il. 3. Koncepcja właściwa budynku – widok na fasadę PV [własność autora]

Tabela 3. Symulacja porównawcza zastosowania alternatywnych rozwiązań modułów PV w kontekście ich wpływu na parametry energetyczne [opr. autora na podst. [1], [12], [13]].

Rodzaj i przezierność modułów PV	Moc nominalna [W_p/m^2]	Łączna moc instalacji PV [kW_p]	Potencjalny uzysk energii [kWh/rok]
m-Si- 0%	170	11,9	7735
a-Si (czarny) – 0%	70 4,	9 3185	
a-Si (kolor) – 0%	61,5	3,6	2340
a-Si (kolor) – 20%	40		
s-Si (kolor) – 30%	37		

Dla uzyskania opisanych efektów należało podjąć decyzję o rezygnacji z maksymalnych zysków energetycznych. Moduły kolorowe cechują się mniejszą sprawnością w stosunku do analogicznych tradycyjnych modułów krzemowych amorficznych, tj. w kolorze czarnym. Dodatkowe zmniejszenie zysków energetycznych wynika z przezierności modułów PV (20%, 30%) – wraz z jej wzrostem maleje nominalna moc modułu PV. Symulacja porównawcza pomiędzy zastosowaną „kolorową mozaiką” a analogiczną aplikacją modułów PV o największej sprawności (monokrystalicznych) oraz tradycyjnych nieprzeziernych modułów krzemowych amorficznych wykazuje zmniejszenie zysków energetycznych odpowiednio o 70% i 26% (tab. 3). Dalsze potencjalne straty wynikają z wprowadzenia tradycyjnych paneli szklanych.

Moc nominalna instalacji z kolorowymi modułami PV wynosi $3,6 \text{ kW}_p$, co według szacunkowych obliczeń pozwoli na wygenerowanie 2340 kWh energii rocznie².

W przypadku elewacji z nadrukiem PV, moc nominalną instalacji PV z nadrukiem z ogniw krzemowych monokrystalicznych (m-Si) oblicza się na $\sim 2 \text{ kW}_p$, a roczny uzysk energii elektrycznej $\sim 1300 \text{ kWh}$.

4.3. Fasada fotowoltaiczna w aspekcie funkcjonalno-użytkowym

Podstawową rolą fasady fotowoltaicznej jest generowanie prądu elektrycznego, jednak jako integralny element architektury, pozostaje ona we wzajemnej relacji nie tylko z funkcją estetyczną, ale i funkcją użytkową oraz całym procesem użytkowania budynku. To szerokie zagadnienie wykracza poza zakres opracowania, niemniej wymaga przynajmniej zwięzłego omówienia w odniesieniu do przyjętych rozwiązań formalno-estetycznych.

Zastosowanie fasady PV od południa spowodowało konieczność wytworzenia w jej bezpośrednim sąsiedztwie przestrzeni publicznej (ogólnodostępnej) jako strefy buforowej tymczasowego przebywania ludzi. Decyzja ta pociągnęła za sobą konieczność przeniesienia biur w głąb rzutu i usytuowania ich od mniej korzystnych stron: wschodniej i zachodniej. Zasadność stworzenia strefy buforowej wynika z negatywnego wpływu fasady PV na środowisko wizualne i termiczne wewnętrznej strefy przyelewacyjnej.

Decyzja o zastosowaniu półprzeziernych modułów PV jest kompromisem pomiędzy przesłankami energetycznymi a użytkowymi. Została podyktowana ideą zwiększenia udziału światła naturalnego w oświetleniu wnętrza budynku oraz zapewnieniem kontaktu wzrokowego z atrakcyjnym otoczeniem.

Z tego powodu, na poziomie wzroku użytkowników zaprojektowano moduły As-thru o największej przezierności (30%) oraz tradycyjne panele szklane. Moduły PV zapewniają dość dobrą przezierność, gdy linia wzroku znajduje się prostopadle do płaszczyzny modułu – wraz ze zwiększaniem odchylenia od tego kierunku, przezierność ulega zmniejszeniu.

Kolejny problem wiąże się z zabarwieniem światła przenikającego przez moduły. Jakość oświetlenia, choć rekompensowana przez znaczny udział

² Jako punkt wyjścia do dalszych obliczeń przyjęto szacowany średni uzysk energetyczny = 1049 kWh/rok (uzysk dla systemu PV o ekspozycji pd., nachyleniu 30° i mocy 1 kW zmierzony dla warunków Wrocławia w latach 1994-2011) [13].

szklenia o barwie naturalnej, w tym szklenia z nadrukiem PV, nie jest satysfakcjonująca dla sytuowania w przestrzeni przyelewacyjnej stanowisk stałej pracy.



Il. 4. Widok przez próbkę modułu asi-thru 20% [fot. autora z użyciem próbek firmy Onyx-Reconal].

W przypadku modułów z nadrukiem PV problem zakłócenia kontaktu wzrokowego z otoczeniem nie istnieje, gdyż układ ogniw PV został zaprojektowany poza linią wzroku użytkowników. Jednak ogniwa PV, w warunkach bezpośredniego promieniowania słonecznego, powodują we wnętrzu silne kontrasty światłocieniowe, które jakkolwiek atrakcyjne wizualnie, pogarszają jakość środowiska świetlnego.

Fasada PV jako gładka przeszklona ściana osłonowa, bez względu na rodzaj zastosowanych w niej modułów PV, stwarza problem ochrony wnętrza przed bezpośrednim promieniowaniem słonecznym, zarówno promieniowaniem widzialnym (światłem słonecznym), jak i promieniowaniem cieplnym. Problem wynika z faktu, że z uwagi na konieczność maksymalnej ekspozycji fasady PV na słońce, zastosowanie w jej obrębie zewnętrznych elementów zacieniających negowałoby istotę jej funkcjonowania (w wariancie pierwotnym problem ten rozwiązano przez zastosowanie fotowoltaicznych półek przeciwsłonecznych). W kontekście jakości środowiska świetlnego, rozwiązania w dalszych etapach projektowych należy szukać w aplikacjach wewnętrznych elementów ochrony przeciwsłonecznej po uprzednich symulacjach parametrów oświetleniowych wnętrza.

W przypadku wpływu na środowisko termiczne, problem wydaje się bardziej złożony, gdyż umieszczenie osłon przeciwsłonecznych po wewnętrznej stronie fasady PV nie zapobiegnie efektowi szklarniowemu, a więc będzie nieefektywne w kontekście ochrony przed przegrzewaniem. Na etapie koncepcji przewidziano następujące rozwiązania:

- wykorzystanie nadruku PV jako elementu ochrony przeciwsłonecznej – rozmieszczenie ogniów PV w pasach, które chronią wnętrze przed wysokim (letnim) promieniowaniem słonecznym,
- wprowadzenie w przestrzeni buforowej przegród strukturalnych o dużej masie termicznej jako elementu pasywnego chłodzenia,
- przestrzeń buforowa zaprojektowana jako wnętrze wieloprzestrzenne na całą wysokość budynku w celu zwiększenia efektywności wymiany powietrza; jako podstawową strategię chłodzenia przyjmuje się wentylację naturalną i wykorzystanie korzystnych lokalnych warunków mikroklimatycznych wynikających z sąsiedztwa rzeki (napływ schłodzonego, nawilżonego powietrza), przy czym należy zakładać okresowe wspomaganie mechaniczne i klimatyzację.

Przestrzeń przyelewacyjna w roli „płuc budynku” jest ponadto korzystna w kontekście chłodzenia powierzchni modułów PV od wewnątrz, co przyczynia się do wzrostu ich wydajności. W okresie grzewczym będzie pełnić rolę przestrzeni termobuforowej, a w okresach słonecznych – pasywnego kolektora ciepła [6].

5. Podsumowanie

Rozwój technologii fotowoltaicznej zmierza w kierunku zacieśnienia relacji z architekturą. Ma to swój przejaw zarówno w obszarze rozwiązań estetycznych jak i funkcjonalno-użytkowych, w tym związanych z kształtowaniem środowiska niematerialnego. Różnorodność zastosowań ogniów PV i modułów PV w obrębie budynku dowodzi rosnącego ich znaczenia w kształtowaniu form architektonicznych. Znaczenie to rośnie przy uwzględnieniu pośredniego wpływu systemów PV na kształtowanie bryły i elewacji budynków, jako instalacji technologicznych, które dla ich efektywnego funkcjonowania, wymagają stworzenia optymalnych warunków przestrzennych.

Rozpatrując problem integracji fotowoltaiki z architekturą w kontekście jej wpływu na formę architektoniczną, nie jest możliwe pominięcie aspektów funkcjonalnych, gdyż jak dowodzi przytoczony przykład, elementy te, wraz z aspektem energetycznym, tworzą system oparty na sprzężeniu zwrotnym.

Należy zatem spodziewać się, że dalszy proces rozwojowy będzie zmierzał w stronę wielofunkcyjności rozwiązań BIPV, tj. zastosowań systemów PV jako „elementu” budynku, spełniającego łącznie rolę instalacyjną, estetyczną i funkcjonalno-użytkową. Postęp ten będzie sukcesywnie prowadził do przełamania barier ekonomicznych we wprowadzaniu tej wciąż stosunkowo drogiej technologii. Dotychczasowe postrzeganie modułów PV wyłącznie przez pryzmat instalacji elektrycznej, albo jako elementów BIPV, mających marginalny lub negatywny wpływ na formę architektoniczną stało się nieaktualne, a co gorsza jest prawdopodobnie jednym z poważniejszych hamulców przenikania tej proekologicznej technologii na grunt architektury.

Cel, który stoi przed projektantami w najbliższej przyszłości wymaga rozszerzenia wiedzy oraz współpracy multidyscyplinarnej w obszarze stanowiącym styk pomiędzy architekturą a wiedzą techniczną i środowiskową (w tym technologią PV). Przy bardziej dogłębnej, niż dotychczas, analizie zewnętrznych uwarunkowań lokalizacyjnych (w tym m.in. klimatycznych i społeczno-kulturowych) będzie on polegał na umiejętności wypracowania optymalnego kompromisu pomiędzy przesłankami natury estetycznej, użytkowej i energetycznej. Jest oczywiste, że zmarginalizowanie tej ostatniej zatraciłoby sens stosowania fotowoltaiki jako takiej, niemniej rolą architekta pozostaje dbałość o pozostałe dwie i szukanie pomiędzy nimi racjonalnych relacji. Włączając, pominięte w niniejszym opracowaniu, zagadnienie racjonalności ekonomicznej, cel ten pozostanie zbieżny z ideą architektury zrównoważonej.

Bibliografia

- [1] ATB Becker: Materiały szkoleniowe z kursu Train the Trainer – Photovoltaic installer and planner, Arsenal Research, Wiedeń 2006.
- [2] Białecka K.A.: Barwnikowe ogniwa słoneczne. II Warsztaty Organicznej Drukowanej i Elastycznej Elektroniki, Łódź 2012.
- [3] Chwieduk D.: Energetyka słoneczna budynku. Wyd. Arkady, Warszawa 2011.
- [4] Kaan H.: Architects just want to develop attractive buildings. ECN June 2009, www.ecn.nl/en/news, dostęp 20.07.2014.
- [5] Makesen-Ningbo Maxsolar. Colorful panels –materiały informacyjne, http://www.makesen.com/colorful_panels.htm, dostęp 20.07.2014.
- [6] Marchwiński J.: Aspekt termiczny wykorzystania modułów fotowoltaicznych w architekturze, Materiały Budowlane 6/2013.

- [7] Marchwiński J.: Fasady fotowoltaiczne. Technologia PV w architekturze. Wyd. WSEiZ, Warszawa 2012.
- [8] Marchwiński J., Zielonko-Jung K.: Współczesna architektura proekologiczna. Wyd.Nauk. PWN, Warszawa 2012.
- [9] Muszyńska-Łanowy M.: Fotowoltaika w kolorze. Świat Szkła 4/2011.
- [10] Muszyńska-Łanowy M.: Szkło fotowoltaiczne. Świat Szkła 6/2010.
- [11] Onyx-Fotowoltaika w budownictwie. Materiały informacyjne Reconal-Onyx.
- [12] Onyx- Technical Guide. Materiały informacyjne Reconal-Onyx.
- [13] Pietruszko S., Skoczek A.: Oszacowanie uzysku energetycznego system fotowoltaicznego (opracowanie tabelaryczne). Polskie Towarzystwo Fotowoltaiki. Warszawa 2011.
- [14] Reijenga T.: PV in Architecture (No.22). [w:] A.Lucue, S.Hegedus (red.), Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.Wyd. Wiley, Chichester 2011.
- [15] Ritter A.: Smart Materials in Architecture, Interior and Design. Wyd.Birkhäuser, Basel-Boston-Berlin 2007.
- [16] Wacławek M., Rodziewicz T.: Ogniwa słoneczne. Wpływ środowiska naturalnego na ich pracę. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2011.

BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS. SHAPING OF ARCHITECTURAL FORMS

The chapter discusses considerations for the integration of photovoltaics with architecture. It contains an analysis of its impact on shaping of form and skin of the building. It also presents the concept of the demonstrative building in Wrocław. On the basis of the concept, problems connected with the PV modules application have been highlighted. The problems result from functional aspects and location. Besides, the concept proves a high potential of photovoltaics in creating the aesthetic features of the building.

In the summation it has been concluded that the development of PV technology goes towards stronger and stronger architectural integration. Considering the impact of the photovoltaics on architectural form, functional aspect must be taken into account every time. It is inseparable element of architectural system. The role of architect will rely on finding optimal solutions between energetic, functional and aesthetic priorities. Including economical aspect (not discussed in this chapter) this will reflect the idea of sustainable development.

Anna Bać, Krzysztof Cebart

Politechnika Wrocławska

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 9

PROCES PROJEKTOWY ENERGOOSZCZĘDNEGO OBIEKTU SZKOLNO-PRZEDSZKOLNEGO – STUDIUM PRZYPADKU

W rozdziale przedstawiono przykład realizacji energooszczędnego obiektu szkolno-przedszkolnego w warunkach polskich. Powstanie jednego z najbardziej energooszczędnych obiektów edukacyjnych w Polsce poprzedziły 3 lata wytężonej pracy projektantów, począwszy od etapu koncepcji a skończywszy na cotygodniowych wizytach na budowie w ramach nadzorów autorskich. W 2009 roku oddano do użytku budynek, w którym w znacznym stopniu udało się doprowadzić do zintegrowania architektury i konstrukcji z systemami instalacji wewnętrznych w celu maksymalnego wykorzystania walorów środowiska zewnętrznego do pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych oraz obniżenia strat ciepła. W rozdziale omówiono najważniejsze założenia projektowe zespołu autorskiego, ich ewolucję w trakcie trwania procesu inwestycyjnego oraz przedstawiono wnioski stanowiące swego rodzaju „lekcję” na przyszłość, dla wszystkich jego uczestników.

1. Wprowadzenie

W drugiej dekadzie XXI wieku w Polsce powstało około 25 nowych obiektów szkolnych, z czego jedynie 5 opisuje się jako obiekty energooszczędne¹. Należą do nich przede wszystkim szkoła w Chotomowie (woj. Mazowieckie) z 2014 roku, w Budzowie (woj. Dolnośląskie) z 2012 roku, a także Zespół Szkolno-Przedszkol-

¹ Dane na podstawie badań własnych źródeł internetowych przeprowadzonych we wrześniu 2014 roku.

ny – ZSP na Maślicach we Wrocławiu, będący przedmiotem niniejszego rozdziału. Obiekt powstał w wyniku uchwały Rady Miasta o realizacji nowego obiektu szkolnego na rozwojowych terenach zachodniej części Wrocławia, tj. na osiedlu Maślice. Obiekt ten miał zastąpić istniejącą szkołę zlokalizowaną na trasie planowanej Autostradowej Obwodnicy Wrocławia. Postanowiono, że nowy obiekt będzie wykorzystywał odnawialne źródła energii – OZE. Taki zapis pojawił się w warunkach konkursu architektonicznego rozpisanego przez Zarząd Inwestycji Miejskich – ZIM w maju 2006 roku na opracowanie koncepcji architektoniczno-urbanistycznej ZSP wraz z koncepcją zagospodarowania terenu obszaru w rejonie ulic Królewieckiej i Stodolnej.

W drodze konkursu wyłoniono projekt przeznaczony do realizacji opracowany przez architektów Annę Bać i Krzysztofa Cebrata z biura projektowego Grupa Synergia (projekt wykonano we współpracy z R2 Pracownia Projektową Rubik Lesław). Prace projektowe trwały od jesieni 2006 roku do jesieni 2007 roku. Do wiosny 2008 roku przebiegał proces przetargowy i wyłanianie generalnego wykonawcy. Budowę rozpoczęto w lutym 2008 roku i ukończono w lecie 2009 roku. ZSP oddano do użytku we wrześniu 2009 roku.

Proces realizacji inwestycji był prowadzony przez ZIM. W projekcie uczestniczyło wiele stron, m.in. Wydział Edukacji – WE oraz pełnobranżowy zespół projektowy. Na etapie prac konkursowych architekci współpracowali z biurem inżynierskim First Q z Amsterdamu oraz z polską firmą NATEO specjalizującą się w pompach ciepła. Na etapie projektu budowlanego i wykonawczego z biurem instalatorskim Eko Energia System oraz z biurem konstruktorskim BIZA. Fakt zamiany biura inżynierskiego o zasięgu światowym i dużym doświadczeniu w projektowaniu obiektów energooszczędnych na lokalne biuro instalatorskie, związany był z kwestiami finansowymi i jak się okazało znacznie wpłynął na ostateczny energetyczny charakter obiektu.

W procesie projektowym ZIM przewidział jedynie niewielki udział przyszłych użytkowników ZSP, dyrekcji i Rady Osiedla, w charakterze obserwatorów. Dyrekcja szkoły, została zaproszona do konsultacji projektu przez architektów we wczesnej fazie projektowej, co pozwoliło na uzupełnienie programu funkcjonalno-przestrzennego obiektu i uzyskanie optymalnej przestrzeni szkolnej.

2. Założenia projektowe

Główną ideą projektu ZSP było stworzenie zrównoważonego, ekologicznego i energooszczędnego obiektu edukacyjnego na miarę XXI wieku. Miał on

zapewniać optymalne warunki do wszechstronnego rozwoju, nauki, zabawy i wypoczynku dla dzieci oraz optymalne warunki pracy i przebywania dla pozostałych użytkowników. Obiekt miał służyć także społeczności lokalnej, poprzez dodatkowe funkcje, jak świetlica osiedlowa i biblioteka, siedziba Strażnika i Rady Osiedla oraz poprzez możliwość wykorzystania przestrzeni szkolnych, tj. holu, stołówki, amfiteatru, placu zabaw i dziedzińców oraz części sportowej, poza zajęciami szkolnymi.

Równocześnie budynek miał w możliwie najmniejszym stopniu negatywnie oddziaływać na środowisko, a raczej przyczyniać się do poprawy zastanego środowiska naturalnego i w miarę możliwości realizować zasadę 3R (reduce, reuse, recycle). Jej przejawem była szeroko pojęta oszczędność energii potrzebnej dla zapewnienia komfortu mikroklimatu wnętrza, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, efektywna gospodarka energią i wodą w obiekcie i na działce oraz zastosowanie materiałów o niskim bagażu ekologicznym. Dodatkowo istotnym elementem był edukacyjny charakter obiektu, który miał przybliżać użytkownikom zagadnienia jego funkcjonowania i zastosowanych rozwiązań.

Sformowane założenia projektowe wynikały z wizji młodego wówczas zespołu architektów specjalizującego się w obiektach szkolnych [1] oraz w badaniach nad oddziaływaniem obiektów na środowisko naturalne [3].

Wizja ta zbiegła się z założeniami konkursowymi, które zalecały zastosowanie w projektowanym obiekcie OZE zgodnie z uchwałą Rady Miasta Wrocławia z 2006 roku.

2.1. Forma budynku i kształtowanie elewacji – koncepcja konkursowa

Forma i lokalizacja budynku na działce została dopasowana do układu urbanistycznego wynikającego z planu miejscowego oraz zasadom energooszczędności. Intencją projektantów architektury było zrealizowanie nowoczesnego obiektu, zgodnego z duchem czasu realizującego trzy podstawowe przesłanki projektowe:

- edukacyjną – „otwarcia” szkoły,
- psychologiczną – podporządkowaniu potrzebom dzieci oraz
- funkcjonalną – wydzielenia stref szkolnych.

Miały one stanowić uzupełnienie dla efektywności energetycznej i wdrożenia OZE w obiekcie.

W efekcie powstała forma odbiegająca od polskiego standardu szkół typowych z lat 70., które charakteryzują się układem trzytraktowym w osi północ-południe zamkniętych na planie prostokąta. Zaprojektowano układ mieszany, korytarzowo-grzebieniowy z dwutraktowym układem sal lekcyjnych. Stworzono 3 strefy wiekowe, dla dzieci przedszkolnych, wczesnoszkolnych i starszych. Kompozycyjną osią założenia jest hol szkolny, którego zadaniem było zapewnienie przestrzeni na przerwy dla uczniów, miejsca do wystaw prac uczniowskich, spotkań dla społeczności szkolnej i osiedlowej. Jednocześnie hol miał oddzielać strefę publiczną – wejścia, świetlice i biblioteki od strefy szkolnej – sal lekcyjnych, dziedzińców, „zielonych” sal (tj. tarasów umożliwiających dzieciom naukę na zewnątrz budynku), ogródków doświadczalnych oraz amfiteatru. Wszystkie funkcje publiczne umieszczono po wschodniej stronie przeszklonego holu szkolnego od strony ulicy Suwalskiej, zaś funkcje administracyjne po stronie zachodniej, z widokiem na dziedzińca szkolne.

Na południu zespołu przewidziano salę sportową i gimnastyczną bezpośrednio wychodzące na tereny sportowe. Od północy zlokalizowano część przedszkolną z placem zabaw. Każdy „paluch” stanowi bezpieczną przestrzeń dla poszczególnych grup wiekowych w budynku i na dziedzińcach. Pomiędzy szkołą i przedszkolem przewidziano stołówkę.

Biorąc pod uwagę poprawę bilansu energetycznego budynku, już na etapie koncepcji konkursowej przyjęto takie założenia jak: niskie zapotrzebowanie na energię grzewczą i oświetlenie, ograniczenie strat ciepła oraz przyjęcie niskich współczynników U dla przegród zewnętrznych [2]. Zgodnie z warunkami konkursowymi zastosowano OZE. Aby zmaksymalizować zyski słoneczne oraz zapewnić ich kontrolę przewidziano podwójną fasadę szklaną, która działałaby na zasadzie kolektora powietrznego [9]. Zapewniono akumulację ciepła w masywnych ścianach i stropach. System grzewczy na etapie koncepcji miał bazować na OZE z rozprowadzeniem ciepła za pomocą powietrza w podwójnej fasadzie szklanej oraz poprzez ogrzewanie podłogowe. Przewidziano grawitacyjny i naturalny system wentylacji wspomagany wywiewem z odzyskiem ciepła. W celu polepszenia ciągów powietrza zaprojektowano specjalne kominy powietrzne widoczne na dachach obiektu.

Powyższe założenia wpłynęły na kształtowanie formy i orientację bryły budynku. Sale lekcyjne z podwójną fasadą szklaną zwrócono na południe, zaś korytarze z małymi otworami okiennymi skierowano na północ. W celu zapewnienia maksymalnego komfortu cieplnego i optymalnej wentylacji budynku, przy minimalnym zużyciu prądu przewidziano wariantowe działanie systemu grzewczo-wentylacyjnego. W lecie w ciągu dnia, przewidziano dzia-

łanie kominów wentylacyjnych wspomaganych opcjonalnie wywiewem oraz wieczorne i nocne chłodzenie budynku poprzez uchylanie okien na przestrzał. W ten sposób pozostająca w cieniu północna fasada w sposób naturalny chłodziłaby powietrze wentylujące budynek, a chłód byłby magazynowany w maszynych elementach budowlanych. Podwójna fasada szklana pełniłaby rolę bufora cieplnego i odprowadzała powietrze bezpośrednio na zewnątrz budynku. W zimie, kominy powietrzne zaopatrzone w rekuperatory przyczyniałyby się do odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego. Podwójna fasada pełniłaby rolę bufora cieplnego magazynując ciepło słoneczne, które za pomocą ręcznie uchylanych okien dostawałoby się do sal lekcyjnych. W okresach przejściowych wiosna i jesień, w zależności od panujących warunków zewnętrznych, zakładano, że użytkownicy mogliby indywidualnie ręcznie sterować wentylacją naturalną. Założona powierzchnia ZSP 1 600 m² oraz wyznaczona w konkursie wysokość dwóch kondygnacji sprawiły, że obiekt przyjął rozczłonkowany charakter o stosunku A/V wynoszącym 0.44.

Z aktywnych systemów wykorzystujących OZE zaplanowano pompę ciepła, w której dolnym źródłem ciepła miały być zbiorniki akumulacyjne typu Aquifer, sondy pionowe lub wymiennik ciepła w kolektorze ogólnosanitarnym przechodzącym przez działkę. Ponadto zaplanowano kolektory służące przygotowaniu ciepłej wody użytkowej – cwu.

W zakres oszczędnej gospodarki energią w ZSP wchodziło także ograniczenie zużycia prądu. Aby umożliwić naturalne oświetlenie pomieszczeń zastosowano otwory okienne w niemal wszystkich pomieszczeniach (wyjątek stanowią pomieszczenia higieniczne i niektóre magazynowe). Zaprojektowano świetliki w holu szkolnym, w korytarzach i w szatniach przy zespole sportowym. Ponadto w szkole i w przedszkolu zaplanowano dwustronne doświetlenie sal lekcyjnych także poprzez naświetla w ścianach od korytarzy.

Wymienione czynniki energooszczędności gwarantowały na etapie koncepcji obniżone zapotrzebowanie na energię, około 65 kWh/m²/rok.

Przesłankę „otwarcia” szkoły zrealizowano dwutorowo: poprzez rozwiązania materiałowe, głównie szkło zapewniające efekt przezroczystości i widoczność, oraz w przenośni – poprzez włączenie funkcji pozaszkolnych w bryłę budynku oraz stworzenie stref publicznych (siedzisk z zielenią) niewydzielonych płotem od strony ulicy dojazdowej. „Otwarcie” na środowisko zewnętrzne zapewniono poprzez możliwość wykorzystania przestrzeni na aktywności poza szkolne, jak wynajem zespołu sportowego, stołówki, sali wielofunkcyjnej czy wykorzystania holu szkolnego. Dodatkowo należy podkreślić zamierzony układ urbanistyczny „otwarty” od strony ulicy

dojazdowej (przestrzeń publiczna) i całkowicie poświęcony dzieciom (przestrzeń prywatna szkolna) zapewniający efekt tzw. uniwersum dla uczniów [4].

Psychologiczne przesłanki projektowe planowane w obiekcie wynikają z zakresu psychologii rozwojowej [6] oraz psychologii architektury [5]. Zrealizowano je przede wszystkim poprzez strefowanie przestrzeni dla poszczególnych grup wiekowych wewnątrz i na zewnątrz obiektu. Strefowanie zapewnia poczucie bezpieczeństwa i przynależności dzieciom młodszym i starszym. Na przestrzenniu wydzielonych dziedzińcach przewidziano wyposażenie stosowne do wieku. Równie istotnym psychologicznym elementem założenia była różnorodność form (prostych, skosów, krzywizn), faktur (gładkich, matowych, błyszczących) oraz kolorów, zaplanowana pod kątem zasad percepcji dzieci. Badania wykazują [8], że dzieci preferują zmienne kształty i płaszczyzny, które wpływają na psychiczną aktywność. Dlatego strefę publiczną zaprojektowano jako wesołą i kolorową, zmienną, zaś wewnętrzne dziedzińce jako spokojne i stonowane. Niezależnie każda grupa wiekowa ma przyporządkowany swój kolor we wnętrzu sprzyjający identyfikacji (żółty – dzieci najstarsze, pomarańczowy – dzieci wczesnoszkolne, jasnozielony – dzieci przedszkolne).

Ponadto stosowane zróżnicowane materiały mają zapewniać określone wrażenia: drewno ma dawać wrażenie ciepła i przytulności w zestawieniu z surowym wykończeniem betonu, widoczną konstrukcją i instalacjami. Te zaś mają umożliwić dzieciom zrozumienie struktury budynku, który ma układ nośny (widoczna konstrukcja żelbetowa, stalowa, drewniana), oddycha (system kanałów wentylacyjnych), jest unerwiony (instalacje elektryczne) i posiada układ limfatyczny (system odprowadzania wody deszczowej). Dodatkową atrakcję miały zapewniać niecki rozpraszające wodę deszczową na terenie dziedzińców oraz zbiorniki do magazynowania wody deszczowej służącej pielęgnacji terenów zielonych (podlewanie w lecie). Na dachach przewidziano zieleni, ze względu na planowane sąsiedztwo budynków wysokich i kwestie poprawy izolacyjności dachów. Zastosowanie drewna na elewacji wynikało z chęci stosowania materiałów naturalnych i mało przetworzonych.

2.2. Koncepcja pokonkursowa i studium opłacalności

Z zaleceń pokonkursowych wynikały niewielkie zmiany w układzie funkcjonalno-przestrzennym w budynku szkolnym oraz konieczność przekształcenia przedszkola w obiekt parterowy. Umożliwiło to zaplanowanie dodatkowego wschodniego doświetlenia sal przedszkolnych oraz sanitariatów poprzez przeszklenia w dachu szedowym (il. 1).



II. 1. Widok części przedszkolnej z osłonami przeciwsłonecznymi, dachem szedowym i tarasami

Zespół architektoniczny zaprosił do współpracy biura branżowe. Z uwagi na wysokie koszty proponowane przez holenderskie biuro inżynierskie zrezygnowano z dalszej z nim współpracy na rzecz biura wrocławskich instalatorów.

Na etapie koncepcji pokonkursowej wykonano studium opłacalności przyjętych rozwiązań i na jego podstawie podjęto decyzję, co do wyboru korzystnego wariantu energetycznego. Początkowo zaprojektowany układ obiektu, wartość A/V i jego orientacja podlegały dyskusjom ze strony projektantów branży instalacji grzewczych. Proponowano bardziej zwartą bryłę, zwiększenie liczby kondygnacji, zwrócenie „paluchów” sal lekcyjnych na południowy wschód (zamiast na południe po zachodniej stronie holu). Jednak zaawansowanie procesu inwestycyjnego nie stwarzało możliwości zmiany koncepcji architektonicznej.

Z krytyką polskich instalatorów spotkały się także bierne systemy wykorzystania OZE, jak podwójna fasada szklana, naturalny system wentylacji wspomagany wywiewem z rekuperacją, systemy wietrzenia nocą itp. Wykonane studium wykazało zasadność wyboru następujących rozwiązań:

- pompa ciepła oparta na pionowym gruntowym wymienniku ciepła,
- instalacja c. o. z grzejnikami niskotemperaturowymi,
- wentylacja mechaniczna wywiewno-nawiewna z wymiennikiem do odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego oraz z powietrzną pompą ciepła, która w okresie zimowym ogrzewa powietrze nawiewane, a w okresie letnim je ochładza,

- układ zarządzania dla podniesienia sprawności systemu grzewczo-wentylacyjnego, czyli tzw. Building Energy Management System – BEMS.

Wobec braku argumentacji (doświadczenia) i zarazem możliwości uzyskania wsparcia merytorycznego ze strony First Q architektki przyjęły proponowane rozwiązania instalacyjne. Z ZIMem uzgodniono, że ze względu na zastosowanie nowoczesnych technologii, w ZSP występować będzie specjalistyczna obsługa techniczna, która zajmie się BEMS i optymalizacją systemów pod kątem podnoszenia energooszczędności i zapewnienia najwyższego komfortu użytkowników.

Inne zmiany w stosunku do pierwotnej koncepcji wynikały z kolejnych uzgodnień. Ustalenia z rzeczoznawcą SANEPID zmusiły projektantów do zastosowania grzejników niskotemperaturowych, zamiast planowanego ogrzewania podłogowego. Zaś ustalenia z WE doprowadziły do zlikwidowania „zielonych” sal, które pozostawiono jedynie w jednej sali szkolnej (plastyki) i w salach przedszkolnych oraz do zlikwidowania elementów związanych z wodą na działce. Z kolei ZIM nie wyraził zgody na zielone dachy lub żwir – ostatecznie udało się wprowadzić najjaśniejsze dostępne pokrycie dachów szarą papą². Nie wyrażono zgody na udostępnianie stołówki z kuchnią cateringową na zewnątrz, co zaburzyło nieco realizację idei „otwarcia” szkoły. Ostatecznie ZSP wynajmuje jedynie część sportową.

2.3. Energooszczędne rozwiązania projektowe

Kolejne etapy projektowe przyniosły uszczegółowienia rozwiązań. Na etapie projektu budowlanego, jako podstawowe rozwiązania architektoniczne mające na celu poprawę środowiska wewnętrznego, zwłaszcza ochronę przed nadmiernym nagrzewaniem się pomieszczeń przewidziano różnorodne osłony przeciwsłoneczne [2]:

- sale lekcyjne i sale przedszkolne – stałe poziome żaluzje zewn. o wysięgu 140 cm oraz rzędy brzoź (il. 2),
- hol szkolny (fasady szklane i świetliki dachowe) – rolety tekstylne z opcją automatycznego sterowania,

² Zabieg związany z eliminacją źródeł tzw. efektu wysp ciepła powodowanych przez stosowanie czarnych (ciemnych) powierzchni absorbujących ciepło. Innym rozwiązaniem powszechnie stosowanym na zachodzie sprzyjającym ochronie materiału wykończeniowego dachu i poprawie izolacyjności byłby żwir, lecz on też nie uzyskał akceptacji ZIMu.

- pomieszczenia nauczycieli i administracji – rolety tekstylne z opcją ręcznego sterowania,
- funkcje dodatkowe (biblioteka, świetlice, siedziba Rady i Strażnika Osiedla, sala wielofunkcyjna w przedszkolu) – metalowe żaluzje poziome z opcją ręcznego sterowania.



II. 2. Elewacja południowa, stałe poziome żaluzje zewnętrzne i brzozy

W celu zapewnienia minimalnego zużycia energii elektrycznej w ZSP, z koncepcji konkursowej przejęto wszystkie proponowane rozwiązania, takie jak zapewnienie oświetlenia światłem dziennym we wszystkich niemal pomieszczeniach, stosowanie oświetlenia dwustronnego w salach lekcyjnych, oświetlenie pośrednie ze świetlików w holu w salach komputerowych, zapewnienie światła dziennego poprzez świetliki dachowe w korytarzach i szatniach, dodatkowo doświetlanie toalet w przedszkolu za pomocą okien w dachu szedowym i naświetli.

Ponadto zaplanowano osobne obwody zasilające dla lamp w rzędach równoległe do okien, co zapewniło możliwość częściowego włączania oświetlenia i co za tym idzie oszczędność energii elektrycznej.

Na etapie projektu wykonawczego na wniosek instalatorów przyjęto wiele zautomatyzowanych rozwiązań, np. wyłączanie wentylacji mechanicznej w funkcji z zamkiem w drzwiach, włączanie światła w sanitariatach działające na czujkę ruchu i obecności oraz innych elementów oświetlenia wewnątrz budynku i na zewnątrz działających na czujki zmierzchu.

Na szczególną uwagę w założeniach dla ZSP zasługuje system BEMS [2]. Jego zadaniem było sterowanie instalacjami w oparciu o kryterium zapew-

nienia odpowiedniego mikroklimatu w pomieszczeniach przy jak najniższym zużyciu energii. W studium opłacalności założono oszczędności energii wynikające z tego rozwiązania w skali roku o około 20%. Przyjęto, że będzie to możliwe poprzez automatykę i sterowanie wszystkimi instalacjami wewnętrznymi budynku: lokalnymi źródłami energii odnawialnej, instalacjami kształtowania klimatu (wentylacja i ogrzewanie), systemami sterowania oświetleniem elektrycznym, układami przygotowania c. w. u (układy solarne i elektryczne), instalacjami dozorowymi i bezpieczeństwa (p. poż., wykrywania włamania, kontroli dostępu). Zapewniono także możliwość zarządzania całym budynkiem z jednego miejsca oraz gromadzenia i przetwarzania danych pomiarowych z systemu dla późniejszych analiz techniczno-ekonomicznych. Dodatkowo, w celach edukacyjnych i pokazowych, BEMS miał być wyposażony w system wizualizacji pokazujący aktualne parametry mikroklimatu panujące w budynku oraz wydatkowane nakłady energii i kosztów. Specjalny ekran miał być umieszczony przed obiektem, jednak z uwagi na koszty zrezygnowano z tego rozwiązania.

Sukcesem zakończyły się starania o zapewnienie izolacyjności akustycznej obiektu. Pomimo, że dotychczas w obiektach edukacyjnych we Wrocławiu problematyka ta nie była rozwiązywana, udało się wprowadzić rozwiązania „ponad standardowe” polegające na umieszczeniu ekranów akustycznych na stropach we wszystkich pomieszczeniach [10].

Na tym etapie elewacje drewniane zastosowane w koncepcji konkursowej w strefie publicznej zamieniono na elewacje wykonane z blachy (il. 3).



Il. 3. Widok wejścia od strony ulicy Suwalskiej, strefa publiczna

3. Odbiór i użytkowanie

Jak wykazały badania własne autorów rozdziału, najtrudniejszym okresem okazał się pierwszy rok użytkowania obiektu (rok szkolny 2009/2010). Rozmowy autorów ze specjalistami wykazały, że regulacja zaawansowanych systemów budynkowych w tego typu obiektach może trwać kilka sezonów. Jednak wciąż (5 lat po oddaniu do użytkowania) podstawowym mankamentem w ZSP jest brak fachowej obsługi dla systemu BEMS. Na etapie projektowym zaznaczono, że proponowany system będzie wymagał dozoru wyspecjalizowanej firmy, co miało zapewnić jego optymalizację i przyczynić się do podniesienia efektywności, poprawy mikroklimatu odpowiednio do potrzeb użytkowników i miało pozwolić na obniżenie kosztów eksploatacji obiektu. W praktyce, ZSP został przekazany użytkownikom bez kompleksowej instrukcji obsługi obiektu, a także bez zapoznania z założeniami projektowymi. Przez rok trwał fachowy nadzór nad pracą BEMS, lecz nie zapewnił on planowanej optymalizacji systemu³. Potem do obsługi BEMSa ZIM zaproponował przeszkolenie pracownika technicznego oraz nauczyciela informatyki. W efekcie budynek funkcjonuje będąc pozbawionym systemu nadzorowania i optymalizacji [2].

Do mankamentów związanych z architekturą zalicza się brak osłon przed łśnieniem, które okazały się niezbędne przy południowej ekspozycji sal lekcyjnych. Pomimo że poziome żaluzje zewnętrzne chronią przez bezpośrednim nasłonecznieniem pomieszczeń, to póki co niewielkie brzozy nie osłaniają przez uciążliwym światłem słonecznym. W efekcie w salach zainstalowano wewnętrzne rolety tekstylne. Ponadto problematyczne jest utrzymanie czystości przeszkleń znajdujących się poza łatwym dostępem, tj. świetlików w dachach szedowych oraz przeszkleń fasady szklanej.

Na podstawie opinii zebranych od użytkowników ZSP⁴, można stwierdzić, że jest to bardzo ciekawy obiekt architektoniczny⁵. Zwłaszcza w odbiorze uczniów

³ Zaopiniowano nieprzystosowanie podzespołów systemu (central wentylacyjnych i osłon przeciwsłonecznych) do współpracy z BEMS.

⁴ Badania własne przeprowadzone w dniu 8. czerwca 2010 roku wśród 59 uczniów oraz w dniu 11. kwietnia 2012 roku.

⁵ Obiekt uzyskał szereg nagród, m. in.: II nagroda za 'Najpiękniejszy obiekt użyteczności publicznej we Wrocławiu' w roku 2010, I nagroda w konkursie Green Building Award 2011, wyróżnienie w konkursie na 'Przyjazną przestrzeń' w roku 2011, został uznany za jeden ze '101 najciekawszych polskich budynków dekady.

jawi się jako „jasny i przestronny”, a także bardzo nowoczesny. Szczególnie doceniony jest hol szkolny, gdzie uczniowie mają możliwość aktywnego wypoczynku poprzez jazdę na rolkach czy grę w ping-ponga. Wstępne badania wykazują, że jest on dobrze odbierany i spełnia oczekiwania użytkowników, zapewnia bardzo dobre warunki do nauki, zabawy i wypoczynku dla dzieci oraz bardzo dobre warunki pracy i przebywania dla pozostałych użytkowników.

Jak wynika z doniesień dyrekcji ZSP obiekt jest często odwiedzany przez przedstawicieli gmin, którzy wykazują zainteresowanie zastosowanymi systemami służącymi efektywności energetycznej oraz wykorzystania OZE.

4. Podsumowanie

Spełnienie współczesnych wymogów energooszczędności i zastosowanie wysoko zaawansowanych technologii w obiekcie edukacyjnym jest zadaniem bardzo trudnym. Z powodu zaangażowania wielu akcjonariuszy procesu inwestycji z jednoczesnym pominięciem przyszłych użytkowników może dojść do paradoksalnej sytuacji, że użytkownik nie jest świadomy potencjału obiektu i co gorsza nie dysponuje zasobami do jego wykorzystania. Podział kompetencji w ZIM-ie, który pełnił rolę inwestora zastępczego w omówionym przypadku, również utrudniał osiągnięcie celu: inny pracownik odpowiadał za etap uzgodnień projektu, a inni pełnili rolę inspektorów nadzoru inwestorskiego, często nie znając idei i zamierzeń projektowych. Po oddaniu obiektu do użytkowania osoby decyzyjne w zakresie rozwiązań czy to architektonicznych czy instalacyjnych, nie mają okazji do weryfikacji słuszności podjętych przez kogo innego decyzji. A te często zapadały na poziomie WE, który nie dość, że nie posiadał wykwalifikowanej w kierunku budowlanym kadry, to również częstokroć nie reprezentował interesów użytkowników. Wydaje się, że najwłaściwszym rozwiązaniem w projektowaniu obiektów edukacyjnych jest współudział osób bezpośrednio zainteresowanych funkcjonowaniem obiektu w pracach projektowych. Procedury administracyjne mogą i powinny zapewnić wyłonienie dyrekcji szkoły oraz personelu pedagogicznego i technicznego, a następnie zaangażowanie go w projektowanie. Przebieg procesu realizacji inwestycji powinien mieć charakter tzw. Zintegrowanego Procesu Projektowego⁶ – ZPP [6].

⁶ W ZPP istotną rolę odgrywa sformułowanie konkretnych celów, ważnych dla wszystkich stron procesu, które stają się wyznacznikami dla realizacji inwestycji.

Z perspektywy czasu wydaje się, że bardziej właściwe byłyby rozwiązania umożliwiające realizację efektywności energetycznej w sposób bierny, poprzez ukształtowanie formy, zapewnienie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych, zapewnienie osłon przeciwsłonecznych, zabezpieczenia przed olśnieniem, naturalnego przewietrzania itp. Stosowanie nowoczesnych technologii, takich jak wentylacja mechaniczna, podstawowa automatyka (regulacja osłon słonecznych, włączanie oświetlenia) czy OZE wymaga rzetelnego przygotowania użytkownika, które wybiega poza wiedzę uzyskaną podczas standardowych szkoleń. Osoby decyzyjne i personel techniczny powinny wykazać zrozumienie dla podstawowego celu, jakim jest energooszczędność. Z kolei stosowanie zaawansowanych technologii, jak BEMS, wymaga nie tylko zaangażowania użytkowników, ale także zabezpieczenia środków na świadome zarządzanie obiektem i jego optymalizację.

Pomimo występowania niewielu energooszczędnych obiektów edukacyjnych w Polsce należy stwierdzić, że staraniom o zapewnienie efektywności energetycznej towarzyszą skuteczne poszukiwania nowoczesnych form architektonicznych, które stanowią odzwierciedlenie zasad nowoczesnej edukacji.

Bibliografia

- [1] Bać A.: Wybrane zagadnienia projektowania szkół na przykładzie realizacji wiedeńskich lat 90. XX wieku, doktorat, Wydział Architektury PWR, Wrocław 2003.
- [2] Bać A.: Efektywność energetyczna i nowoczesne technologie w architekturze – blaski i cienie. [w:] Energia i Budynek 2012: 30-37, nr 7/8.
- [3] Cebtrat K.: Parametry środowiskowe budynków – dążenie do równowagi czy stagnacji? Problemy stosowania i edukacji. [w:] Oblicza równowagi – architektura, urbanistyka, planowanie – u progu Międzynarodowej Dekady Edukacji na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju. Wrocław: Oficyna Wydaw. PWR., 2005: 412-417, Studia i Materiały Wydziału Architektury PWR.
- [4] Chramosta W. (red.): Das neue Schulhaus. Schueleruniversum und Stadtpartikel, Stadtplanung Wien, Verlag A. F. Koska, Wien-Berlin 1996.
- [5] Geisler E.: Architekturpsychologische Hinweise zur Entwurfsplanung, Landesinstitut fuer Curriculumentwicklung Lehrerfortbildung und Weiterbildung, Neuss 1983.
- [6] Hurlock E.: Rozwój dziecka, cz. 1-2, PWN, Warszawa 1985.
- [7] Kujawski W.: Zintegrowane projektowanie budynków wielorodzinnych: 16-19. [w:] Zawód Architekt, nr 20, Izba Architektów RP, 2/2011.

- [8] Rittelmeyer Ch.: Schulbauten positiv gestalten. Wie Schueler Farben und Formen erleben, Bauverlag GmgH, Wiesbaden-Berlin 1994.
- [9] Stec W.: Symbiosis of double skin fasade and indoor climate installation, The PhD defence, Technische Universiteit Delft, Wojciech Stec 2006.
- [10] Wilk R.: Szkoła zrównoważonej architektury: 24-29. [w:] Zawód Architekt, nr 11, Izba Architektów RP, 5/2009.

Właścicielem zdjęć jest Grupa Synergia.

DESIGN PROCESS OF AN ENERGY EFFICIENT PRIMARY SCHOOL UNIT – CASE STUDY

This chapter presents the implementation of sustainable ideas in a school and pre-school facility in Polish conditions. The creation of one of the most energy-efficient educational facilities in Poland was preceded by three years of hard work of designers, from the concept stage to the author's supervisions during weekly visits to the site. In 2009 we opened a building, which succeeded in most of authors assumptions about integrating the systems of internal installations with architecture and construction in order to maximize the value of the external and internal environment, to generate energy from renewable sources and to reduce heat losses. The chapter discusses the main features of the design, their evolution during the investment process and presents proposals in a kind of „lessons” for the future, for all its participants.

ROZDZIAŁ 10

WPŁYW ROZWIĄZAŃ ARCHITEKTONICZNYCH NA BILANS ENERGETYCZNY OBIEKTÓW TERMINALI LOTNICZYCH

1. Wstęp

1.1. Zakres badań

Realizując eksperymenty z zakresu symulacji zużycia energii w obiekcie użyteczności publicznej (budynek terminala lotniczego o układzie liniowym) oraz badając relacje pomiędzy bilansem energetycznym i wpływem światła dziennego na jakość przestrzeni użytkowych, autor poszukuje odpowiedzi na pytanie dotyczące wiarygodności uzyskiwanych wyników.

Opisana w rozdziale metodologia pozwala na połączenie możliwości narzędzia do symulacji bilansów energetycznych z uwzględnieniem zysków i strat wynikających z decyzji projektowych dotyczących otwarcia budynku na światło i energię słoneczną. Zakresem badań jest studium relacji pomiędzy formą (geometrią) i skalą kubatury w odniesieniu do ilości i wielkości otworów (okna, świetliki dachowe) wprowadzających światło naturalne do wnętrza budynku. Badania planowane przez autora będą realizowane etapami i swoim zakresem mają objąć trzy obszary:

- symulacje modeli teoretycznych oraz studia na istniejących obiektach, z uwzględnieniem możliwych zmian w zakresie wyposażenia budynku w elementy ograniczające przegrzewanie kubatury (dotyczy to w szczególności terminali w portach lotniczych ze względu na charakterystyczne, duże powierzchnie przeszkleń),

- wpływ energii promieniowania słonecznego na koszty klimatyzacji (wpływ ustawienia względem stron świata, elementy zacieniające, zmiana rozwiązań technicznych elewacji i ich wpływ na estetykę obiektu),
- kształtowanie formy i poszukiwanie rozwiązań optymalnych metodą ewolucyjną, z uwzględnieniem symulacji bilansu energetycznego w celu opracowania wskazań projektowych dla obiektów projektowanych.

1.2. Dlaczego terminal lotniczy

Lotniska są ważnymi węzłami globalnej, krajowej i lokalnej infrastruktury transportu łączącej ludzi oraz wspomagającej ich komercyjną i zawodową aktywność. Porty lotnicze ułatwiają prowadzenie działalności gospodarczej oraz umożliwiają realizację wymiany handlowej z każdym zakątkiem świata. Ponad 400 portów lotniczych zrzeszonych w Airport Council International – Europa [8] realizuje rocznie przewóz przekraczający 1,5 mld pasażerów, obsługuje ponad 17 milionów ton cargo oraz wykonuje 20 milionów operacji lotniczych. Należy również pamiętać o znaczącym wpływie ekonomicznym lotnisk, tylko w Europie zatrudniają ponad 1,2 mln ludzi, a każde miejsce pracy w portach tworzy pośrednio kolejne 2,1 miejsc pracy poza nimi. Te miejsca pracy z kwotą bliską 59 miliardów € mają wpływ na PKB UE. Skala infrastruktury portów lotniczych ma bezpośrednie przełożenie na znaczne wielkości zużywanej energii i emisji zanieczyszczeń, porównywalne do małych miast. Dlatego też ze względu na oddziaływanie ekonomiczne, ogromną rolę jako węzłów infrastruktury transportowej oraz z powodu wielkości zużycia energii, porty lotnicze są doskonałymi kandydatami do badania efektywności energetycznej. Poprawa efektywności energetycznej lotnisk z uwagi na skalę i zebrane doświadczenia może przynieść wymierne korzyści społeczne, zapisane w kierunkach i celach Unii Europejskiej. Zmierzają one do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, wzrostu udziału energii ze źródeł odnawialnych oraz zwiększenia wydajności energetycznej (Europa 20/20/20 [7] i 50/50/50). Dotyczy to w szczególności portów lotniczych o przepustowości rocznej powyżej 25 mln pasażerów. Duże porty lotnicze są zainteresowane i pozytywnie otwarte na działania pozwalające dzięki racjonalnym decyzjom inwestycyjnym, zamienić zmiany zmierzające do obniżenia zużycia energii w sukces biznesowy. Działania tego typu pozwalają uzyskać nową perspektywę rozwoju w odniesieniu do minionej dekady, która była najtrudniejszym okresem w historii branży związanej z lotnictwem. Porty i linie lotnicze poszukują możliwości oszczędzania w każdym możliwym obszarze. Stając wobec „zielonej” wizji świata, w którym ograniczenie uzależnienia branży od paliw kopal-

nych, pozwala zabezpieczyć przyszłą relację pomiędzy klientem i usługodawcą oraz wymusza na operatorach zarządzających portami lotniczymi poszukiwanie rozwiązań innowacyjnych.

1.3. Stan wiedzy

Międzynarodowe projekty i zawiązywane konsorcja organizacji związanych z branżą lotniczą realizują opracowania mające opisać strategię rozwoju portów lotniczych dziś i w przyszłości. Dotyczy to różnych obszarów aktywności lotnisk. Podstawowymi działaniami realizowanymi w projektach jest monitorowanie systemów technicznych budynków dzięki systemom BMS. Celem jest poszukiwanie możliwości redukcji zużycia energii poprzez optymalizację ich funkcjonowania, w zależności od obecności użytkowników w przestrzeni. Opracowania i projekty takie jak CASCADE [10] są przykładami intensywnych działań łączących wiedzę praktyczną z działaniami o charakterze studyjnym. Raport opracowany w ramach projektu systemu ICT CASCADE dostarcza szczegółową analizę zagadnień związanych z energią w europejskich portach lotniczych, a także charakterystykę techniczną systemów energetycznych wdrożonych pilotażowo w portach Milano Malpensa i Roma Fiumicino. Statystyki i trendy w zakresie efektywności energetycznej w europejskich portach lotniczych zostały poddane gruntownej analizie i zestawione z danymi pozyskanych na lotniskach wybranych do studium przypadków. Raport projektu opisuje różnorodne aspekty związane z energią na lotniskach:

- dane statystyczne pozyskane na lotniskach oraz trendy efektywności energetycznej,
 - aktywności i procedury operacyjne związane z zapotrzebowaniem na energię,
- zarządzanie energią i procedury operacyjne,
- oświetlenie,
- HVAC,
- technologie energii odnawialnej,
- strefy funkcjonalne (terminale i ich typy oraz zapotrzebowanie na energię wybranych stref),
- przepływy energii na lotniskach (zakup energii, wytwarzanie i dystrybucja pomiędzy systemami o największym zapotrzebowaniu),
- zarządzanie i administracja lotnisk,
- infrastruktura ITC lotnisk (Information and Communication Technology),

- przepisy i regulacje prawne obowiązujące lotniska,
- programy zrównoważonego rozwoju na lotniskach,
- analiza powtarzalności rozwiązań projektu CASCADE i wybór obszarów pilotażowych.

Konsorcjum CASCADE przeprowadziło również badania ankietowe w zakresie zarządzania energią w europejskich portach. Celem tego działania było porównanie realizowanych praktyk z wytypowanymi portami lotniczymi o wysokiej i potwierdzonej jakości zarządzania efektywnością energetyczną. Projekt zakończono po uzyskaniu wyników z analizy danych dostarczonych przez badania internetowe i zestawienie ich z danymi pozyskanymi poprzez systemy ICT pracujące w dwóch wybranych portach lotniczych Włoch.

Kolejnym ważnym dla rozważań na temat energii w portach lotniczych jest projekt, którego rezultatem jest zbiór wytycznych zebranych jako Sustainable Airport Manual (SAM)[9]. Został on zainicjowany przez Chicago Department of Aviation (CDA) w 2003 roku i powstał w trakcie modernizacji lotniska O'Hare. Obecnie dostępna jest już trzecia wersja dokumentu. CDA jako pierwszy w USA opracował wytyczne zrównoważonego rozwoju dla projektowania i budowy nowej infrastruktury w portach lotniczych. SAM powstał jako integralna część wysiłków podejmowanych w Chicago w kierunku wprowadzenia bardziej przyjaznych dla środowiska inicjatyw we wszystkich działaniach i aktywnościach lotnisk. SAM to obszerny podręcznik stworzony przez CDA, aby uruchomić i monitorować ideę zrównoważenia w procedurach administracyjnych, planowania, projektowania, budowy, eksploatacji i konserwacji oraz koncesjonowania i wynajmu powierzchni przy minimalnym wpływie na realizację projektów, harmonogramy i budżetowanie. SAM został zaimplementowany do realizacji inicjatyw zrównoważonego rozwoju na międzynarodowych lotniskach O'Hare i Midway. Jest wykorzystywany także przez kilka lotnisk na całym świecie.

SAM jest podzielony na pięć części:

- procedury administracyjne (opisuje możliwości integracji działań o charakterze rozwoju zrównoważonego z procedurami administracyjnymi, które łączą się z aktywnościami portu w obszarach planowania, projektowania, realizacji infrastruktury, operacji i utrzymania bieżącego),
- planowanie (utworzenie ram dla wdrożenia zrównoważonego rozwoju we wszystkich aktywnościach portu lotniczego, od pierwotnych planów, poprzez uruchomienie i działania, poprzez opracowanie wytycznych, list kontrolnych mierzących rezultaty oraz analizę wybranych przykładów – studium przypadku),

- projektowanie i realizacja nowej infrastruktury (instrukcje dotyczące wdrożenia idei zrównoważenia w projektowaniu i realizacji elementów budowlanych po stronie „airside” jak i „landside”, budynków z użytkownikami, jak i struktur tworzących środowisko portu lotniczego),
- operacje i eksploatacja (wytyczne dotyczące włączenia zrównoważonego rozwoju do codziennej działalności danego portu, z naciskiem na szkolenia, monitorowanie, raportowanie i doskonalenie najlepszych praktyk zarządzania,
- kontraktorzy i najemcy (wytyczne dotyczące włączenia zrównoważonego rozwoju do planowania, projektowania i realizacji elementów infrastruktury oraz użytkowania przestrzeni i urządzeń terminali przez najemców i podmioty wspomagające działanie portu).

CDA przy współpracy z American Association of Airport Executives (AAAE) organizują doroczną konferencję „Airports Going Green Conference” promującą idee opisane w SAM. Uzupełniającą formą promocji zrównoważonego rozwoju portów lotniczych jest utworzenie funduszu stypendialnego (SEF) dla studentów City Colleges of Chicago.

Wybrane elementy SAM zostały przedstawione w tabeli nr 1. Opisują one zagadnienia związane bezpośrednio z tematem realizowanych przez autora eksperymentów oraz prac badawczych z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych.

Tabela 1. Wybrane zagadnienia związane z energią w obiektach lotnisk [9].

Problem – temat	Opis i/lub przykładowe wskazania	Spodziewany efekt/cel
1	2	3
Redukcja wysp ciepła, dachy i inne elementy	Przykłady rozwiązań z grupy – zielone dachy i ściany, białe dachy i systemy zaciëniania. Minimalizacja powierzchni utwardzonych. Wykorzystanie materiałów o jasnych kolorach i wysokim współczynniku albedo na nawierzchniach jezdni, parkingów, chodników i placów.	Zintegrowanie z wszystkimi projektami obejmującymi struktury budowlane zasiedlane, jak i pozbawione użytkowników.

Tabela 1. cd.

1	2	3
Efektywność energetyczna	Poprawa efektywności strefy lotniczej i pasażerskiej poprzez ukierunkowane projektowanie. Wprowadzenie wstępnie przygotowanego powietrza i 400 Hz zasilania w energię elektryczną stref tankowania i wyjść do samolotów. Wykorzystanie światła naturalnego, ciepła odzysku, chłodzenia absorpcyjnego i wentylacji naturalnej. Minimalizacja strat energii przez budynki. Zastosowanie energooszczędnego oświetlenia światłem sztucznym, systemów HVAC z kontrolą poprzez czujniki obecności użytkownika.	Redukcja całkowitego zużycia energii o 50%.
Maszyny i urządzenia	Optymalizacja wydajności energetycznej, zapewnianej dzięki wysokiej sprawności, silników, pomp, urządzeń i sprzętów.	100% zgodność z projektem ENERGY STAR.
Generowanie i/lub integracja źródeł energii odnawialnej	Przykłady obejmują między innymi wykorzystanie energii słońca, turbin wiatrowych i źródeł wód geotermalnych.	Rozważenie możliwości pozyskania minimum 5% całkowitego zapotrzebowania na energię z lokalnych źródeł energii odnawialnych – w odniesieniu do kosztów eksploatacji w okresie użytkowania systemów i uzyskanych zysków.
Energia odnawialna	Wykorzystanie zasobów takich jak biomasa, energia słoneczna, wiatrowa i wody w celu wytworzenia energii elektrycznej.	Wspieranie rozwoju i wykorzystania technologii pozyskiwania energii odnawialnej ze źródeł rozproszonych, energii na bazie sieci zerowych zanieczyszczeń jako wskazanych i właściwych do zastosowania.

Ważnym składnikiem analizy zużycia energii w porcie lotniczym jest bilans energetyczny systemów odpowiedzialnych za komfort użytkownika w budynkach terminali. Są to elementy odpowiedzialne za jakość oświetlenia oraz temperaturę. Jednym z nadrzędnych zadań w trakcie realizacji prac projektowych budynków terminali powinno być maksymalne wykorzystywanie światła naturalnego.

Przyjęcie tego typu strategii projektowej powinno obejmować:

- rozważenie orientacji budynku względem stron świata,
- zwiększenie obwodu budynku w relacji do głębokości kubatury,
- przyjęcie jak najcieńszych ustrojów konstrukcyjnych,
- wprowadzenie zewnętrznych i wewnętrznych systemów i elementów zacięniających sterowanych automatycznie poprzez pomiar ilości światła w celu ograniczenia przegrzewania budynku,
- zastosowanie w systemach elewacyjnych nowoczesnego szkła wielofunkcyjnego w celu maksymalizacji ilości światła naturalnego i jednoczesnego ograniczenia przenikania ciepła,
- zwiększanie wysokości pomiędzy podłogą i sufitem – zasięg światła naturalnego w traktach,
- świadomy dobór konfiguracji sufitów i systemów rozpraszania światła dostarczanego przez świetliki dachowe i doświetla,
- koordynację wykorzystania światła naturalnego w odniesieniu do systemów BAS i kontroli automatycznej,
- projektowanie budynków terminali w sposób zwiększający (maksymalizujący) dostępność do widoku na strefy lotniczą i lądową,
- modelowanie i obliczenia ilości światła naturalnego dostępnego dla użytkowników w celu opracowania strategii uzyskania wartości zgodnych ze standardami zapisanymi w dokumentach LEED [14] i ASHRAE [3].

Dotychczasowe metody szacowania poprzez obliczenia i modelowanie komputerowe współczynnika oświetlenia dziennego DF (daylight factors) zastępowane są przez nowe standardy i jednostki. Są to spatial Daylight Autonomy (sDA)[5] oraz Annual Sunlight Exposure (ASE) opisujące dostępność światła naturalnego w budynkach. Potrzebne są zatem nowe narzędzia i metody weryfikacji rozwiązań projektowych dla nowo wprowadzanych standardów. Dlatego w obszarze zainteresowań autora znalazły się nowe narzędzia symulacyjne.

1.4. Terminale lotnicze

Lotniska to wiele różnorodnych stref funkcjonalnych [2], obejmujących między innymi przestrzenie grupowane wokół części „powietrznej” – air side (droga lub drogi startowe i ich infrastruktura) oraz części „lądowej” – land side (wszystkie operacje związane z terminalami). Na strefy te składają się:

- po stronie lotniczej
 - pas startowy (pasy – często powyżej dwóch),
 - oświetlenie naprowadzające i ostrzegawcze przestrzeni pasa startowego,
 - hangary,
 - płyty postojowe,
 - strefy obsługi technicznej,
- po stronie lądowej
 - parkingi,
 - oświetlenie zewnętrzne,
 - budynki terminali z ich pomieszczeniami biurowymi, przestrzeniami odpraw bagażowo-biletowych, kontroli bezpieczeństwa, bramek wyjść do samolotów (gate’y), restauracje i sklepy oraz punkty usługowo handlowe.

Wszystkie te strefy są użytkowane w bardzo zróżnicowanych schematach czasowych i z różną intensywnością. Funkcjonowanie portów lotniczych można porównać poziomem komplikacji jedynie ze skalą małego miasta.

Wyznacznikiem nowoczesności portu lotniczego jest standard obsługi [2] pasażerów, korzystających z udogodnień oferowanych na jego terenie. Dlatego budynki terminali lotniczych zmieniały się w czasie. Skala obiektu, oferta usług świadczonych klientom, jak i standardy techniczne [16], odzwierciedlały czasy, w których powstał obiekt.

Dynamika zmian zachodzących w branży lotniczej wymaga ciągłego dopasowywania budynków terminali [1] do operacji realizowanych po stronie „lądowej” (landside), jak i ilości i poziomu komplikacji procedur obsługowych po stronie „lotniczej” (airside). Dotyczy to podziału na strefy obsługi pasażerów i ich bagażu, a także procesu transferu pasażerów na pokład samolotów. Dlatego istnieje wiele wariantów, kombinacji i typów zespołów budynków, które w zależności od wielkości i przepustowości rocznej portu można opisać

przy pomocy różnych systemów klasyfikacji. Porty lotnicze i terminale zostały sklasyfikowane w literaturze według różnych systemów kategoryzacji [4] jako:

- porty pasażerskie lub uniwersalne (obsługujące ruch pasażerski oraz towarowy – cargo),
- porty lotnicze będące własnością linii lotniczych i porty będące współwłasnością w różnych formach (np. zarządzane przez spółki skarbu państwa lub spółki kapitałowe),
- krajowe, międzynarodowe lub o funkcji mieszanej,
- zcentralizowane lub zdecentralizowane.

Również typy terminali lotniskowych zostały podzielone na kategorie:

- typ podstawowy z pośrednim dostępem do samolotów poprzez płyty postojowe,
- typ podstawowy z dowozem pasażerów do stanowisk postojowych samolotów,
- terminale w układzie liniowym (wyjście przez gate'y do maszyn ustawionych bezpośrednio przed terminalem),
- terminale z pirsami (ang.: piers): pojedynczymi i wielokrotnymi,
- terminale satelitarne: pojedyncze i wielokrotne,
- wielokrotne układy liniowe,
- wielokrotne wyspowe z pirsami,
- hybrydy.

Podobny system klasyfikacji z podziałem na kategorie terminali zaproponowany został przez Wellsa i Younga [16] wyróżniają oni następujące podtypy:

- terminale podstawowe i linearne z dostępem poprzez gate'y,
- terminale z systemem pirsów,
- terminale satelitarne z dostępem poprzez pirsy,
- terminale satelitarne z systemem transportu,
- terminale z dowozem (autobus, system transportu).

Typ hybrydowy nie jest wymieniany w klasyfikacji zaproponowanej przez Wellsa i Younga, chociaż można założyć że wiele portów lotniczych rozwijając się i rozbudowując o nowe terminale, staje się w rezultacie typem hybrydowym.

Opis typologii terminali i złożoność geometrii budynków terminali ujawnia poważny problem z realizowaniem zamierzonego studium analizy energetycz-



Il. 1. Terminal lotniska w Gdańsku

Il. 2. Terminal lotniska we Wrocławiu

nej tego typu budynków. Przykładem mogą być powierzchnie dachów i kształty doświetli nowych polskich terminali il. 1 oraz il. 2. Dlatego do pierwszej fazy studium opracowywanej metodologii analiz, wybrany został najprostszy schemat kubaturowy obiektu – układ liniowy. Kolejne etapy prac pozwolą na przetestowanie przyjętych założeń i wybranych narzędzi.

2. Studium

2.1. Założenia do studium

Pretekstem do wyboru obiektu studium był realizowany przez autora rozdziału, projekt usługowy na wykonanie analizy przepustowości terminali lotniska Katowice – Pyrzowice zarządzanego przez Górnośląskie Towarzystwo Lotnicze S.A. Lotnisko realizuje obecnie budowę nowego terminala przylotowego, który ma docelowo przejąć rolę stref przylotów w istniejących terminalach A i B. Inwestycję przewidziano dla obsługi 4,5 mln pasażerów rocznie po stronie przylotów. Gabaryt projektowanego budynku został wykorzystany do wygenerowania geometrii, która posłużyła do przeprowadzenia analiz zapotrzebowania budynku na energię w zadanych kategoriach i czasokresach. W celu uproszczenia eksperymentu założono przeprowadzenie symulacji polegających na przeliczeniu wartości zużycia energii dla trzech wariantów:

- bryły pozbawionej otworów okiennych,
- bryły wyposażonej w otwory odpowiadające wielkością i pozycją założeniom projektu realizowanego na terenie lotniska,
- oraz bryły wyposażonej w świetliki dachowe zaproponowane jako wariant testowy.

Celem podstawowym eksperymentu było stworzenie algorytmu [17] pozwalającego parametrycznie różnicować badane elementy. Dodatkowo przeprowadzone symulacje pozwoliły na zestawienie i porównanie uzyskanych wyników dla dwóch różnych lokalizacjach geograficznych testowanego obiektu (Katowice i Gdańsk).

2.2. Narzędzia

Do symulacji wykorzystano programy integrujące możliwość modelowania CAD, parametryzację, przeprowadzenie symulacji zużycia energii oraz moduł wariantujący (GENOME).

Za poszczególne funkcjonalności odpowiadają:

- CAD – Rhinoceros v5 SR9 Educational [14],
- parametryzacja – Grasshopper (GH) build 0.9.0076 [12],
- symulacje – moduł Viper: DIVA Thermal Analysis for Grasshopper [11],
- wariantowanie – Genome, Galapagos Genome Input [13].

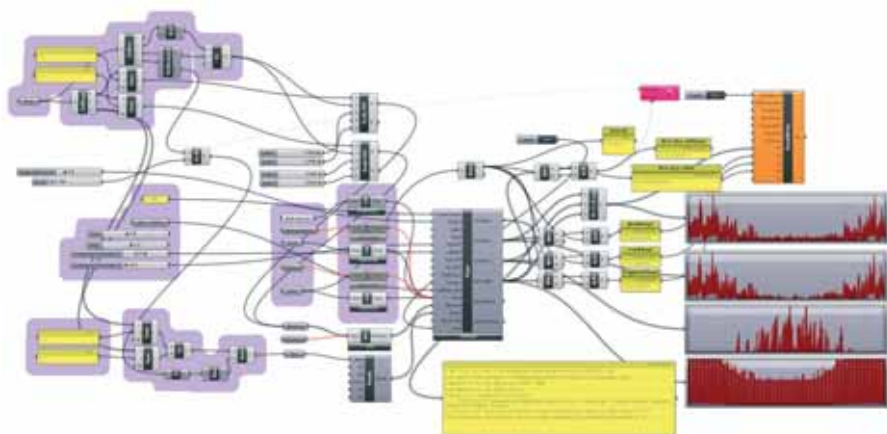
Zarówno GH jaki DIVA są narzędziami znajdującymi się w trakcie ciągłego rozwoju.

2.3. Budowa algorytmu i jego funkcjonalności

Algorytm (il. 3) w prezentowanej postaci został zbudowany wokół modułu Viper, będącego częścią aplikacji DIVA Thermal dla GH. Jest on odpowiedzialny za przeliczenie geometrii z uwzględnieniem parametrów determinujących szereg wartości wejściowych mających wpływ na bilans energetyczny, są to:

- ilość osób w strefie (0,2 m²).
- ilość energii generowanej do strefy przez oświetlenie elektryczne (11,74 W/m²),
- ilość energii generowanej do strefy przez urządzenia mechaniczne (4 W/m²),
- wartość progowa temperatury, dla której strefa ma włączony system grzewczy (18°C),
- wartość progowa temperatury, dla której strefa ma włączony system chłodzenia (22°C),
- dolna granica poziomu natężenia światła naturalnego, dla którego następuje uruchomienie światła elektrycznego (300 lux)
- poziom infiltracji – ilość wymian powietrza na godzinę (0,5/h),

- ilość świeżego powietrza w przeliczeniu na użytkowników ($0,00944 \text{ (m}^3/\text{s)/osobę}$),
- wielkość strefy – parametry przegród,
- typy szkieleń,
- osłony zacinające (ich wielkość i położenie muszą zostać określone w modelu 3D lub zostać opisane w algorytmie, uzyskujemy wówczas możliwość łatwego wariantowania proponowanych rozwiązań).



Il. 3. Algorytm obliczający zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania, klimatyzacji i oświetlenia dla terminala w zależności od ilości przeszkleń i ich rozmieszczenia.

Autor M. SITEK

Dane przyjęte do obliczeń zawierają zaimportowane do testowanego wariantu symulacji dane pogodowe dla wybranej lokalizacji. Dane pobrane ze strony internetowej projektu gromadzącego dane pogodowe [6] posłużyły do opisu warunków pogodowych dla wskazanych lokalizacji geograficznych obiektu. Pierwszy wariant wykorzystuje dane dostępne ze stacji pogodowej portu lotniczego Katowice Pyrzowice (POL_Katowice. 125600_IMGW. epw). Wariant drugi bazuje na danych pogodowych z pliku wygenerowanego dla lokalizacji Gdańsk.

Ważnym elementem symulacji jest opis intensywności i czasu użytkowania przestrzeni obiektu (occupancy schedule). Domyślna wartość dla schematu godzin pracy strefy w module Viper to typ „Office”. W trakcie prac nad algorytmem zostanie on zmodyfikowany, w celu uzyskania charakterystycznego schematu użytkowego przestrzeni terminala lotniska w czasie. Aktualny poziom zaawansowania prac nad algorytmem daje możliwość porównania danych uzyskanych z symulacji dla wariantowania wielkości

i lokalizacji otworów wprowadzających światło naturalne i energię ciepłą słońca do budynku terminala na bazie danych pogodowych charakterystycznych dla lokalizacji geograficznej obiektu.

2.4. Analizy wariantowe

W celu przeprowadzenia studiów zależności pomiędzy wielkością obiektu a powierzchnią i lokalizacją przeszkleń przyjęte zostały warianty opisane w tabeli nr 2.

Tabela 2. Wyniki symulacji dla wariantowanych danych wejściowych uwzględnionych w symulacjach – zużycie energii przeliczone kWh/m²

Warianty	Lokali- zacja	Katowice			Gdańsk		
Rodzaje przegród – płyta na gruncie, ściany zewnętrzne, dach	ASHRAE 09.1 – 2007 dla strefy klimatycznej 4, maksymalne dostępne w module Viper wartości izolacyjne przegród						
Rodzaje szklenia	dwuwarstwowe niskoemisyjne barwione 6/13/6 mm, argon						
Powierzchnia	7176 m ²						
Okres symulacji		Lato typowy dzień	zima typowy dzień	bilans roczny	lato typowy dzień	zima typowy dzień	bilans roczny
Procent szklenia	0%	0,16	2,16	238,69	0,14	1,42	204,67
Elewacja południowa i północna (90% h x 60% długości)	54% elewacji	0,079	2,18	228,18	0,47	1,43	194,68
Elewacja południowa i północna (90% h x 90% długości)	81% elewacji,	0,074	2,20	230,12	0,045	1,43	195,53
Elewacja południowa i północna (90% h x 60% długości)	54% + światliki	0,056	2,27	237,94	0,036	1,48	200,84
Elewacja południowa i północna (90% h x 90% długości)	81% + światliki	0,059	2,29	240,48	0,036	1,49	202,37

Budynek w symulacji został zorientowany dłuższą elewacją na oś wschód-zachód. Otwarcie (przeszklenie) elewacji południowej i północnej na część lądową oraz lotniczą są wariantowo testowane dla wartości 0%, 54% i 81% powierzchni ścian. Obliczenia wykonano dla typowego dnia lata oraz zimy. Zrealizowano także obliczenia prezentujące bilans roczny zużycia energii wyrażonej w kWh na metr kwadratowy.

3. Wyniki i wnioski

W trakcie prac nad algorytmem zostały przetestowane metody pracy z geometrią modelu obiektu. DIVA for GH w obecnej postaci ma wiele ograniczeń uniemożliwiających realizowanie studiów i analiz na obiektach o złożonej geometrii. Jednak pozyskane doświadczenia umożliwią autorowi dalsze eksperymenty nad zagadnieniami związanymi z energią w terminalach lotniczych z wykorzystaniem bardziej zaawansowanych systemów jak np. EnergyPlus – Energy Simulation Software.

Uzyskane wyniki prezentują wielkości zużycia energii charakterystyczne dla budynku o cechach obiektu wysoko energochłonnego. Jednak wartości są zbliżone do zapotrzebowania na energię budynków użyteczności publicznej budowanych 20 lat temu według obowiązujących wówczas zasad projektowania. Ilości energii zużytej przez analizowany model teoretyczny terminala mogą zostać zmniejszone po modyfikacji parametrów przegród wymaganych przez obowiązujące przepisy prawa budowlanego oraz po modyfikacji parametrów determinujących pracę systemów klimatyzacji i oświetlenia w relacji do schematu użytkowania budynku w czasie.

Prezentowane narzędzia i autorski algorytm pozwoliły na przetestowanie nowego podejścia do studium budynku oraz zużycia energii przez użytkowników w realnych warunkach środowiska naturalnego i odniesieniu do konceptu projektowego.

Bibliografia

- [1] ACRP (Airport Cooperative Research Program) Report nr 10, *Innovations for Airport Terminal Facilities*, Transportation Research Board of the National Academies (TRB), National Academy of Sciences, Washington, D.C. 2008, ISBN: 978-0-309-11762-3

- [2] ACRP (Airport Cooperative Research Program) Report nr 25, *Airport Passenger Terminal Planning and Design*, Transportation Research Board of the National Academies (TRB), 2010 National Academy of Sciences, Washington, D.C. 2010, part 1 - ISBN 978-0-309-11820-0, part 2 978-0-309-11816-3
- [3] ANSI/ASHREA/IES Standard 90.1-2013, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
- [4] Christopher Blow, *Transport Terminals and Modal Interchanges*, Routledge, 2012, ISBN 1136352295
- [5] Dariusz Maśły, Michał Sitek, Analysis of Natural Lighting with Regard to Design of Sustainable Office Buildings in Poland, [w:] Universal Access in Human-Computer Interaction. Design for All and Accessibility Practice. 8th International Conference, UAHCI 2014, held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014. Proceedings. Part 4; Springer International Publishing, 2014, (s. 227-236) (Series Title: Lecture Notes in Computer Science, vol. 8516) [ISSN 0302-9743] [ISBN 978-3-319-07508-2]
- [6] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm, dostęp sierpień 2014
- [7] http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm: Climate and energy 20/20/20 targets of the European Union and the failure of energy efficiency objectives, dostęp sierpień 2014
- [8] <http://www.aci-europe.org/>: Perspektywy dla europejskich lotnisk, wyzwania 21 wieku. ACI-E, dostęp sierpień 2014
- [9] <http://www.airportsgoinggreen.org>; Sustainable Airport Manual, Chicago Department of Aviation (2013), dostęp sierpień 2014
- [10] <http://www.cascade-eu.org/cms/>: CASCADE – ICT for Energy Efficient Airports - Energy and Technical Characterization, Operational Scenarios of European Airports as Open Spacer – 7 Program Ramowy UE 2011/14, dostęp sierpień 2014
- [11] <http://diva4rhino.com/>, dostęp sierpień 2014
- [12] <http://www.grasshopper3d.com>, dostęp sierpień 2014
- [13] <http://www.grasshopper3d.com/group/galapagos>, dostęp sierpień 2014
- [14] <http://www.rhino3d.com/>, dostęp sierpień 2014
- [15] LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION
- [16] Seth Young, Alexander Wells, *Airport planning and management* 6/e paperback – New York, Mc Graw-Hill, 2011, ISBN-13: 978-0071750240
- [17] Zubin Khabazi: GENERATIVE ALGORITHMS using GRASSHOPPER. 2010: www.MORPHOGENESISISM.com, dostęp sierpień 2014

THE INFLUENCE OF ARCHITECTURAL SOLUTIONS ON ENERGY BALANCE OF AIRPORT BUILDINGS

This chapter contains information about ongoing research work aimed at seeking ways to reduce energy consumption at the airport. Airports as small towns are a great experience in the area of energy efficiency solutions. The author presents the ongoing work aimed at testing tool DIVA for Grasshopper to simulate the energy balance for airport terminals as the selected subtype of public building.

Piotr Michalski

Politechnika Wrocławska

Wydział Architektury

ROZDZIAŁ 11

KSZTAŁTOWANIE ROZWIĄZANIA DOMÓW NISKOENERGETYCZNYCH W PROJEKTACH TYPOWYCH

Za częstą barierę we wdrażaniu rozwiązań energooszczędnych w Polsce uważa się podwyższone koszty inwestycji oraz niecodzienny wygląd budynku. Biorąc jednak pod uwagę zmieniające się wymagania, nieuchronnym staje się dążenie do zmniejszania zapotrzebowania energetycznego. Obecnie, jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi budownictwa energooszczędnego w Polsce jest architektura mieszkaniowa jednorodzinna.

Praca przedstawia studium przypadku typowych projektów domów jednorodzinnych w standardach energooszczędnych. Opisana została problematyka wpływu rozwiązań mających na celu obniżenie zapotrzebowania energetycznego na wygląd budynku. Zaprezentowane przykłady pokazują możliwą synergię pomiędzy tymi dwoma aspektami. Praca próbuje odpowiedzieć na pytanie czy implementacja takich rozwiązań, z punktu widzenia potencjalnego inwestora, musi odbywać się kosztem walorów estetycznych oraz czy typowe budownictwo energooszczędne może przyczynić się do wdrażania energooszczędności w Polsce.

1. Budownictwo energooszczędne w Polsce

1.1. Energooszczędność w standardzie

Budownictwo energooszczędne na przestrzeni ostatnich lat stało się jednym z wiodących zagadnień polskiej architektury. Coraz więcej na ten temat mówi się i pisze, a co chyba najważniejsze, również projektuje i buduje. Nie-

wątpliwy wkład w to mają wszelkie programy budujące świadomość potencjalnych inwestorów jak i projektantów. Z drugiej strony, zmieniające się wymogi stawiane budynkom wymuszają zmiany w myśleniu i projektowaniu. Ma to prowadzić do tego, by budownictwo energooszczędne w Polsce zyskało miano budownictwa standardowego. Wynika to między innymi z Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady [9], w myśl której od 2021 wszystkie nowoprojektowane budynki mają być o „niemal zerowym zużyciu energii”. By to osiągnąć, wprowadzone zmiany w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, stawiają na redukcję zapotrzebowania na energię pierwotną oraz lepszą izolacyjność przegród [2].

Zmiany w przepisach można uznać za bezpośrednie środki na drodze ku energetycznie efektywnej architekturze. Inne działania, niebezpośrednie, skupiają się na uświadamianiu zarówno inwestorów jak i projektantów, czym tak naprawdę jest energooszczędność w budownictwie i jakie korzyści może przynieść.

Z raportów Centrum Technologii Energetycznych „Regionalne modele współpracy” dla województw dolnośląskiego, opolskiego i śląskiego [2] wynika, że wiedza na temat energooszczędnych rozwiązań w budownictwie jest na stosunkowo niskim poziomie. Cieszy za to fakt, że większość ankietowanych w ramach badań¹ deklaruje chęć poszerzania swojej wiedzy na ten temat, wobec czego, słusznym wydają się akcje społeczne mające na celu zwiększanie świadomości w ramach problematyki oszczędności energii w architekturze.

Jeśli mamy dążyć do tego, by budownictwo energooszczędne stało się standardem, należy sprawić, by było ono jak najbardziej dostępne dla inwestorów. Niestety, wciąż za największą barierę uważa się podwyższone koszty inwestycyjne. W tej kwestii, odpowiednim wydaje się wdrożony przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej program dopłat do kredytów na budowę lub zakup domów i mieszkań w standardach niskoenergetycznych i pasywnych. Z jednej strony, program ten pomaga w pokryciu zwiększonych kosztów inwestycji, z drugiej powoduje większe

¹ Raport z badań: oszczędność energii w opinii Polaków, Ł. Pytliński [w:] Efektywność energetyczna w Polsce. Przegląd 2012. Budynki, pod red. M. Kojs, A. Tarnowska, Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków, 2013, s. 24.

zainteresowanie indywidualnych inwestorów w sektorze budownictwa jednorodzinnego. Dzięki udziałowi w tym projekcie, inwestor może w niewielkim stopniu zmniejszyć koszty inwestycji w energooszczędność. Inwestycji, która przyniesie korzyści na lata.

1.2. Typowe budownictwo energooszczędne odpowiedzią na potrzeby rynku?

Rosnąca świadomość inwestorów i zaostrzające się przepisy prowadzą powoli do zwiększającego się zapotrzebowania na energooszczędne projekty. Te, z racji znacznie większej szczegółowości i skomplikowania, często są droższe. Wyższa cena takich opracowań wynika przede wszystkim ze znacznie większego zaangażowania projektantów wszystkich branż. To, przy i tak zwiększonych nakładach na budowę domu energooszczędnego, tworzy kolejną barierę dla potencjalnych inwestorów.

W Polsce od kilkunastu lat, budownictwo mieszkaniowe przeżywa intensywny wzrost. Wzrost ten można obserwować zarówno w sektorze budownictwa wielorodzinnego jak i indywidualnego. W tym drugim niestety dominują budynki typowe. Ich stosunek względem budownictwa indywidualnego wciąż rośnie. Głównie za sprawą ceny projektów typowych. Na przestrzeni ostatnich lat, oferta pod względem jakości architektury takich projektów znacznie polepszyła się. Inwestorzy wciąż najchętniej sięgają po projekty bogate w wyrazie, często inspirowane dworakami, które rzadko tworzą harmonijne i spokojne osiedla. Zdarza się, że jakość opracowań projektów typowych, zwłaszcza w zakresie energooszczędności, pozostawia wiele do życzenia. W związku z pojawieniem się programu dotującego budynki efektywne energetycznie pojawiło się wiele ofert budynków typowych jednorodzinnych w standardach energooszczędnych. Niestety, wiąże się to przeważnie z tzw. „wkładką” dodawaną do normalnego projektu. Dodatek ten sugeruje, w jaki sposób można, przynajmniej teoretycznie, doprowadzić taki projekt do miana energooszczędnego.

Czy w takim razie możliwe jest stworzenie projektu typowego, który będzie oferować nowoczesny, spójny wygląd w połączeniu z bardzo energooszczędnymi parametrami? I czy takie projekty są w stanie odpowiedzieć w jakimś stopniu na obecne i przyszłe zapotrzebowanie na budownictwo energetycznie efektywne?

2. Projekt indywidualny czy typowy?

2.1. Indywidualny czy typowy?

Porównując projekty indywidualne i typowe, te pierwsze przegrywają w oczach inwestorów przede wszystkim ceną. Oczywiście można polemizować, jaka jest realna cena pełnej dokumentacji budowlano-technicznej projektu typowego i o ile jest ona niższa. Jednak w przypadku budownictwa energooszczędnego cena dokumentacji typowej może być atrakcyjna zarówno dla inwestorów jak i projektantów. Projekt domu jednorodzinnego niskoenergetycznego czy pasywnego wymaga znacznie większego wkładu pracy ze strony projektantów wszystkich branż. To zwykle generuje wyższe koszty, które w przypadku projektów typowych mogą rozłożyć się na sprzedaży kilku dokumentacji. Dzięki temu, odbiorca końcowy może nie odczuć tak dużej różnicy w cenie za projekt.

Drugim powodem, dla którego tak często klienci sięgają na półkę z katalogiem gotowych projektów jest gotowy efekt finalny. Dokumentację dostajemy praktycznie natychmiast, ale – co wydaje się ważniejsze, inwestor od razu widzi jak potencjalnie będzie wyglądał jego przyszły dom. Osobom niezwiązanych z architekturą, często z trudem przychodzi wyobrażanie sobie ich wymarzonego domu, w czym powinien pomóc architekt. Jednak częstą obawą inwestorów jest efekt finalny jego pracy, który nie zawsze może zadowolić klienta, zwłaszcza pod kątem estetycznym i wizualnym. Dlatego, łatwiejszą drogą wydaje się zakup gotowego projektu budynku typowego. Jedną z barier we wdrażaniu energooszczędności w budownictwie, zwłaszcza jednorodzinnym, jest właśnie aspekt estetyczny. Inwestorzy błędnie sądzą, że dom, by był energooszczędny musi być bardzo prostą bryłą, pozbawioną detalu, swego rodzaju „termosem” bez możliwości otwierania okien. Wobec tego, uzasadnionym wydaje się propagowanie dobrych wzorców budownictwa niskoenergetycznego czy pasywnego właśnie w projektach typowych. Takie rozwiązanie daje możliwość zaprezentowania inwestorowi potencjału, jaki drzemie w projektach energooszczędnych.

Biorąc pod uwagę dwa główne czynniki różniące projekty typowe od indywidualnych, czyli koszt oraz gotowość dokumentacji, można wysnuć przypuszczenie, że projekty typowe mogą uczynić budownictwo energooszczędne bardziej dostępnym.

2.2. Uniwersalność projektów typowych

Budynki bardzo wysoko energooszczędne często wyróżniają się radykalnymi bryłami. Są to obiekty w całości podporządkowane energooszczędności. Ich wygląd zewnętrzny zwykle w dosyć mocny sposób odbiega od panujących standardów. Nie chodzi o stosowanie wyposażenia energooszczędnego, jak kolektory słoneczne czy ogniwa fotowoltaiczne, ale o ukształtowanie całej bryły tak, by w największym stopniu wykorzystać jej energetyczny potencjał. Są to często asymetryczne rozwiązania mocno ukierunkowane na południe, które wyraźnie odróżniają budynek od przeciętnych. Inwestorzy zdecydowani na zakup projektu typowego nie szukają przeważnie tak radykalnych i odważnych rozwiązań. Częściej, interesują ich budynki o standardowym wyrazie, niewyróżniające się tak mocnymi zabiegami. Takie podejście inwestorów można uznać za swego rodzaju barierę we wdrażaniu rozwiązań energooszczędnych, nie tylko w budownictwie typowym. Z drugiej strony, stwarza to dodatkowe wyzwanie dla projektantów, by proponowane przez nich budynki przeplatały rozwiązania energooszczędne z architekturą akceptowaną przez szerokie grono odbiorców. Biorąc jeszcze pod uwagę uniwersalność, jaką budynki typowe muszą się odznaczać z racji ich przeznaczenia, zagadnienie wyglądu w kontekście energooszczędności w budownictwie typowym wydaje się bardzo ważne.

Kluczowym wobec takiego podejścia wydaje się planowanie energooszczędności budynku już na samym początku procesu projektowego, zwłaszcza, jeżeli tyczy się to projektu typowego. Daje to możliwość pewnego rodzaju wplatania rozwiązań obniżających zapotrzebowanie energetyczne budynku bez negatywnego wpływu na jego wygląd zewnętrzny lub nawet na wzbogacenie go. Niniejsze zagadnienie zostanie przedstawione w oparciu o doświadczenia autora przy opracowaniu katalogu typowych projektów domów jednorodzinnych niskoenergetycznych i pasywnych w ramach projektu Domy Czystej Energii (DCE) realizowanego przez Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy. Jednym z podstawowych założeń odnośnie do projektowanych domów, oprócz osiągnięcia pożądanych profili energetycznych, było odejście od stereotypowego wyglądu tego typu budynków i dotarcie do przeciętnego inwestora. By tego dokonać, proponowane rozwiązania energooszczędne nie mogły w żaden sposób wpłynąć negatywnie na odbiór domów. Z drugiej strony zaoferowały on paletę dodatkowych rozwiązań z pogranicza energooszczędności i zabiegów formalnych.

3. Czynniki wpływające na energooszczędny wygląd

3.1. Balans

Projektowanie budynku energooszczędnego można w dużym uproszczeniu sprowadzić do balansowania pomiędzy zyskami i korzyściami. Podstawą, ze względu na zapotrzebowanie energetyczne, wydaje się zachowanie odpowiedniej równowagi pomiędzy stratami a zyskami ciepła i energii. Z drugiej strony, jest to balans pomiędzy kosztami, jakie generują rozwiązania energooszczędne a korzyściami, jakie przynoszą. Nie zawsze są one proporcjonalne do włożonych środków finansowych. W kontekście podjętego tematu, ważniejszym wydaje się jednak równowaga wizualna.

Budownictwo energooszczędne daje szereg możliwych rozwiązań, które wpływają przede wszystkim na obniżanie zapotrzebowania energetycznego, ale co równie ważne, na wygląd budynku. Można podzielić je pod kątem funkcji, którą spełniają: ochrona przed stratami ciepła [3], pozyskiwanie pasywne bądź aktywne zysków słonecznych [1] [5] czy ochrona przed przegrzewaniem [4]. Drugim podziałem może być zasięg ich działania, rozwiązania można uznać za główne i dodatkowe. Te pierwsze mają bezpośredni wpływ na bryłę budynku poprzez jej zwartość, strefowanie termiczne, ilość i rodzaj przeszkleń. Drugie są wyposażeniem dodatkowym, zarówno na zewnątrz budynku, jak np. kolektory słoneczne, oraz wewnątrz, jak wentylacja mechaniczna.

3.2. Obniżanie strat ciepła w typowym budynku jednorodzinnym

Zwartość bryły

Podstawowym narzędziem, którym mogą posługiwać się projektanci, jest zwartość bryły. Ograniczenie powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury budynku w znaczący sposób może wpłynąć na jego energooszczędność, jak również docelowy wygląd zewnętrzny. Często, budynki o obniżonym zapotrzebowaniu energetycznym, charakteryzują się prostszymi, mniej rozrzeźbionymi bryłami. Mniejsza powierzchnia przegród zewnętrznych to mniej powierzchni odprowadzającej ciepło nagromadzone w budynku. Dodatkowo, ogranicza to niewralgiczne miejsca, w których potencjalnie mogą wystą-

pić tzw. mostki termiczne. Biorąc pod uwagę znaczenie współczynnika kształtu A/V^2 , najodpowiedniejszymi bryłami są kula i sześcian, które niekoniecznie mogą być realne lub atrakcyjne dla przeciętnego inwestora.

By uatrakcyjnić bryłowo typowy budynek jednorodzinny o standardzie energooszczędnym można posłużyć się podziałem budynku na dwie bryły – ogrzewaną i nieogrzewaną. W pierwszej znajduje się zasadnicza część budynku, czyli pomieszczenia mieszkalne wymagające ogrzewania. Drugą część stanowią pomieszczenia dodatkowe, jak garaż, które mogą być nieogrzewane. Dzięki fizycznemu rozdzieleniu dwóch brył, z punktu widzenia oszczędności energii, uzyskujemy o wiele mniejszą kubaturę ogrzewaną niż w przypadku np. wbudowanego garażu. Jednak, co ważne w kontekście opisywanego tematu, uzyskujemy budynek o bardziej skomplikowanej bryle zewnętrznej, potencjalnie bardziej atrakcyjnej dla inwestora. Przykładem może być budynek „Frontowy” z katalogu DCE, w którym widać wyraźny podział na bryłę ogrzewaną (il. 1, oznaczona kolorem czerwonym) i nieogrzewaną (il. 1, oznaczona kolorem niebieskim). Dodatkowo, pomiędzy tymi bryłami został wprowadzony łącznik w postaci wiatrołapu (il. 1, oznaczony kolorem zielonym). Pełni on rolę buforu pomiędzy częścią wymagającą ogrzewania a częścią gospodarczą jednocześnie uatrakcyjniając wygląd zewnętrzny budynku. Dzięki temu, budynek nabiera ciekawszej, bardziej rozbudowanej formy pozostając, z punktu widzenia obliczeń energetycznych, prostą, nieskomplikowaną bryłą.



Il. 1. Dom „Frontowy”, autor: arch. D. Palmączyńska, DCE.

² Współczynnik kształtu budynku – stosunek pola powierzchni przegród zewnętrznych A do kubatury ogrzewanej V (wartości określone po wymiarach zewnętrznych budynku). Im mniejszy stosunek A/V tym zapotrzebowanie energetyczne budynku jest mniejsze [7].

Idąc dalej, można rozważyć całkowitą rezygnację z przydomowego garażu. Biorąc pod uwagę niewielkie działki podmiejskie, takie rozwiązanie może również zaowocować oszczędnością dostępnego terenu pod budowę domu. Brak wbudowanej, nieogrzewanej kubatury również w pozytywny sposób wpłynie na obniżenie zapotrzebowania na energię. By uatrakcyjnić wygląd takiego domu, można podkreślać zarówno jego nowoczesny charakter (il. 2 Dom „Minimalny”) jak również bardziej spokojny, czasem nawet skandynawski wygląd (il. 3 Dom „Skandynawski”).



Il. 2. Dom „Minimalny”,
autor: arch. P. Michalski, DCE.



Il. 3. Dom „Skandynawski”,
autor: arch. D. Palmączyńska, DCE

Strefowanie termiczne

Innym zagadnieniem, ważnym dla projektu energooszczędnego domu jednorodzinnego jest strefowanie termiczne pomieszczeń. Choć ma ono jedynie pośredni wpływ na wygląd zewnętrzny, to w bardzo mocnym stopniu przekłada się na wnętrze budynku.

Strefowanie termiczne pomieszczeń podzielić można na dwie grupy: zależnej od projektowanej temperatury oraz zależnej od sposobu użytkowania po-



Il. 4. Dom „Zielony”, autor: arch. D. Palmączyńska, DCE



Il. 5. Dom „Solarny”, autor: arch. A. Bać, DCE

mieszkań. Pierwsza grupa odnosi się przede wszystkim do lokalizacji łazienek w domu jednorodzinnym, w których projektowana temperatura powinna wynosić 24°C [10]. Jako najcieplejsze pomieszczenia, nie powinny one być sytuowane przy północnej elewacji budynku, która narażona jest na największe wychładzanie. Dzięki temu, można ograniczyć straty ciepła przez przenikanie przez ścianę zewnętrzną. Dodatkowo, ciepło z łazienki w pośredni sposób dogrzewa pozostałe pomieszczenia w budynku. Przykładem takiego rozwiązania może być dom „Zielony” (il. 4), gdzie zarówno łazienka na parterze jak i obie łazienki na piętrze są w centralnym punkcie kondygnacji.

Drugi sposób strefowania termicznego odnosi się do sposobu wykorzystania pomieszczeń. Tyczy się to zarówno długości pobytu użytkowników jak i przeważającego czasu w ciągu dnia, w którym dane pomieszczenie jest wykorzystywane. Pomieszczenia nieprzeznaczone na dłuższy pobyt, jak pomieszczenia techniczne, wiatrołapy czy np. przechodnie garderoby (il. 5, oznaczono kolorem niebieskim) mogą występować przy północnej elewacji. W tych pomieszczeniach nie są wymagane przeszklenia a więc mała ilość światła dziennego nie będzie przeszkodą. Natomiast pomieszczenia, w których użytkownicy spędzają większość czasu (il. 5, oznaczono kolorem zielonym) powinny być lokowane możliwie przy elewacji południowej, która, daje największe możliwości wykorzystania światła słonecznego. Pozwoli to w największym stopniu wykorzystać pasywne zyski słoneczne. Oprócz ograniczania zapotrzebowania na energię na ogrzewanie, strefowanie pomieszczeń może również umożliwić bardziej efektywne wykorzystanie światła dziennego. Można to osiągnąć przez lokowanie pomieszczeń przy elewacjach wschodnich, południowych i zachodnich w zależności od pory dnia, w której będą one najczęściej użytkowane, np. sypialnie dzieci od zachodu dają możliwość wykorzystania naturalnego światła podczas nauki w godzinach popołudniowych.

Ograniczanie mostków termicznych w obudowie budynku

Jednym z ważniejszych zagadnień dotyczących bryły budynków o standardzie energooszczędnym jest ograniczanie mostków termicznych. Jak było wspomniane wcześniej, sprzyja temu przede wszystkim zwarta bryła, jednak mogą w niej występować miejsca przebicia ciągłości izolacji termicznej. Takimi miejscami w domach jednorodzinnych często są wystające elementy jak balkony, zadaszenia nad wejściami czy montaż zewnętrznych elementów zacieniających bądź okładzin ściennych. Istnieje wiele rozwiązań systemowych, dzięki którym ilość takich mostków można skutecznie zredukować. Biorąc jednak pod uwagę opisywaną tematykę jednorodzinnych domów typowych, rozwiązania sugerowane w takich projektach powinny być możliwie najprostsze oraz ekonomicznie atrakcyjne.

W przypadku budowy domów jednorodzinnych, często pomijanym detailem, w kontekście mostków termicznych, jest montaż okładzin ściennych oraz elementów takich jak kasety żaluzji zewnętrznych czy prowadnice okiennic. Rezygnacja z ich montażu niewątpliwie negatywnie wpłynęłaby zarówno na estetykę budynku jak i na walory energooszczędności (brak elementów zacieniających). Często, takie elementy montowane są za pomocą najprostszych stalowych kotew, które przebijając na wylot warstwę izolacji termicznej tworzą potężne mostki termiczne. Rozwiązaniem, które nie pogorszy wyglądu zewnętrznego, a co najważniejsze, poprawi warunki izolacyjności termicznej, może być stosowanie elementów drewnianych bądź drewnopochodnych, jako pośrednie elementy montażu. Są to m.in. belki dwuteowe z drewna klejonego, które kotwione do warstwy nośnej ściany zewnętrznej przechodzą przez całą grubość izolacji termicznej tworząc płaszczyznę, do której możliwe jest montowanie elementów zewnętrznych. Pomimo przebicia termoizolacji, tak



II. 6. Dom „Orkisz”,
autor: arch. A. Bać, DCE



II. 7. Dom „Balkonowy”,
autor: arch. K. Cebat, DCE

rozwiązane mocowanie, z racji małej przewodności cieplnej drewna, nie pogarsza znacząco izolacyjności przegrody. Co ważne z punktu widzenia inwestora, taka metoda nie generuje znacznie większych kosztów budowy jak gotowe rozwiązania systemowe.

Problemem innego typu są elementy wystające z obudowy budynku. Przeważnie są to balkony bądź konstrukcje zadaszeń, które są istotne zarówno z funkcjonalnego jak i energooszczędnego punktu widzenia. Często pełnią one rolę systemów zacieniających, z których rezygnacja wiązałaby się z pogorszeniem warunków ciepłych wewnątrz budynku. Najbardziej efektywnym rozwiązaniem tego problemu jest wznoszenie niezależnych konstrukcji niezwiązanych z obudową budynku. Mogą to być konstrukcje zarówno drewniane jak i stalowe posadowione na własnych fundamentach. Ich rolą może być jedynie zacienianie, jak w przypadku pergol (il. 6), lub mogą to być balkony o nieograniczonych rozmiarach (il. 7). Wykonanie niezależnych konstrukcji z jednej strony powoduje całkowite ograniczenie przebieg warstwy izolacyjnej, jak również ogranicza dodatkowe elementy wchodzące w kubaturę ogrzewaną budynku.

3.3. Zyski słoneczne a wygląd budynku

Jedną ze składowych wpływających na zapotrzebowanie budynku na energię są zyski, jakie czerpie on z energii słonecznej. Energia ta czerpana może być w sposób pasywny lub aktywny. Pierwszy wykorzystuje promienie słoneczne do ogrzewania pomieszczeń przez przeszklenia i nie wymaga dodatkowych działań ze strony użytkownika. Sposób aktywny wymaga stosowania odpowiednich urządzeń jak kolektory słoneczne czy ogniwa fotowoltaiczne.

Wykorzystanie pasywnych zysków słonecznych

Pasywne zyski słoneczne podzielić można na bezpośrednie i pośrednie. Zyski bezpośrednie są najprostszym pasywnym systemem grzewczym. Ich zasada działania oparta jest na doprowadzeniu jak największej ilości promieni słonecznych przez przeszklenia do wnętrza budynku. Doprowadzona energia kumulowana jest w przegrodach budynku i przekazywana do powietrza wewnętrznego, czego skutkiem jest wzrost temperatury. Ten sposób wykorzystania energii słonecznej charakteryzuje się wysoką sprawnością chwilową oraz dużą zmiennością zależną bezpośrednio od promieniowania słonecznego. System wymaga stosowania odpowiednich form zacieniających (opisane w dal-

szej części opracowania), by przeciwdziałać przegrzewaniu w okresach letnich. System zysków pośrednich wpływa na zmniejszenie wahań temperaturowych wewnątrz budynku za pośrednictwem odizolowania wnętrza od promieniowania słonecznego przez elementy magazynujące energię, jak np. masywne ściany. Przykładem takiego rozwiązania może być ściana Trombe'a, która działa na zasadzie podwójnej fasady złożonej z przeszklenia, umożliwiającego dopływ promieni słonecznych, pustki powietrznej i ściany, która działa jako magazyn energii. Taki system daje możliwość akumulowania energii słonecznej w ciągu dnia i równomiernego oddawania w nocy, co wpływa na mniejsze wahania temperaturowe wnętrza.



Il. 8. Dom „Panorama”, autor: arch. D. Palmączyńska, DCE

Podstawowym parametrem wpływającym na możliwość wykorzystania zysków słonecznych jest orientacja budynku. Duże przeszklenia od strony południowej umożliwiają największy dostęp promieni słonecznych do wnętrza budynku przez większą część dnia. Według badań Passivehaus Institut [6], zwiększanie powierzchni przeszklonej na elewacji południowej, przy zastosowaniu okien o podwyższonych parametrach, prowadzi do ograniczenia rocznego zapotrzebowania na energię na cele grzewcze nawet o 1000 kWh/rok. Jednym z przykładów nastawienia bryły na jak największe zyski słoneczne jest projekt „Panorama” (il. 8), gdzie



Il. 9. Dom „Ukryty”, autor: arch. P. Michalski, DCE

elewacja południowa została nieznacznie ścięta. Taki zabieg pozwolił skierować duże powierzchnie okien w kierunku południowo-wschodnim i południowo-zachodnim. Dało to lepszy dostęp światła dziennego o określonych porach, w których dane pomieszczenia są najczęściej użytkowane.



Il. 10. Dom „Z oranżerią”, autor: arch. D. Palmączyńska, DCE.

Należy jednak pamiętać o optymalizacji wszystkich elewacji zarówno pod kątem zysków i strat ciepła czy naturalnego doświetlenia. Dostępne na rynku okna są nadal kilkakrotnie gorsze pod względem współczynnika przenikania ciepła od pełnych przegród. Stąd ich liczba na elewacji północnej powinna być ograniczona do minimum. Właśnie z tym zabiegiem, często negatywnie są kojarzone budynki energooszczędne przez inwestorów. Brak okien może jednak zostać potraktowany jako motyw przewodni budynku, jak w przypadku domu „Ukryty” (il. 9), w którym zrezygnowano z otworów na elewacji północnej. Zostały pozostawione jedynie drzwi wejściowe, które dodatkowo zostały ukryte za wolnostojącym garażem.

Innym, możliwym sposobem wykorzystania pasywnych zysków słonecznych są ogrody zimowe lub oranżerie (il. 10). Wbudowanie takiej funkcji w bryłę budynku wpływa zarówno na energooszczędność jak i na wygląd zewnętrzny i wewnętrzny budynku. Ogrody zimowe czy oranżerie zlokalizowane przy południowych elewacjach mogą tworzyć bufor termiczny oraz wprowadzać naturalnie wymuszoną cyrkulację powietrza.

Istotnym, z wizualnego punktu widzenia jest również podział okien. Jak już zostało wspomniane wcześniej, dostępne okna posiadają wciąż o wiele gorsze parametry termoizolacyjne od pełnych przegród zewnętrznych. Pogarszanie ich wiązałoby się z nadmiernymi stratami ciepła. O ile wielu projektantów zwraca uwagę na współczynnik przenikania ciepła, nie każdy pamięta o negatywnym wpływie podziałów okiennych. W przypadku okien, to szyby cha-

rakteryzują się lepszym współczynnikiem przenikania ciepła, stąd należy dążyć do ograniczenia ilości ramy. W przypadku okna, w którym udział ram z 12% został zwiększony do 29% (przez dodanie dodatkowym szprosów), współczynnik U_w wzrósł o 20% [8].

Aktywne wykorzystanie zysków słonecznych

W przypadku aktywnego wykorzystania zysków słonecznych, można wyróżnić pozyskiwanie energii cieplnej oraz wytwarzanie prądu elektrycznego. W przypadku budownictwa typowego wykorzystuje się przeważnie połacie dachów skierowane na południe i posiadające nachylenie ok. 30°. Zdarzają się jednak projekty, których bryła jest o wiele bardziej podporządkowana temu zagadnieniu. Przykładem może być dom „Zygzak” (il. 11). Wprowadzenie przełamania bryły, zaprojektowanej na osi północ-południe, dało możliwość uzyskania połaci dachu skierowanych bezpośrednio na południe.



Il.11. Dom „Zygzak”, autor: arch. K. Cebat, DCE

Inne zastosowanie ogniw fotowoltaicznych, może być podyktowane bardziej względami estetycznymi niż energetycznymi i mogą one zostać wkomponowywane w bryłę budynku. Montaż ogniw w pozycji pionowej niestety ogranicza ich sprawność, z czym użytkownik musi się liczyć, jednak może pozytywnie wpłynąć na wygląd budynku. W projekcie domu „Prostokątny” (il. 12), ogniwa zostały wkomponowane w okładzinę elewacyjną. Rozkrój płyt został dopasowany do modułów paneli słonecznych, dzięki czemu są one w naturalny sposób wkomponowane w całą bryłę.

Podobnie ogniwa zostały wkomponowane w bryłę domu „Ukryty” (il. 13) jednak w postaci balustrady balkonu. Takie wykorzystanie paneli, może nie wykorzystuje w pełni ich potencjału, ale staje się atrakcyjnym elementem



Il. 12. Dom „Prostokątny”,
autor: arch. P. Michalski, DCE



Il. 13. Dom „Ukryty”,
autor: arch. P. Michalski, DCE

dla inwestora. Dzięki temu, wygląd budynku może być kształtowany za pomocą energooszczędnego wyposażenia.

3.4. Wpływ systemów zaciniających na wygląd budynku

Zaprojektowanie budynku tak, by w jak największym stopniu czerpał korzyści z pasywnych zysków słonecznych, może wiązać się z przegrzewaniem w okresie letnim. Istnieje szereg systemów zaciniających, które można wykorzystać w projekcie domu jednorodzinnego. Biorąc pod uwagę specyfikę budownictwa typowego, nie wszystkie z nich są równie adekwatne. Najprostszymi i najbardziej naturalnymi sposobami zaciniania, w postaci drzew liściastych, nie do końca może być w tym przypadku rozpatrywany. Autor projektu typowego nie ma wpływu na zagospodarowanie terenu a projekt tworzony jest na wirtualnej działce. Dlatego w takim projekcie należy uwzględnić jeden z systemów wbudowanych w bryłę budynku. Można podzielić je na elementy stałe i ruchome.

Najprostszym rozwiązaniem stałego zacinienia są wysunięte elementy budynku. Mogą to być okapy dachów o odpowiedniej długości, jak również zadaszenia nad tarasami. Takie rozwiązanie zaobserwować można w domu „Solarny” (il. 14). Odpowiednio dobrany wysięg dachów daje pełną osłonę od bezpośredniego światła słonecznego w okresie letnim, ale nie blokuje go w zimie tak, by w pełni wykorzystać pasywne zyski solarne. Innymi elementami zaciniającymi mogą być zadaszenia z ogniw fotowoltaicznych (il. 15). Takie rozwiązanie daje możliwość podwójnego wykorzystania tych urządzeń, a zawieszenie ich w wolnej przestrzeni dodatkowo pomaga w ich chłodzeniu, co wpływa na większą wydajność.



Il.14. Dom „Solarny”,
autor: arch. A. Bać, DCE



Il.15. Dom „Mały i wąski”,
autor: arch. D. Palmączyńska, DCE

Dobrym rozwiązaniem są również wszelkiego rodzaju konstrukcje dostawiane do południowej strony domu. Jednym z takich rozwiązań mogą być pergole (il. 15). Odpowiednio dobrana zieleń tworzy gęstą powłokę, która zacienia w okresie letnim. W zimie, rośliny gubiąc liście odsłaniają dostęp promieni słonecznych. Innym rozwiązaniem mogą być balkony (il. 7), które spełniają tę samą rolę. Ich wspólnym mianownikiem jest również to, że wznoszone są na odrębnych konstrukcjach bez perforowania warstwy termoizolacji budynku.

Podstawowym ruchomym systemem zacieniającym są zewnętrzne żaluzje poziome. Ze względu na użytkowość, ich stopień zacieniania każdorazowo dobierany jest przez użytkownika. Z jednej strony daje to możliwość pełnej kontroli z drugiej system ten może być nieefektywny w momencie, gdy użytkownik go nie użyje. Z punktu widzenia estetyki budynku, rozwiązanie to daje możliwość podkreślenia nowoczesnego wyglądu. Kolor żaluzji może zostać dobrany do koloru elewacji (il. 12), co tworzy jej dopełnienie w chwili rozsunięcia. Innym rodzajem mobilnych systemów



Il.16. Dom „Przestronny”,
autor: arch. D. Palmączyńska



Il.17. Dom „Otulony”,
autor: arch. J. Likus, A. Bać, DCE

zaczynających są okiennice. Można wyróżnić ich dwa rodzaje: tradycyjne i przesuwne. Ich skuteczność jest analogiczna do żaluzji zewnętrznych za to dzięki odpowiedniemu użyciu można podkreślić różne charaktery zabudowy. Okiennice na zawiasach kojarzone są z tradycyjną zabudową i dzięki ich zastosowaniu można podkreślić ciepły charakter budynku (il. 16). Za to, zastosowanie okiennic przesuwnych, podkreślić może bardziej nowoczesny, modernistyczny charakter bryły (il 17).

3.5. Styl a powtarzalność

W kontekście omawianej tematyki wygląd jest przynajmniej tak ważny jak energooszczędność. W zasadzie jest to wygląd wynikający bezpośrednio z energooszczędności. Specyfika opisywanego rodzaju projektów domów jednorodzinnych często polega na „kupowaniu oczami”. Inwestorzy posiadający dostęp do niezliczonych katalogów dokumentacji, w pierwszej kolejności wybierają to, co przypada im do gustu, jeżeli chodzi o wygląd zewnętrzny. W trakcie tworzenia projektów w ramach DCE postanowiono wprowadzić trzy warianty każdego z domów przy zachowaniu tego samego układu funkcjonalnego. Jest to wariant nowoczesny, klasyczny oraz ekonomiczny. Zasadniczą różnicą pomiędzy nimi jest wygląd zewnętrzny. Wariant nowoczesny (il. 18) charakteryzuje się minimalistyczną formą wykorzystującą nowe materiały wykończeniowe oraz stara się wkomponowywać nowoczesne technologie w bryły budynków. Często wykorzystywane są również żaluzje zewnętrzne, jako sposób zacieniania wnętrza. Styl klasyczny (il. 19) to ukłon w kierunku inwestorów o bardziej tradycyjnych upodobaniach. Elewacje przeważnie pokryte są okładzinami kamiennymi oraz występują elementy ocieplające wygląd, jak pergole



Il. 18. Dom „Twin Modern”,
autor: arch. P. Michalski, DCE



Il. 19. Dom „Twin Classic”,
autor: arch. P. Michalski, DCE



Il. 20. Dom „Twin Economic”,
autor: arch. P. Michalski, DCE

z zielenią, a jako zacienianie wykorzystywane są drewniane okiennice. Wersja ekonomiczna (il. 20) oparta została o ideę oszczędnego wykończenia z uwzględnieniem wszelkich zasad energooszczędności. Zrezygowano w niej z droższych okładzin czy żaluzji zewnętrznych. W niektórych projektach, domy zostały pozbawione wykuszy, by jeszcze bardziej obniżyć budżet. Daje to szansę mniej zamożnym inwestorom na realizację budynków w standardach energooszczędnych.

4. Podsumowanie

Opisane studium przypadku typowych energooszczędnych domów jednorodzinnych w ramach projektu Domy Czystej Energii przedstawia szereg rozwiązań, których wpływ na mniejsze zapotrzebowanie energetyczne przekłada się na wygląd budynku. Tworzenie typowej zabudowy niskoenergetycznej jest zagadnieniem szczególnym. W trakcie procesu projektowego należy brać pod uwagę również uniwersalność, która poniekąd stoi w sprzeczności z ideą energooszczędności.

Niższe zapotrzebowanie energetyczne domu jednorodzinnego nie zawsze musi wiązać się z nadmiernymi nakładami finansowymi i specyficznym wyglądem zewnętrznym. Taki budynek powinien charakteryzować się przede wszystkim poprawnym układem funkcjonalnym. Strefowanie termiczne i zwartość bryły to rozwiązania, które nie generują dodatkowych kosztów, a ich wpływ na ograniczenie zużycia energii w budynku jest znaczny. O ile w przypadku budownictwa indywidualnego, całkowite podporządkowanie bryły pod kątem zysków słonecznych jest dość częstą praktyką, o tyle w przypadku budownictwa typowego nie każdy inwestor jest skłonny do takich rozwiązań. Stąd typowe energooszczędne domy jednorodzinne muszą charakteryzować się również powściągliwością w odniesieniu do specjalistycznych i specyficznych rozwiązań obniżających zapotrzebowanie energetyczne. Zaprezentowane przez autora działania wykorzystane w projektach DCE pokazują, że typowe domy jednorodzinne mogą być zarówno energooszczędne, jak i akceptowalne pod względem wyglądu dla szerokiego grona odbiorców. Może się to przełożyć, w kontekście nadchodzących zmian prawnych, na rozpropagowanie budownictwa energooszczędnego w Polsce.

Bibliografia

- [1] Celadyn W., Czynniki energetyczne w kształtowaniu architektonicznym, Archivolta, 2/1999.
- [2] Centrum Technologii Energetycznych: Regionalny model współpracy województwo dolnośląskie, opolskie i śląskie. Raport, Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy. Świdnica 2013.
- [3] Dunster B., Zero Energy Standards, [w]: The Green Building Bible, Green Building Press, Llandysul 2005.
- [4] Gevorkian P., Sustainable Energy Systems in Architectural Design, McGraw-Hill, 2006.
- [5] Herzog T., Solar energy in architecture and urban planning, Prestel 1998.
- [6] [http://passipedia.org/examples/residential_buildings/single_family_houses/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany?s\[\]=fenster&s\[\]=ph&s\[\]=groesse](http://passipedia.org/examples/residential_buildings/single_family_houses/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany?s[]=fenster&s[]=ph&s[]=groesse). Dostęp 28.10.2014.
- [7] Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Określenie podstawowych wymogów, niezbędnych do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkaniowych oraz sposobu weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych. Warszawa 2012.
- [8] Nowak, Ł.: Wpływ wybranych decyzji projektowych na bilans cieplny iskoenergetycznych budynków jednorodzinnych. Dokument elektroniczny, Wrocław 2013.
- [9] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 18.6.2010
- [10] Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie, Dz.U. 2002 Nr 75 poz. 690 wraz z zmianami: Dz. U. poz. 926 z dnia 31.08.2013 r.

FORMATION OF LOW-ENERGY SOLUTIONS IN STANDARD PROJECTS

Higher investment costs and unusual appearance of buildings are frequent barriers of implementation of energy efficiency in Poland. Taking into account the changing requirements, lowering the energy consumption is inevitable. Currently, one of the fastest growing areas of energy-efficient building industry in Poland is single-family housing.

The chapter presents a case study of energy efficient standard single-family houses projects. It describes the issue of impact of solutions lowering the energy consumption on the appearance

of the building. Presented examples show the possible synergy between these two aspects. The paper tries to answer the questions whether the implementation of such solutions, from the perspective of a potential investor, must be at the expense of aesthetic and if standard energy-efficient projects can contribute to the implementation of energy efficiency in Poland.

ROZDZIAŁ 12

FASADA JAKO WIELOFUNKCYJNY KOMPONENT BUDYNKU

Wpływ wentylacji naturalnej na funkcjonowanie budynku zależy od optymalnego dopasowania szeregu elementów składowych, takich jak elewacje (fasady) budynku, forma/kształt/wielkości architektoniczne, rodzaj konstrukcji oraz systemy HVAC i sterowania.

Poniższy artykuł opisuje możliwe funkcje fasady i jej potencjał w kształtowaniu komfortu wewnątrz przy minimalnym zużyciu energii. Przedstawiono wyniki badań uniwersyteckich oraz pomiarów z szeregu instalacji badawczych i rzeczywistych budynków. Jako wynik końcowy, zaprezentowane zostały różne rozwiązania fasady i skojarzonego systemu wentylacji naturalnej.

Optymalizacja fasady i jej precyzyjne dopasowanie do innych elementów budynku jest kluczowe dla zapewnienia wysokiego komfortu wewnątrz przy minimalnym zużyciu energii i redukcji kosztów inwestycyjnych.

1. Wprowadzenie

Potrzeba zredukowania zużycia energii zachęca architektów i inżynierów do poszukiwania bardziej oszczędnych technologii i optymalizacji całościowego projektu budynku, tak aby zapewnić minimalne zapotrzebowanie na energię, przy jednoczesnym zapewnieniu funkcji użytkowych i komfortu budynku oraz ograniczaniu kosztów.

Jednym z elementów mających wpływ zarówno na komfort, jak i zużycie energii jest fasada budynku, która nadając budynkowi wyraz architektoniczny, jednocześnie stanowi przegrodę termiczną i akustyczną, ochronę przeciwsłoneczną, a także w niektórych przypadkach źródło światła, świeżego powietrza lub chłodu. Dobór fasady ma więc kluczowe znaczenie w optymalizacji budynku pod kątem komfortu i energetycznym.

Celem przeprowadzonych analiz jest określenie wpływu fasady i jej parametrów na zdolność kształtowania komfortu wewnątrz budynku oraz określenie funkcji systemu HVAC oraz kontroli, tak aby wspomóc funkcjonowanie fasady i wykorzystać jej pełny potencjał.



Il. 1. Stanowiska pomiarowe TU Delft i budynek firmy Unica, w których dokonano pomiarów [8].

Analizy zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu pomiarów w rzeczywistych budynkach, pomiarów laboratoryjnych, jak też z użyciem szerokiego wachlarza symulacji.

2. Konfiguracja fasad

Przeszkłona fasada budynku może być opisana przez szereg jej elementów składowych, których dobór ma wpływ na funkcjonowanie budynku. Parametry te można podsumować następująco:

- powierzchnia przeszkleń,
- ilość komór zamkniętych hermetycznie i rama okienna,
- obecność przestrzeni wentylowanej,
- głębokość i wysokość przestrzeni wentylowanej,
- otwory wentylacyjne (lokalizacja/orientacja/ilość/wielkość),
- rodzaj szkła,
- rodzaj i lokalizacja systemu przeciwsłonecznego,
- kontrola.

Powyższe parametry mogą opisać zarówno najprostszą fasadę, wykorzystującą jednokomorowe okna z żaluzjami wewnętrznymi, jak i podwójną fasadę ze zintegrowanymi żaluzjami i kontrolowanymi otworami wentylacyjnymi. Dobór poszczególnych składników fasady pozwoli w większym lub mniejszym stopniu przypisać jej rolę, którą można określić następująco:

- ograniczenie strat ciepła (przegroda termiczna),
- ograniczenie zysków słonecznych,
- zapewnienie doświetlenia światłem dziennym,
- izolacja akustyczna,
- wentylacja budynku,
- odzysk ciepła od słońca.

Tabela poniżej w uproszczony sposób opisuje wpływ doboru poszczególnych elementów składowych fasady na wypełnienie poszczególnych funkcji.

Tabela 1. Wpływ poszczególnych parametrów fasady na jej zastosowanie [6].

Parametr	Wpływ parametru na zastosowanie:				
	Ograniczenie strat ciepła	Ograniczenie zysków słonecznych / doświetlenie światłem dziennym	Wentylacja	Akustyka	Odzysk ciepła ze słońca
Powierzchnia przeszkleń	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie
Ilość komór hermetycznych	Tak	Nie	Nie	Tak	Nie
Obecność przestrzeni wentylowanej	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak
Wymiary przestrzeni wentylowanej	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak
Otwory wentylacyjne	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak
Rodzaj szkła	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak
System przeciwsłoneczny	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak

Odpowiedni dobór poszczególnych elementów fasady może pozwolić na zmaksymalizowanie jakości fasady i jej zdolność do spełnienia określonej funkcji.

Na przykład, zastosowanie ściany dwuwarstwowej może ograniczyć straty ciepła nie więcej niż o około 20%, dlatego wpływ doboru pierwotnego okna o optymalnej wielkości jest kluczowy dla zminimalizowania strat ciepła w budynku.

W celu ochrony przeciwsłonecznej i doświetlenia wnętrza światłem dziennym, najbardziej kluczowym elementem pozostaje rodzaj szkła oraz dobór systemu przeciwsłonecznego. Inne elementy pośrednio wpływają na efektywność fasady, np. ściana dwuwarstwowa zapewnia ochronę mechaniczną dla żaluzji zamontowanych na zewnątrz okna.

Tabela poniżej podsumowuje wpływ doboru okapu oraz żaluzji na zmianę wartości G; co obrazuje, jak wielki wpływ na zyski ciepła od słońca ma dobór systemu przeciwsłonecznego.

Tabela 2. Wpływ systemów przeciwsłonecznych na ochronę słoneczną fasady [6]

L.p.	Długość okapu / wysokość fasady	Obecność żaluzji	Wartość G	Przyrost temperatury		
				Żaluzje	Przestrzeń wentylowana	Wewnętrzna powierzchnia fasady
1	0	Nie	0.578	–	3.44	15.8
		Tak	0.101	28.8	4.8	11.9
2	0.2	Nie	0.48	–	3.0	13.4
		Tak	0.096	24.2	4.1	9.95
3	0.4	Nie	0.36	–	2.44	10.64
		Tak	0.093	19.6	3.4	8.13
4	0.6	Nie	0.26	–	1.84	7.76
		Tak	0.09	15.0	2.69	6.2
5	0.8	Nie	0.24	–	1.67	6.5
		Tak	0.088	12.9	2.37	5.21

Pomijając zastosowanie typowych systemów przeciwsłonecznych, takich jak okap, żaluzje czy powłoki szklane, zacienienie można uzyskać np. poprzez zastosowanie roślin. Rośliny, absorbując promieniowanie słoneczne, zamieniają ok 60% energii w ciepło utajone, co powoduje, że przyrost temperatury liści jest dużo mniejszy niż w przypadku żaluzji. Badania doboru i wykorzystania roślin potwierdziły ich zdolność do stworzenia efektywnej ochrony przeciwsłonecznej.

Tabela 3. Porównanie roślin i żaluzji jako systemu przeciwsłonecznego [7].

				Przyrost temperatury		
System przeciwsłoneczny		Wartość G	Wartość U	Elementu przeciwsłonecznego	Przestrzeni powietrznej	Wewnętrznej powierzchni fasady
	Brak	0.577	1.2	----	8.0	10.7
	Rośliny	0.117	1.01	6.4	5.5	6.9
	Żaluzje	0.121	1.05	12.7	8.3	8.6

Fasada może też pełnić aktywną rolę w wentylacji. Zapewnienie otwieralnych okien pozwala na przewietrzanie budynku, stwarza to problemy w postaci braku kontroli intensywności wentylacji, brak możliwości podgrzania powietrza wentylującego oraz związane z tym ryzyko dyskomfortu cieplnego. Powyższe rzutuje na ograniczenie zastosowania wentylacji naturalnej do umiarkowanych okresów ciepłych. Aby wykorzystać pełny potencjał wentylacji naturalnej, należy skomponować fasadę, tak aby:

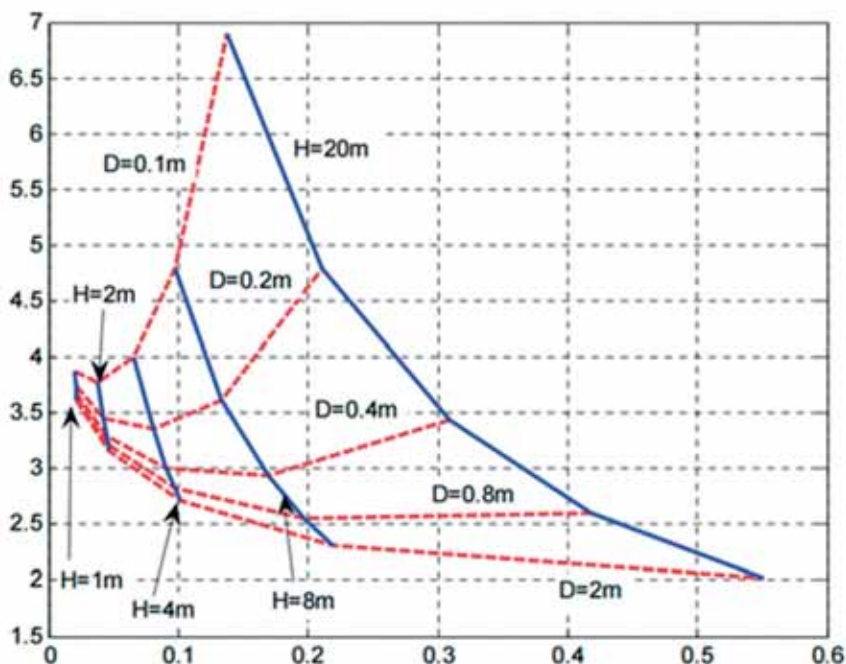
- zminimalizować wpływ wahań wiatru na intensywność wentylacji,
- zmaksymalizować możliwość odzysku ciepła np. od słońca,
- nawiewać powietrze możliwie z dala od strefy przebywania ludzi,
- zapewnić kontrolę przepływu powietrza w celu dostarczenia jedynie wymaganej ilości powietrza,
- zapewnić możliwość redukcji dyskomfortu poprzez np. zastosowanie ogrzewania w newralgicznych lokalizacjach lub masy budynku do stabilizacji temperatury.

Odpowiednie uwzględnienie powyższych wskazówek pozwoli na wydłużenie okresu przydatności wentylacji naturalnej z okresu umiarkowanego do okresów zimowych i letnich. Ewentualna wentylacja i klimatyzacja mechaniczna, jeżeli będzie wymagana, będzie mogła być w dużym stopniu zminimalizowana i wykorzystywana jedynie w skrajnych okresach roku.

Rozwiązaniem, które w dużym stopniu może sprostać powyższym wymaganiom jest fasada podwójna, w której zastosowanie pustki powietrznej tworzy bufor pomiędzy powietrzem zewnętrznym i wnętrzem budynku. Pozwala to na zminimalizowanie wpływu wahań wiatru na strumień wentylacyjny, pomaga w kontroli przepływu powietrza, zapewnia ochronę dla żaluzji maksymalizując ochronę przeciwsłoneczną oraz pozwala na umiarkowany odzysk ciepła ze słońca do powietrza wentylacyjnego o sprawności maksymalnie 30-40% w czasie typowego dnia o średnim nasłonecznieniu.

Charakterystykę funkcjonowania fasady podwójnej przedstawiono na wykresach poniżej.

Poniższy wykres obrazuje wpływ doboru wymiarów fasady na sprawność odzysku ciepła w fasadzie. Zdolność do podgrzania zewnętrznego powietrza w przestrzeni fasady pozwala na wykorzystanie powietrza zewnętrznego do wentylacji budynku w okresie jesiennym i zimowym.

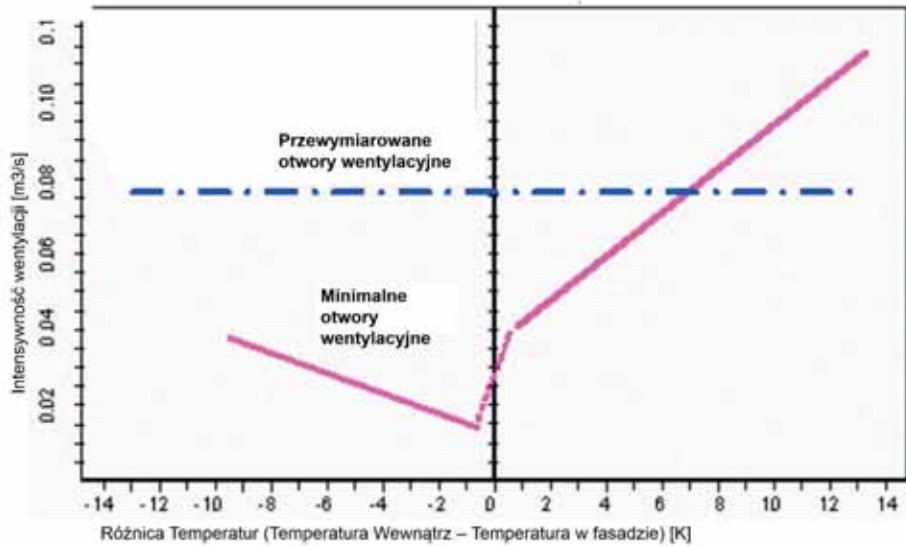


II. 2. Wpływ wymiarów fasady podwójnej na przyrost temperatur w okresie zimowym [6]

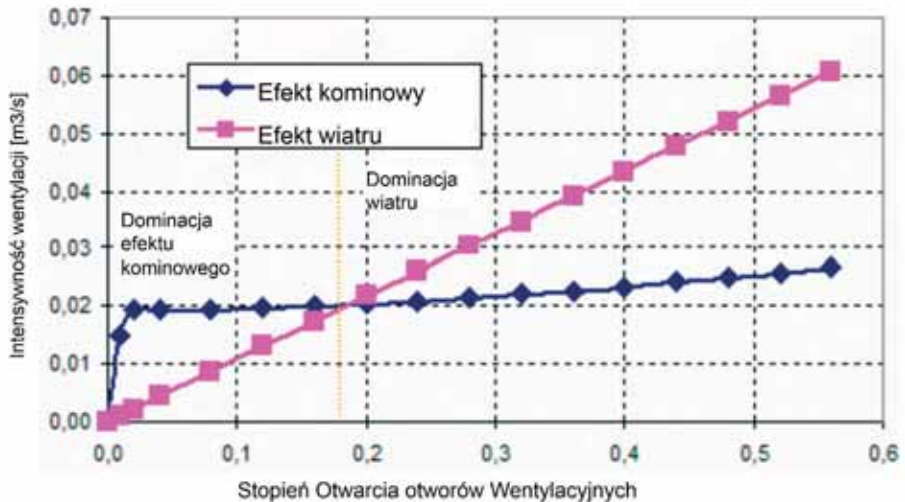
Wykres poniżej obrazuje wpływ różnicy temperatur pomiędzy wnętrzem budynku i przestrzenią powietrzną fasady, a intensywnością wentylacji. Wskazuje to na zależności pomiędzy różnicą temperatur, wielkością otworów wentylacyjnych, wpływem wiatru, a intensywnością wentylacji. Wykres pokazuje, że dla fasady o dużych i niekontrolowanych otworach wentylacyjnych, wiatr będzie zdecydowanie dominującym czynnikiem określającym intensywność wentylacji. Natomiast, w przypadku zapewnienia minimalnych otworów wentylacyjnych, intensywność wentylacji będzie zależać proporcjonalnie od różnicy temperatur. Dodatkowo, w cyklu dzień/noc intensywność wentylacji będzie różna, co przy jednakowym stopniu otwarcia otworów wentylacyjnych, zapewnia intensywniejsze chłodzenie budynku w nocy, niż jego ogrzewanie w dzień. To natomiast powoduje, że fasada podwójna może funkcjonować jako swojego rodzaju półprzewodnik ciepła.

Zakres kontroli przepływu przez fasadę do wnętrza budynku jest więc kontrolowalny przy minimalnym stopniu uchylecia otworów wentylacyjnych, w którym dominujący jest efekt kominowy. Przy większym uchyleciu okna dominujący staje się efekt wiatru, przy którym kontrola wentylacji staje się dużo

trudniejsza. Wykres poniżej obrazuje przedziały stopnia otwarcia, dla którego dominuje efekt kominowy oraz siła wiatru.

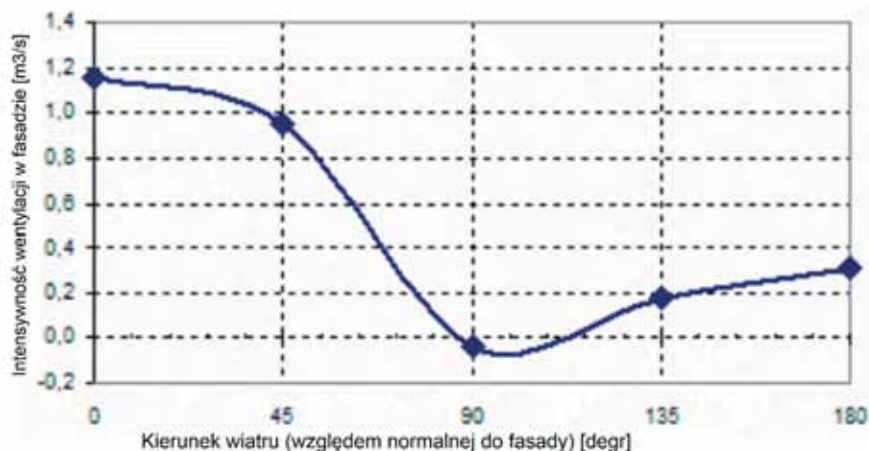


II. 3. Zależność pomiędzy różnicą temperatur (wewnątrz i w przestrzeni fasady), a intensywnością wentylacji [10]



II. 4. Wpływ stopnia otwarcia otworów wentylacyjnych na efekt kominowy i wiatru [10]

Algorytm w systemie kontroli dla dokładnego kontrolowania stopnia otwarcia otworów wentylacyjnym potrzebuje szeregu pomiarów, uwzględniając temperaturę na zewnątrz i wewnątrz budynku, siłę wiatru, a także charakterystykę budynku w postaci kształtu, wielkości, lokalizacji i wielkości otworów wentylacyjnych itd.



II. 5. Wpływ kierunku wiatru na intensywność wentylacji fasady [9].

3. Fasada jako część systemu

Rodzaj fasady dla każdego budynku może się różnić w zależności od aspiracji inwestora i zespołu projektowego, funkcji/położenia/wielkości/rozplanowania budynku, a także zastosowania fasady w kształtowaniu komfortu wnętrza.

Dla zdecydowanej większości budynków, fasada pełni rolę izolacji termicznej, ochrony przeciwsłonecznej i źródła światła dziennego. W takim przypadku, zaleca się ograniczenie wielkości przeszkleń gwarantujących odpowiednie doświetlenie wnętrza światłem dziennym, rozważenie zastosowania zewnętrznego systemu przeciwsłonecznego i zamontowanie wewnętrznych żaluzji o współczynniku przepuszczalności promieniowania do 10-12%.

Rodzaj fasady budynku siedziby głównej firmy Vodafone w Newbury (Wielka Brytania) jest dobrym przykładem energooszczędnej fasady zapewniającym dobry, ale nie nadmierny dostęp światła dziennego, efektywną ochronę przeciwsłoneczną poprzez zastosowanie zewnętrznych okapów i półek świetlnych oraz dobre właściwości okna.



Il. 6. Siedziba Vodafone w Newbury, Wielka Brytania [własność autora]

Dwa przykłady poniżej pokazują inną strategię i wykorzystanie większej powierzchni przeszkleń, zapewniające duży dostęp światła dziennego w głąb otwartej przestrzeni budynku, minimalizację przeszkleń na pozostałych fasadach oraz zastosowanie głębokich okapów na nasłonecznionej stronie, co pozwala efektywnie ograniczać zyski ciepła od słońca.



Il. 7. Port Arthur Cultural Resort, Australia [własność autora]

Funkcja reprezentacyjna budynku Welcome Trust i związana z tym duża proporcja przeszkleń wymusiła zastosowanie bardzo efektywnego systemu prze-

ciwslonecznego w postaci ściany dwuwarstwowej. Pozwoliło to zrównoważyć dużą powierzchnię przeszkleń i zminimalizować związane z tym potencjalnie duże zyski ciepła.



Il. 8. Dom jednorodzinny, Bukowice, Polska [własność autora]



Il. 9. Budynek Welcome Trust, Londyn, Wielka Brytania [własność autora]

Aktywne wykorzystanie fasady do zapewnienia wentylacji niekoniecznie wymaga stosowania ściany dwuwarstwowej. Kluczowym elementem wydaje się być zapewnienie dwóch rodzajów okien sterowanych automatycznie (zlokalizowane powyżej strefy przebywania ludzi) i okien otwieranych ręcznie zlokalizowanych w strefie przebywania ludzi. Okna automatyczne otwierają się w stopniu minimalnym, zapewniając minimalną ilość świeżego powietrza i zmniejszając ryzyko przeciągu. Także, okna automatyczne pozwalają na bezpieczną wentylację budynku w okresie nocy, aby schłodzić strukturę budynku i poprawić zdolność budynku do utrzymania komfortowej temperatury w następnym gorącym dniu. Zadaniem okien otwieranych ręcznie jest indywidualna kontrola temperatury i przewietrzanie budynku według upodobań użytkowników budynku.



Il. 10. Strategia wentylacji w budynku Vodafone, Newbury, Wielka Brytania [własność autora]

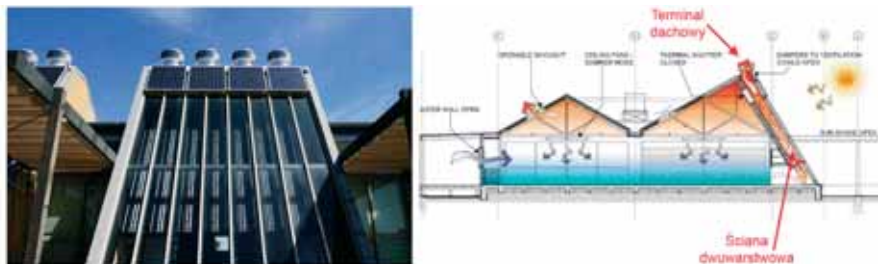


Il. 11. Fasada budynku uniwersytetu Brunel, Londyn, Wielka Brytania [własność autora]



Il. 12. Fasada budynku szkoły w Reepham, Wielka Brytania [własność autora]

Kolejną możliwością zastosowania fasady jest użycie jej jako kanału wywiewnego, gdzie przepływ jest wspierany przez energię słoneczną akumulowaną w strukturze fasady. W ten sposób, fasada chroniąc przed nadmiernym słońcem, wykorzystuje jego energię do zwiększenia intensywności wentylacji.

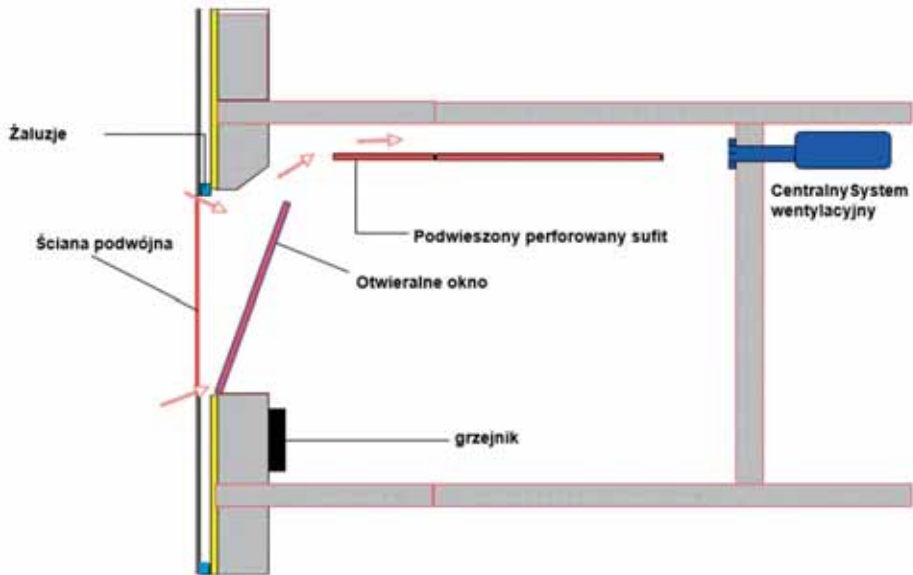


Il. 13. Sustainable Living Centre, St Leonards College, Melbourne, Australia [własność autora]

Końcowym przykładem jest koncepcja budynku biurowego wykorzystującego fasadę podwójną oraz uproszczony system wentylacyjny. Fasada, okno oraz wewnętrzne rozplanowanie pokoju z podwieszanym perforowanym sufitem oraz grzejnikiem i wyeksponowaną konstrukcją budynku pozwalają na wykorzystanie wentylacji naturalnej przez większą część roku. Fasada podwójna minimalizuje wpływ wiatru, żaluzje na zewnątrz pokoju zapewniają optymalną ochronę przeciwsłoneczną, otwierane okna wymuszają cyrkulację powietrza poprzez przestrzeń sufitową, co pozwala na mieszanie dużej części chłodnego zewnętrznego powietrza zanim wejdzie ono w kontakt z ludźmi. Dodatkowo, grzejnik pozwala na zminimalizowanie potencjalnego uczucia przeciągu. Analizy pokazały, że wentylacja naturalna w klimacie umiarkowanym jest w stanie zapewnić odpowiedni komfort wewnątrz przez około 80% czasu w skali roku. Jedynie w okresach surowej zimy i popołudniowych godzin w szczycie letnim, wentylacja naturalna nie byłaby w stanie zapewnić komfortu wewnątrz. Natomiast zastosowana ewentualnie wentylacja mechaniczna miałaby funkcję jedynie zapewnienia minimum świeżego powietrza, a pełna klimatyzacja nie byłaby konieczna. System jest dobrany, tak by dodatkowe koszty fasady pokryte zostały przez uproszczony system wentylacji i klimatyzacji mechanicznej.

4. Wnioski

Powyższy artykuł prezentuje możliwe zastosowania fasady jako podzespołu systemu HVAC w budynku. Poza izolacją termiczną, akustyczną i ochroną przeciwsłoneczną, fasada może pełnić także aktywną rolę w wentylacji, chłodzeniu i odzyskiwaniu ciepła od słońca. Dodatkowo, odpowiednio zaprojektowana fasada w budynku pozwala na pełne wykorzystanie potencjału energii



Il. 14. Koncepcja integracji fasady jako część systemu HVAC [11]

wiatru i słońca, co wpływa na zmniejszenie innych elementów systemu HVAC oraz na częściowy zwrot poniesionych kosztów na fasadę.

Przystawione przykłady podkreślają zakres elastyczności w doborze fasady, która odpowiednio dobrana, jest w stanie w optymalny sposób dopasować się do wymagań postawionych przez projektantów.

Podsumowując, fasada jest integralną częścią budynku i systemu HVAC, dlatego podczas procesu projektowania powinna podlegać optymalizacji na równi z określeniem pozostałych elementów budynku, tak aby budynek mógł zapewnić wysoką jakość komfortu wewnątrz przy minimalizacji zużycia energii i kosztów inwestycyjnych.

Bibliografia

- [1] Holmes M.J., (1994), Optimization of the thermal performance of mechanically and naturally ventilated glazed facades. Renewable energy vol.5, part 2, pp. 1091 – 1098. 1994.
- [2] Jones J., Messadi T., Li S., (2000), Experimental Study of the cooling season performance of ventilated double-glass envelope cavities. International building physics conference. TU Eindhoven 2000, The Netherlands p357-365.

- [3] Kakac S., Shah R., Aung W., (1987), Handbook of single phase convective heat transfer. Wiley 1987, NY, USA.
- [3] Oesterle, Lieb, Lutz, Heusler. (2001), Double skin façade – Integrated Planning, 2001, Prestel.
- [4] Stec W.J., Van Paassen A.H.C. (2003), Integration of the Double skin facade with the buildings. Proceedings ISHVAC 2003, 9-11 December 2003, Beijing, China
- [5] Sealens D. (2002), Energy Performance Assessment of Single Storey Multiple Skin Facades. PhD thesis, Leuven, 2002, Belgium.
- [6] Stec W., (2006), Symbiosis of Double skin facade and Indoor Climate Installations. Thesis TU-Delft, NL.
- [7] Stec W.J., van Paassen A.H.C., Maziarz A., 2005, Modelling the double skin facade with plants. Energy and Buildings 37 (2005), p. 419–427.
- [8] Stec W.J. , van Paassen A.H.C.; 2005, Symbiosis of the double skin façade with the HVAC system, Energy and Buildings, Volume 37, Issue 5 , May 2005, p. 461–469.
- [9] Stec W.J. , van Paassen A.H.C., 2005, Sensitivity of the double skin facade on the outdoor conditions. Congress: Indoor air 2005, Beijing, 5-10 September.
- [10] Stec W.J. van Paassen A.H.C. , Arrondo M., 2005, Control of the natural ventilation for buildings with double skin facade. Congress: Clima 2005 Lausanne.
- [11] Stec W.J., van Paassen A.H.C., 2005, Simulations of the Naturally Ventilated Building. IBPSA-NVL Symposium 2005, Gebouwsimulatie: beter inspelen op de praktijk van nu en van morgen. Delft, 20 October 2005.

FAÇADE ACTING AS A MULTIFUNCTIONAL BUILDING COMPONENT

Impact of the natural ventilation on the building depends on the design of several components, such as facade, building shape/form/size, type of structure as well as HVAC type and control system.

This paper presents the potential of the façade to fulfil a number of functions in control of the indoor comfort at a low energy consumption. The potential of each possible façade function is discussed and examples of façade optimisation in a number of buildings are presented.

Finally, the article puts an emphasis on the importance of the façade selection and fine tuning with other building components in order to maximise the potential of wind and solar control to stimulate the indoor comfort quality.

ROZDZIAŁ 13

PROMIENIOWANIE SŁONECZNE A JAKOŚĆ OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH: METODY BADAŃ

Nowy model rozwoju zrównoważonego akcentuje potrzebę obniżania zapotrzebowania energetycznego, podnoszenia sprawności działania i efektywności użytkowania budynków. Rozwiązania dla budynków realizowanych w naszej strefie klimatycznej przedstawiają się następująco: maksymalne wykorzystanie potencjału naturalnej wentylacji i oświetlenia światłem dziennym, a także skuteczna ochrona wnętrza budynku przed przegrzaniem bezpośrednim promieniowaniem słonecznym. Wpływ wykorzystania odnawialnych źródeł energii, głównie promieniowania słonecznego, na sprawność działania przyszłych budynków będzie dominujący. Ponadto ostatnie odkrycia sprawiły, że czeka nas całkowita zmiana poglądów na temat zdrowego i komfortowego dla człowieka środowiska świetlnego, co może znaleźć odzwierciedlenie w zmianach warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki. Odkryto, że obecnie dostępne na rynku rodzaje światła elektrycznego nie są w stanie zaspokoić kluczowych potrzeb człowieka w zakresie prawidłowego funkcjonowania biologii organizmu, jedynie w zakresie komfortu wizualnego. Natomiast prawidłowo zaprojektowany obiekt architektoniczny, maksymalnie wykorzystujący oświetlenie dzienne, tworzy warunki środowiska wewnętrznego stymulujące prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Jakość środowiska świetlnego, jako jednej z kluczowych składowych środowiska wewnętrznego, jest konsekwencją decyzji podejmowanych przez architekta, jak kształt bryły budynku, orientacja budynku względem stron świata i rodzaj rozwiązań elewacyjnych (powierzchni i typu przeszkleń, systemów ochrony przeciwsłonecznej, a także urządzeń poprawiających jakość oświetlenia światłem naturalnym w pomieszczeniach). Informacji niezbędnych do podejmo-

wania właściwych decyzji w tym zakresie mogą dostarczyć jedynie szczegółowe analizy z wykorzystaniem symulacji komputerowych, które uwzględniają wpływ różnorodności warunków wynikających z określonej lokalizacji i najbliższego otoczenia. W rozdziale przedstawiono najnowocześniejsze metody i narzędzia symulacyjne do analizy jakości oświetlenia światłem dziennym w projektowaniu architektonicznym.

1. Wstęp

Wiedza przedstawiona w rozdziale jest podsumowaniem doświadczeń zdobytych podczas realizacji projektu badawczego, poświęconego analizom wpływu architektonicznych rozwiązań projektowych na jakość oświetlenia światłem dziennym miejsc pracy biurowej (wyniki dotychczas zrealizowanych części projektu badawczego zostały zaprezentowane i opublikowane w [7] [8] [9] [10] [11]). Badania są kontynuowane. Główny nacisk w rozdziale został położony na przedstawienie możliwości najnowocześniejszych metod i narzędzi symulacyjnych do analizy jakości oświetlenia światłem dziennym, które na całym świecie stają się kluczowym środkiem, na etapie projektowania architektonicznego, do uzyskania zakładanych celów jakościowych i energetycznych w inteligentnych budynkach zrównoważonych. Wiedza ta jest nowa nie tylko dla środowisk naukowych i projektantów architektury w Polsce. Pierwsze zwarte opracowanie poświęcone jakości i badaniom symulacyjnym oświetlenia naturalnego pt. „Daylighting Handbook I. Fundamentals. Designing with the Sun”, autorstwa Christophera Reinharta, ukazało się w roku 2014 [16]. W publikacji tej autor opisuje podstawy projektowania w kontekście zapewnienia optymalnego oświetlenia dziennego i maksymalnego wykorzystania energii słonecznej. Dopiero drugi tom tej publikacji będzie obejmował praktyczne aspekty wykorzystania oprogramowania komputerowego do analizy oświetlenia naturalnego. Jego wydanie jest planowane w tym roku. Można śmiało założyć, że upowszechnienie wiedzy nt. prezentowanej w rozdziale metodologii jest ważnym krokiem na drodze do podniesienia jakości środowiska życia człowieka, lecz również zwiększenia energooszczędności i przyjazności dla środowiska naturalnego nowoprojektowanych i istniejących budynków.

2. Oświetlenie dzienne (daylight)

Na wstępie należałoby precyzyjnie określić, czym jest światło dzienne. W języku angielskim specjaliści posługują się dwoma terminami *daylight* i *sunlight*.

Terminy te nie są stosowane zamiennie, gdyż ich znaczenie jest diametralnie różne. *Sunlight* to bezpośrednie promieniowanie słoneczne. Nowoczesne biurowce są chronione przed tym promieniowaniem, gdyż poza światłem niesie ze sobą również energię ciepłą, czyli jest odpowiedzialne za niekorzystne w Polsce w okresie od końca kwietnia do początku października zyski ciepła. Zyski te w połączeniu z efektem szklarniowym powodują znaczny spadek jakości środowiska wewnętrznego i gwałtowny wzrost zużycia energii na potrzeby systemów klimatyzacyjnych. Dodatkowo promieniowanie bezpośrednie jest głównym winowajcą, gdy analizujemy przyczyny zjawiska oślnienia, obniżającego komfort pracy biurowej.

Termin *daylight*, światło, oświetlenie dzienne, oznacza promieniowanie słoneczne rozproszone w atmosferze ziemskiej. Światło dzienne jest sprzymierzeńcem pracownika biurowego. Przede wszystkim jest najwydajniejszym źródłem światła, charakteryzuje się średnią wydajnością świetlną na poziomie 120 lm/W (dla porównania wydajność żarówki wynosi jedynie 12 lm/W). Do innych pozytywów maksymalnego wykorzystania oświetlenia naturalnego należą: poprawa jakości życia użytkowników budynków, zwiększona wydajność i efektywność pracowników, a także ich lepsze zdrowie i samopoczucie [1] [4] [18].

Autor rozdziału jako podstawę rozważań nt. oświetlenia dziennego przyjął punkt widzenia zaproponowany przez Reinharta [16]. O oświetleniu dziennym możemy mówić dopiero w sytuacji, gdy oświetlenie słoneczne jest wykorzystywane w sposób kontrolowany w budynku i w jego najbliższym otoczeniu. W definicji oświetlenia naturalnego zaproponowanej przez Reinharta zostały uwzględnione trzy zagadnienia: oświetlenie naturalne – ilość światła, komfort użytkownika – jakość światła i energooszczędność. Definicja mówi [16]: „przestrzeń oświetlona światłem dziennym jako główne źródło oświetlenia wykorzystuje promieniowanie słoneczne, ponadto zapewnia użytkownikowi wysoki komfort w zakresie potrzeb wzrokowych i temperatury powietrza we wnętrzu, a także przyczynia się do obniżenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia, ogrzewania i chłodzenia”. W oparciu o tę ideę została zbudowana „metoda DIVA” projektowania oświetlenia dziennego, przedstawiona w dalszej części rozdziału.

3. Statyczne metody analizowania jakości oświetlenia dziennego

Jedną z najpopularniejszych na świecie metod mierzenia jakości oświetlenia naturalnego jest analizowanie współczynnika oświetlenia dziennego (*Daylight Factor* – DF) [14]. Metoda ta jest obecnie szeroko krytykowana, gdyż

nie uwzględnia komfortu użytkownika. Jeszcze poważniejszym argumentem przeciw analizie DF jest fakt, że w tej analizie pomijany jest wpływ bezpośredniego światła słonecznego. Zdaniem autora rozdziału nie powinno się na podstawie wyników otrzymanych tą metodą wyciągać wniosków do celów projektowych (zobacz [9] [10]).

Autor zaproponował proces postępowania – metodę podnoszącą wiarygodność otrzymanych wyników, gdy decydujemy się na wykonanie analiz statycznymi metodami. Jednak przed podjęciem tej decyzji należy pamiętać o jeszcze jednej istotnej ich niedoskonałości. Metody te wykorzystują tzw. modele nieboskłonu (przedstawiające idealny rozkład jasności nieba). Oznacza to, że w symulacjach nie są brane pod uwagę lokalne uwarunkowania atmosferyczne, a wyniki otrzymane dla dowolnej lokalizacji na wybranej szerokości geograficznej będą jednakowe (dla porównania zobacz w kolejnym punkcie dynamiczne metody). Kolejność postępowania w zgodzie z zaproponowaną metodą przedstawia się następująco:

- 1) Na wstępie wykonuje się analizę współczynnika oświetlenia dziennego DF. Pozwala ona zidentyfikować najgorsze rozwiązania, które zostają wyłączone z dalszych analiz;
- 2) Następnie wykonywana jest symulacja natężenia oświetlenia dziennego (I_x). W analizach uwzględniony jest wpływ bezpośredniego promieniowania słonecznego, więc jest możliwa ocena skuteczności rozwiązań projektowych kierujących je do wnętrza lub zatrzymujących. Symulacje natężenia oświetlenia dziennego najczęściej wykonuje się dla dwóch dni: 21 marca (przesilenia wiosennego) i 21 czerwca (najdłuższego dnia w roku, gdy położenie słońca nad horyzontem jest najwyższe);
- 3) Równolegle analizowany jest rozkład luminancji (cd/m^2) dla widoków z wybranych miejsc pracy. Celem jest oszacowanie ryzyka olśnienia, czyli ocena komfortu wizualnego.

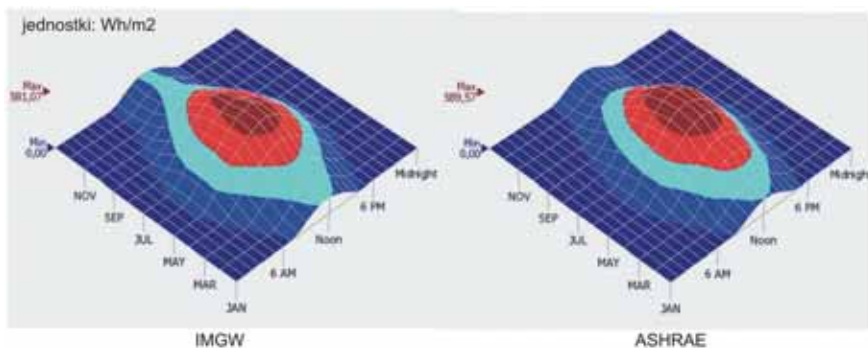
Do najpopularniejszych programów umożliwiających zastosowanie statycznych metod należą: Autodesk Ecotect, Radiance i DIVA-for-Rhino (więcej na temat DIVA w dalszej części rozdziału).

4. Dynamiczne metody analizowania jakości oświetlenia dziennego

Różnica pomiędzy statycznymi a dynamicznymi metodami analizowania oświetlenia dziennego jest fundamentalna. Podczas gdy metody statyczne wykorzystują formuły jasności nieba, znane jako modele nieboskłonu (minusy te-

go rozwiązania zostały opisane we wcześniejszym punkcie), ich dynamiczne odpowiedniki uwzględniają rzeczywiste uwarunkowania klimatyczne. Oznacza to, że do programu symulacyjnego jest wczytywany plik, w którym zapisano prawdziwe, zmierzone informacje nt. warunków atmosferycznych, w tym bezpośredniego promieniowania słonecznego i dyfuzyjnego promieniowania słonecznego (promieniowania pośredniego, którego źródłem jest nieboskłon) (więcej na temat podstawowych pojęć opisujących promieniowanie słoneczne w [2]). W tym miejscu zostanie podkreślone, że projektowanie budynku zrównoważonego w każdym przypadku powinno zostać poprzedzone dokładnym zapoznaniem się z uwarunkowaniami lokalnego klimatu. Wśród kluczowych dla projektanta informacji należy wymienić: temperaturę, wilgotność, warunki wiatrowe i promieniowanie słoneczne bezpośrednie i dyfuzyjne.

Dane o warunkach pogodowych są udostępnione na stronie internetowej Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych [19]. Pochodzą one ze stacji pogodowych na całym świecie i nierzadko zostały opracowane w oparciu o pomiary dokonywane przez kilkadziesiąt lat. W czasie przeglądania przez autora wspomnianej strony udostępnione były dane dla ponad 2100 lokalizacji na całym świecie, w tym dla ponad 60 lokalizacji w Polsce. Poza tym, że dane pogodowe są wczytywane w trakcie wykonywania dynamicznych analiz oświetlenia dziennego, istnieje szereg programów komputerowych, które umożliwiają analizę samych warunków klimatycznych i graficzną prezentację otrzymanych wyników (zobacz il. 1). Wśród takich programów można wymienić: Autodesk Ecotect, Climate Consultant, Green Building Studio, Revit, Vasari.



Il. 1. Wykresy całkowitego promieniowania słonecznego dla miasta Krakowa, utworzone w programie Climate Consultant w oparciu o dane opracowane przez IMGW oraz ASHRAE

Wracając do samych dynamicznych metod analizowania oświetlenia naturalnego, jako najbardziej popularne oprogramowanie komputerowe do wykonywania takich analiz wymienia się: Adeline, Daysim, ESP-r, Lightswitch Wizard, SPOT i wreszcie DIVA-for-Rhino.

5. Metoda DIVA projektowania oświetlenia dziennego

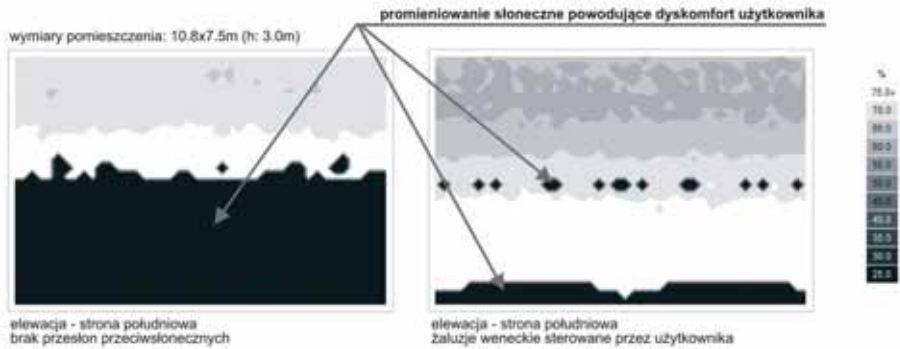
Oprogramowanie DIVA-for-Rhino jest najnowszym narzędziem, charakteryzuje się bardzo szerokim zakresem możliwości symulacyjnych i zostało stworzone jako dodatek do Rhinoceros, najpopularniejszego w chwili obecnej w szkołach architektury na całym świecie programu do modelowania trójwymiarowego i wizualizacji. W tym miejscu należy podkreślić, że DIVA pełni rolę oprogramowania integrującego, które umożliwia łatwe zastosowanie kilku bardzo znanych, rozwijanych przez ostatnie kilkanaście lat przez wiodące ośrodki naukowe programów symulacyjnych. Najważniejsze z nich to: Radiance (Lawrence Berkeley National Laboratory), Daysim (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Harvard University, Massachusetts Institute of Technology, National Research Council (NRC) Canada) oraz EnergyPlus (US Department of Energy, Lawrence Berkeley National Laboratory). Twórcy programu definiują stworzoną przez siebie metodę DIVA, którą skrótowo można opisać jako projektowanie obiektów architektonicznych w oparciu o naukowo opracowane dane i wnioski. Kolejne litery w słowie DIVA oznaczają: określ cele projektowe (*design*), zaproponuj alternatywne rozwiązania projektowe (*iterate*), przeprowadź analizy sprawności działania zaproponowanych rozwiązań (*validate*) i zastosuj najlepsze rozwiązanie (*adapt*) [6] [16]. Reinhart podkreśla: „wybór rozwiązania projektowego oparty na sprawdzonej wiedzy jest lepszym wyborem, natomiast szereg takich wyborów zaowocuje budynkiem o wyższej sprawności działania” [16].

Za pomocą DIVY można przeprowadzić liczne analizy [3], które zostały poniżej pogrupowane wg trzech kategorii (zgodnie z filozofią projektowania oświetlenia naturalnego zaproponowaną przez Reinharta): oświetlenie naturalne, komfort użytkownika, energooszczędność.

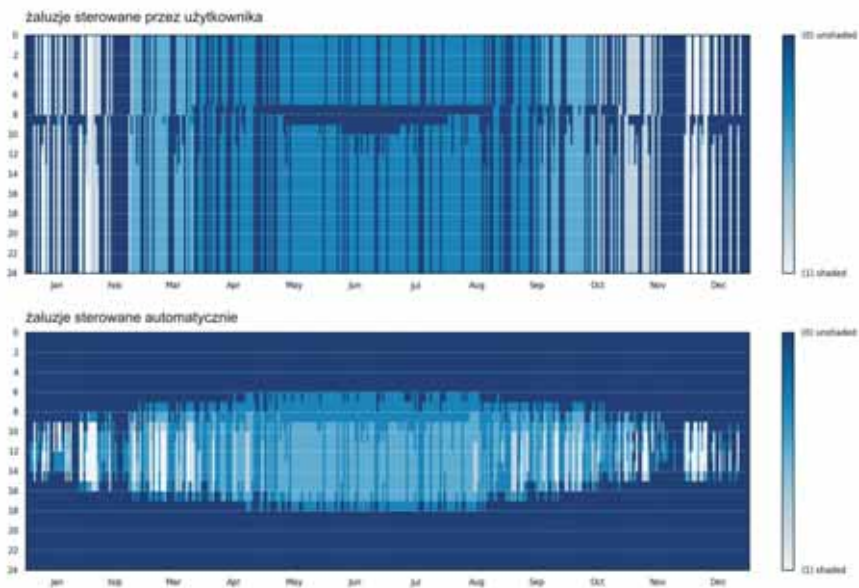
1) Oświetlenie naturalne:

- dynamiczne analizy oświetlenia naturalnego (w oparciu o uwarunkowania klimatyczne): oprogramowanie umożliwia analizę jakości oświetlenia wszystkimi stworzonymi w ostatnich latach, nowatorskimi metodami pomiaru jakości oświetlenia naturalnego. Są to: wskaźnik wystarczalności

-
- oświetlenia dziennego – Daylight Autonomy (DA) [13]; użyteczne natężenie oświetlenia dziennego – Useful Daylight Illuminances (UDI) [12]; miękki wskaźnik wystarczalności oświetlenia dziennego – Continuous Daylight Autonomy (DAcon) [17] oraz dostępność oświetlenia dziennego – Daylight Availability (DAv) [15] (il. 2). W roku 2012 została wydana, przez Północno-amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Oświetlenia (IESNA), norma oficjalnie wprowadzająca dwie nowe metody pomiaru: przestrzenny wskaźnik wystarczalności oświetlenia dziennego – spatial Daylight Autonomy (sDA) oraz roczną ekspozycję na bezpośrednie promieniowanie słoneczne – Annual Sunlight Exposure (ASE) [5]. Dwie ostatnie metody pomiaru zostały wprowadzone do najnowszej wersji metody oceny sprawności działania budynków zrównoważonych – LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) [20]. Dynamiczne metody analizy oświetlenia dziennego umożliwiają symulowanie wpływu na jakość oświetlenia zarówno zachowań użytkowników, jak i działania różnego typu automatycznych systemów sterowania oświetleniem elektrycznym i przesłonami przeciwsłonecznymi (il. 3);
- statyczne analizy oświetlenia naturalnego: analiza DF oraz symulacja natężenia oświetlenia dziennego o dowolnej porze dnia i roku w oparciu o modele niebosłonu.
- 2) Komfort użytkownika:
- analiza komfortu wizualnego w oparciu o wizualizacje: twórcy oprogramowania wskazują, że głównym celem wykonywania wizualizacji jest sprawdzenie poprawności przygotowania modelu przed dalszymi analizami. Autor wykorzystuje wizualizacje do oceny komfortu wizualnego, analizując wyrenderowane obrazy w programie Evalglare, a także skuteczności zaproponowanych rozwiązań służących poprawie środowiska świetlnego. W programie Evalglare została zaimplementowana najnowsza i najbardziej wiarygodna metoda oceny komfortu wizualnego użytkownika – Daylight Glare Probability (DGP). Bierze ona pod uwagę trzy składowe: luminancję, położenie źródła ośnienia i kontrasty pomiędzy obiektami w polu widzenia (il. 4);
 - analiza prawdopodobieństwa wystąpienia ośnienia w ujęciu rocznym: w tej analizie zostaje zastosowana uproszczona metoda DGP do oceny komfortu wizualnego dla wybranego stanowiska pracy, ryzyko to jest obliczane dla każdej godziny w roku i przedstawione w sposób pokazany na il. 5.
- 3) Energooszczędność:
- analiza promieniowania słonecznego docierającego do obiektów kubaturowych metodą Cumulative Sky (oprogramowanie GenCumulativeSky):

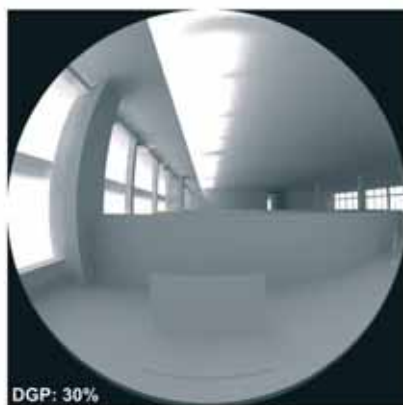
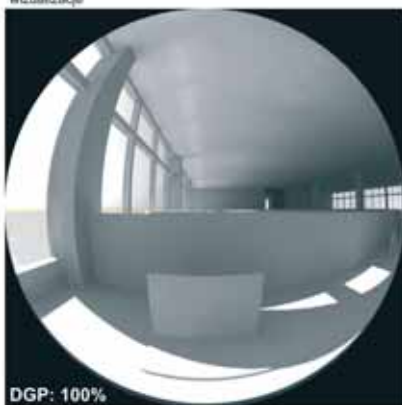


Il. 2. Porównanie wykresów DAV dla pomieszczenia biurowego skierowanego na południe bez przesłon przeciwsłonecznych i z żaluzjami weneckimi sterowanymi przez użytkownika (założenia: lokalizacja – Kraków, czas pracy – 8.00-16.00, praca wykonywana codziennie, minimalne akceptowalne natężenie oświetlenia dziennego – 500 lx; DAV = X % oznacza: w danym miejscu pomieszczenia przez X % założonego czasu pracy, w ciągu całego roku, natężenie oświetlenia dziennego nie jest niższe od 500 lx).

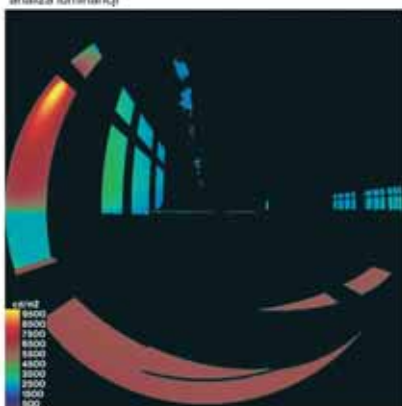


Il. 3. Porównanie roczne pozycji żaluzji sterowanych przez użytkownika i automatyczny system sterowania

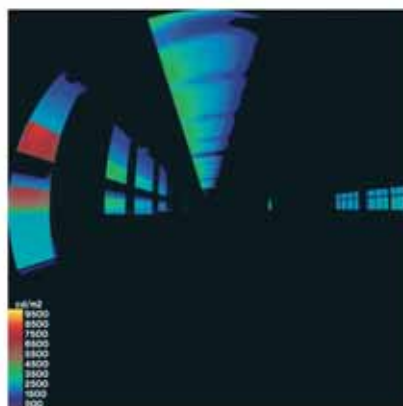
elewacja południowa - 21 marca, godz. 13.00
wizualizacje



analiza luminancji



brak przesłon przeciwsłonecznych



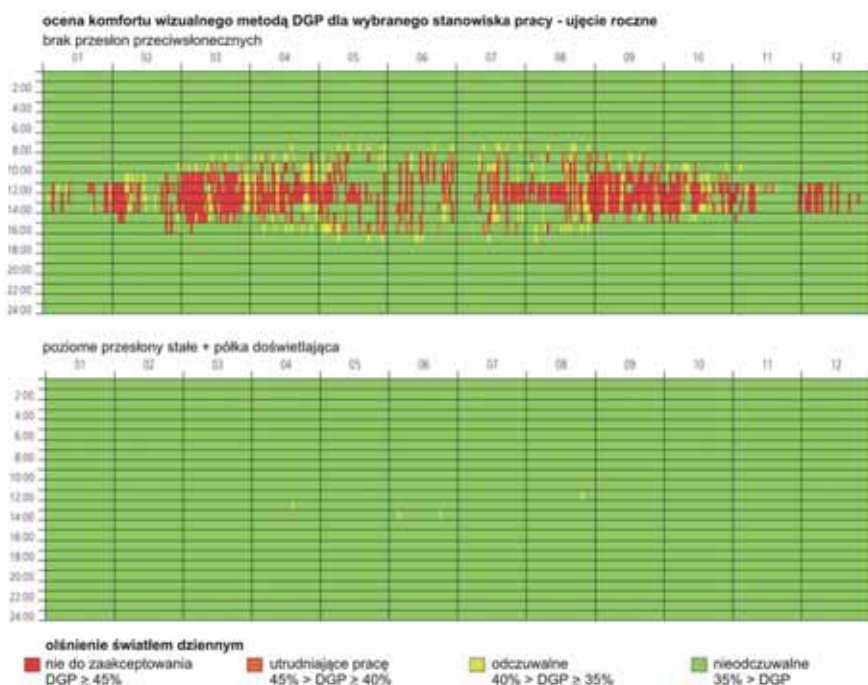
poziome przesłony stałe + półka doświetlająca

Il. 4. Porównanie luminancji w budynku bez przesłon przeciwsłonecznych
i z poziomymi żaluzjami stałymi

program tworzy wizualizacje-obrazy typu false-color natężenia promieniowania słonecznego na budynkach i ich otoczeniu. Analizy tego typu wykonywane są w celu rozpoznania, które części budynku narażone są na przegrzewanie w lecie i wymagają zaprojektowania ochrony przeciwsłonecznej, a które podwyższonej izolacyjności cieplnej. Ponadto tą metodą bada się skuteczność przesłon przeciwsłonecznych, rozwiązań bryłowych, a także szuka się najkorzystniejszych lokalizacji dla paneli fotowoltaicznych (zobacz il. 6);

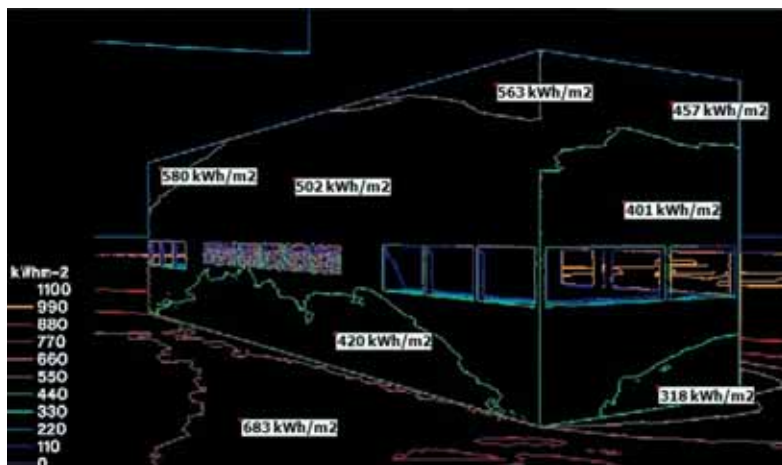
- dynamiczna analiza promieniowania słonecznego docierającego do obiektów kubaturowych (w oparciu o uwarunkowania klimatyczne);

- analiza zużycia energii: DIVA umożliwia wyeksportowanie modelu do programu EnergyPlus wraz z wynikami dynamicznych analiz oświetlenia naturalnego. W programie EnergyPlus wykonywane są symulacje zużycia energii na potrzeby: oświetlenia, ogrzewania, chłodzenia i użytkowania urządzeń biurowych. Otrzymane wyniki są automatycznie wczytywane do DIVY i wyświetlane w czytelnej formie graficznej, z rozbiem na poszczególne miesiące.



Il. 5. Porównanie rocznego DGP w budynku z il. 4

Podsumowując narzędzie DIVA stanowi kompleksowy warsztat pracy projektanta pragnącego podejmować decyzje świadome, zgodne z ideą rozwoju zrównoważonego, podejścia holistycznego, bazujące na wiarygodnych, sprawdzalnych, powtarzalnych wynikach naukowych analiz. Reinhart proponuje formę graficzną i zawartość prezentacji tych danych, nazywając ją „*dashboard view*” [15]. Jako podstawowe, w końcowej prezentacji powinny znaleźć się następujące wyniki: dostępność oświetlenia dziennego – Daylight Availability (DAv); roczne zużycie energii na potrzeby oświetlenia, ogrzewania, chłodzenia i użytkowania urządzeń biurowych w ujęciu całościowym i z rozbiem na poszczególne miesiące; roczna emisja CO₂ oraz prawdopodobieństwo wy-



Il. 6. Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do analizowanego budynku w ciągu roku

stąpienia ośnienia światłem dziennym w ujęciu rocznym. Dane te można nazwać charakterystyką jakości lub sprawności działania przestrzeni naturalnie oświetlonej.

6. Podsumowanie – kto powinien profesjonalnie zajmować się tym zagadnieniem

Gdy pojawia się temat analiz jakości oświetlenia naturalnego i będących ich naturalną konsekwencją analiz zużycia energii w budynkach, wiele osób zadaje sobie pytanie: kto powinien profesjonalnie zajmować się tym zagadnieniem – architekt, inżynier budownictwa specjalizujący się w fizyce budowli, a może inżynier instalacji ogrzewania i wentylacji. Zdaniem autora odpowiedzialność za ten obszar decyzji projektowych w najwyższym stopniu ponosi architekt. Jakość oświetlenia dziennego we wnętrzach budynków jest w pierwszej kolejności pochodną orientacji, kształtu budynku i rozwiązań elewacyjnych, czyli rozwiązań projektowanych przez architekta. Jeżeli na etapie koncepcyjnego projektowania architektonicznego zostaną przyjęte błędne rozwiązania, inżynierowie innych specjalności będą w stanie jedynie w niewielkim stopniu ograniczyć ich negatywne skutki. Na całym świecie architekci w sposób naturalny, nieprzymuszony biorą odpowiedzialność za jakość oświetlenia dziennego w budynkach. Centra rozwoju nowych technologii służących do analizy jakości oświetlenia naturalnego zlokalizowane są w szkołach architektury. Przykładem są tak znaczące jednostki, jak: Wydział Projektowania

na Harvardzie, Wydział Architektury i Planowania na MIT, Wydział Architektury, Budownictwa i Inżynierii Środowiska na Politechnice Federalnej w Lozannie.

Jakość światła dziennego w sposób naturalny wpisuje się w obszar zainteresowań architekta. Jednak zaprojektowanie budynku o wysokiej sprawności działania jest już zadaniem wielodyscyplinarnym, wymagającym podejścia holistycznego. Nie powinno więc dziwić, że specjalne kursy poświęcone sposobom analizowania jakości oświetlenia dziennego są adresowane do wielu specjalności inżynierskich. Takimi przedsięwzięciami są np.: Executive Education Program on Daylighting Buildings na Harvardzie, Interdisciplinary Laboratory of Performance-Integrated Design (LIPID) na Politechnice Federalnej w Lozannie czy MIT Daylighting Lab.

W tym miejscu można postawić pytanie, czy opisywane w rozdziale nowoczesne narzędzia i metody rzeczywiście są potrzebne w praktyce architektonicznej. Autor zgadza się ze stanowiskiem Reinharta, że inna możliwość nie istnieje [16]. Z jednej strony mamy metody sprawdzone naukowo, wiarygodne, rzetelne, z drugiej podręczniki architektury, które utrwalają powierzchowne uogólnienia, jak „jeżeli chcemy w pełni wykorzystać energię słoneczną, budynek musi być skierowany na południe” lub „na elewacji południowej projektujemy przesłony horyzontalne, natomiast na wschodniej i zachodniej wertykalne”. Rzeczywistość jest tak złożona i zmienna, jak samo oświetlenie naturalne i ślepe zawierzenie takim ogólnym prawdom w licznych przypadkach może spowodować, że uzyskany efekt końcowy przyniesie efekty odmienne od oczekiwanych. Istnieje ogromna niespójność pomiędzy możliwościami wykonywania technologicznie zaawansowanych analiz oświetlenia dziennego a wymaganiami stawianymi projektującym oświetlenie naturalne budynków przez przepisy, standardy i normy [16]. Dla kontrastu w gwałtownym tempie rośnie świadomość wagi problemu w środowisku inwestorów i developerów. Coraz częstszym doświadczeniem w praktyce architektonicznej staje się życzenie inwestora, by projektowany budynek spełniał określone standardy wg metody oceny jakości LEED, gdyż inwestor będzie się starał o taką certyfikację. Praktycznie wykonanie niezbędnych w takim przypadku analiz oświetlenia dziennego z pominięciem nowoczesnych metod symulacyjnych jest niemożliwe.

Bibliografia

- [1] Altomonte S.: Daylight and the Occupant. Visual and physio-psychological well-being in built environments. PLEA 2009 - The 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Quebec City 2009, 1-6.

-
- [2] Chwieduk D.: Energetyka słoneczna budynku. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2011.
- [3] DIVA for Rhino. Environmental Analysis for Buildings: <http://diva4rhino.com/> (dostęp 2014).
- [4] Heschong L., Wright R. L. i Okura S.: Daylighting Impacts on Human Performance in School. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 2002, 101-114.
- [5] IESNA Daylighting Metrics Committee: IES LM-83-12 IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, IESNA Lighting Measurement, 2012.
- [6] Jakubiec J. A. i Reinhart C. F.: DIVA 2.0: Integrating Daylight and Thermal Simulations Using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney 14-16 Listopada 2011, 2202-2209.
- [7] Masły D.: Analysis of Natural Lighting with Regard to Design of Sustainable Office Buildings in Poland: 208. [w:] *Human Experience in the Natural and Built Environment: Implications for Research, Policy, and Practice – 22nd IAPS Conference*. Conference abstracts, International Association People-Environment Studies, Strathclyde University, Glasgow 2012.
- [8] Masły D.: Investigation of the Use of Daylight in Office Buildings: 191. [w:] *Solar Building Skins*. Conference Proceedings of the 7th Energy Forum, Economic Forum, Bressanone 2012.
- [9] Masły D.: Daylit Intelligent Sustainable Offices: Results of Daylight Simulation Study: 114-115, [w:] *Sustainable Environments in a Changing Global Context. Identifying Opportunities for Innovative Spaces and Practices in Contexts of Crisis – IAPS International Network Symposium 2013*. Book of Proceedings - Abstracts, International Association People-Environment Studies, Instituto de Estudios e Investigacion Psicosocial "Xoan Vicente Viqueira", A Coruna 2013.
- [10] Masły D. i Sitek M.: Zastosowanie symulacji komputerowych do analizy wpływu rozwiązań elewacyjnych na jakość oświetlenia naturalnego w biurach: 121-134. [w:] Bać A. i Kasperski J. (red.), *Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska*. Praca zbiorowa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [11] Masły D. i Sitek M.: Analysis of Natural Lighting with Regard to Design of Sustainable Office Buildings in Poland: 227-236. [w:] *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design for All and Accessibility Practice*. 8th International Conference, UAHCI 2014, held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014. Proceedings. Part 4, Springer International Publishing, 2014.
- [12] Nabil A. i Mardaljevic J.: Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 2005, 41-59.
- [13] Reinhart C. F. i Walkenhorst O.: Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 2001, 683-697.
- [14] Reinhart C. F., Mardaljevic J. i Rogers Z.: Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, Vol 3, No 1, Lipiec 2006, 7-31.

- [15] Reinhart C. i Wienold J.: The daylighting dashboards - A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment*, 46, 2011, 386-396.
- [16] Reinhart C.: *Daylighting Handbook I. Fundamentals Designing with the Sun*. 2014.
- [17] Rogers Z.: *Daylighting metric development using daylight autonomy calculations in the sensor placement optimization tool*. Architectural Energy Corporation, Boulder, Colorado, USA 2006.
- [18] Scartezzini J. L. i Munch M.: *Light beyond Vision: Day and Night in Building Science and Chronobiology*. Wykład, SwissNEX, San Francisco 2010.
- [19] US Department of Energy: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm (dostęp 2014).
- [20] US Green Building Council: *LEED v4 for Building Design and Construction*. updated July 1, 2014. (www.usgbc.org/LEED/, dostęp 2014).

THE IMPACT OF SOLAR RADIATION ON THE QUALITY OF BUILDINGS: RESEARCH METHODS

The new model of sustainable development emphasizes the need of reducing buildings' energy demand and improving their performance and process. Design solutions acceptable for buildings in our climate are: making full use of natural ventilation, daylight, and passive cooling and effective protection against over-heating of interiors. The impact of renewable energy sources and of solar radiation in particular on the future buildings' performance is predominant. Moreover the latest scientific findings can change completely our views on healthy and comfortable daylit work environments. As a consequence of this the profound change of what standards require architects to carry out can be brought about. It has been discovered that electric lighting cannot provide the proper lighting conditions that help users remain synchronized within the regular 24-hour day. Whereas state-of-the-art sustainable daylit buildings provide such healthy environment. The quality of daylit environments depends on design decisions made by architects, for example: massing and orientation of buildings and facade strategies (window placements and shapes, glazing, light shelves and shading devices). Only daylighting simulation studies employing the state-of-the-art computer software have the ability to provide research findings that are useful aid in making appropriate design decisions in this area. This chapter presents new and innovative simulation methods, techniques and tools for analysing quality of daylighting that are useful to architects.

ZAKOŃCZENIE

Omówiony w niniejszej monografii energetyczny aspekt kształtowania współczesnej formy architektonicznej dowodzi obszerności problematyki. Związki zachodzące pomiędzy przesłankami energetycznymi (projektowaniem budynków i ich zespołów zgodnie z zasadami energooszczędności) a kształtowaniem formy architektonicznej zachodzą na różnych poziomach – począwszy od skali urbanistycznej poprzez architektoniczną, skończywszy na projektowaniu elementów obudowy budynku (mikroskala architektoniczna).

Poruszana problematyka jest częścią większej całości, tj. wpisuje się w ogólny nurt architektury zrównoważonego rozwoju. Z jednej strony, z uwagi na jej obszerność, wymaga zawężonego spojrzenia, z drugiej nie powinna być rozpatrywana w całkowitym oderwaniu od szerszego kontekstu, tracąc z pola widzenia aspekt środowiskowy, społeczny i ekonomiczny. Dopiero tak rozumiana architektura energooszczędna może przynieść pożądane efekty, zarówno dla obecnych jak i przyszłych pokoleń.

W wielu przypadkach zaprezentowane w pracy badania rzucają nowe światło na stereotypową i ogólną wiedzę teoretyczną, która została uzupełniona, a nawet zweryfikowana. Z badań tych wynurza się nadrzędny wniosek, iż rzeczywistość projektowa jest na tyle złożona, że analizowanie jej w oparciu o uogólnione zasady może prowadzić do niepełnych, a często mylnych spostrzeżeń i decyzji projektowych. Kluczowego znaczenia nabierają wyspecjalizowane badania analityczne i doświadczalne, w tym przede wszystkim prowadzone na realnych modelach przestrzennych oraz z wykorzystaniem technik software. Badania dowodzą istoty rozpatrywania każdego przypadku indywidualnie, z uwzględnieniem rzeczywistych uwarunkowań lokalizacyjnych projektowanych budynków lub ich zespołów. Niezwykle cenne i wzbogacające istniejący stan wiedzy okazują się doświadczenia projektowe i realizacyjne (studia przypadku), które wydobywają nieobecne lub słabo eksponowane w literaturze przedmiotu problemy praktyczne (np. rozwiązania projektowe pod wpływem decyzji inwestora i preferencji użytkowników).

Monografia dowodzi również, iż dynamicznie rozwijający się rynek materiałowy (zwłaszcza technologia szklenia) oraz technologii OZE w budownictwie nie musi stanowić zagrożenia dla humanistycznego wymiaru współczesnej architektury, a wręcz przeciwnie, może ją wzbogacać i udoskonalać. Za każdym razem kluczem jest świadome sięganie po rozwiązania tech-

nologiczne, tj. znajomość skutków ich stosowania oraz umiejętność wykorzystania ich zalet. Kierunek rozwojowy polegający na integracji elementów świata technologii, jak turbiny wiatrowe, kolektory słoneczne czy moduły PV z obszarem estetycznego kształtowania formy architektonicznej, w którym przypisuje się im rolę „narzędzia” kreowania artystycznego, należy uznać za właściwy, mogący przynieść pożytek obopólny, zarówno dla rozwoju architektury jak i technologii OZE w budownictwie.

Mimo, iż zamieszczone rozdziały, zgodnie z zamierzeniem pracy można traktować jako „głos” architektów, zachowują obiektywną, naukową formułę. Badania te potwierdzają rolę przypisywaną architektowi, jako koordynatora procesu projektowego, co prowadzi do wniosku, iż obszar kompetencji i odpowiedzialności tego zawodu ulega poszerzeniu.

Redaktor monografii, dziękując wszystkim Autorom, wyraża jednocześnie nadzieję, iż formuła monografii, w której nacisk położono na aktualne krajowe badania z przełożeniem na obszar praktyczny okazała się trafna, tj. spostrzeżenia w niej zawarte wzbogacą aktualny stan wiedzy i będą przydatne w procesie projektowania.

NOTKI O AUTORACH

BAĆ Anna (dr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: problematyka architektury ekologicznej i energooszczędnej, specjalizuje się w zagadnieniach architektury zrównoważonej; współpracowniczka w biurze projektowym Grupa Synergia.

e-mail: anna.bac@pwr.edu.pl

CEBRAT Krzysztof (dr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: problemy przepływu i wykorzystania energii w środowisku przetworzonym przez człowieka w skali urbanistycznej i architektonicznej; współnik w biurze projektowym Grupa Synergia.

e-mail: krzysztof.cebrat@pwr.edu.pl

HAUPT Patrycja (dr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: znaczenie kompozycyjno-funkcjonalne elementów natury we współczesnej przestrzeni miejskiej, procesy rewitalizacji i rehabilitacji przestrzeni miejskich, jakość środowiska mieszkaniowego.

e-mail: phaupt@pk.edu.pl

JASZCZAK Anna (mgr inż. arch.)

– absolwentka Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej.

Praca dyplomowa nt. „ Rozwiązania proekologiczne w architekturze mieszkaniowej wielorodzinnej. Proekologiczna jednostka mieszkaniowa w Wilanowie”, 2 kwietnia 2014 r.

Obecnie zajmuje się prowadzeniem autorskiej pracowni architektonicznej oraz budową budynków mieszkalnych w ramach działalności developerskiej.

e-mail: a.jaszczak@yourhomedesign.pl

KURTZ-ORECKA Karolina (dr inż., mgr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: fizyka budowli, zagadnienia kształtowania potrzeb energetycznych budynków i modelowania energetycznego obiektów.

e-mail: karolinakurtz@gmail.com, kurtz@zut.edu.pl

MARCHWIŃSKI Janusz (dr inż. arch.)

– docent na Wydziale Architektury Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie. Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: zagadnienia kształtowania architektury proekologicznej, wykorzystanie energii słonecznej w architekturze, BIPV.

e-mail: j.marchwinski@wseiz.pl

MASŁY Dariusz (dr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Architektury Politechniki Śląskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: wykorzystanie nowoczesnych komputerowych narzędzi symulacyjnych do analizy sprawności funkcjonowania budynków, wykorzystanie oświetlenia naturalnego w projektowaniu architektonicznym.

e-mail: dariusz.masly@polsl.pl

MICHAŁSKI Piotr (mgr inż. arch.)

– doktorant i absolwent Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej.

Praca doktorska nt. „Uwarunkowania blisko zeroenergetycznego budownictwa wielorodzinnego na terenie Dolnego Śląska” – w trakcie. Obecnie zajmuje się projektowaniem architektury mieszkaniowej nisko- i zeroenergetycznej

e-mail: piotr.michalski@pwr.edu.pl

RUCHAŁA Joanna; ob. KIEŁBOWSKA (mgr inż. arch.)

– absolwentka Wydziału Architektury (Sustainable Architecture of Multi-Scale Projects) Politecnico di Milano.

Praca dyplomowa nt. „Centrum Kultury i Sztuki w Piacenzie”, 28 lipca 2015 r.

Obecnie zajmuje się projektowaniem szpitali o różnym profilu specjalizacji oraz budynków użyteczności publicznej w kontekście architektury zrównoważonej.

e-mail: kielbowska.j@gmail.com

RYŃSKA Dagny Elżbieta (prof. dr hab. inż. arch.)

– profesor PW na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: rozwój zrównoważony w architekturze i urbanistyce.

e-mail: dagny.rynska@arch.pw.edu.pl

SITEK Michał Jan (dr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Architektury Politechniki Śląskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: projektowanie z wykorzystaniem technik CAD, prefabrykacja CNC, modelowanie parametryczne, analizy symulacje dopasowania przestrzeni do potrzeb użytkownika. Programowanie funkcjonalne i projektowanie z udziałem użytkownika.

e-mail: michal.sitek@polsl.pl

STEC Wojciech (dr inż.)

– Dyrektor Cundall Polska sp. z o.o.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: analiza ściany dwuwarstwowej, jej sprawności, możliwych funkcji. Integracja fasad z budynkiem, optymalizacja energetyczna budynku wykorzystując pasywne i aktywne komponenty, kontroli wentylacji naturalnej, symulacje energetyczne i komfortu.

e-mail: w.stec@cundall.com

ZIELONKO-JUNG Katarzyna (dr inż. arch.)

– adiunkt na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej.

Obszar pracy naukowej/ prowadzonych badań: architektura proekologiczna i zrównoważona ze szczególnym uwzględnieniem kontekstu miejskiego, zjawiska aerodynamiczne wokół budynków i ich związek z kształtowaniem zabudowy miejskiej.

e-mail: katarzyna.zielonko-jung@arch.pw.edu.pl



ISBN 978-83-62057-34-4

AUTORZY:

*Janusz Marchwiński, Elżbieta Dagny Ryńska,
Patrycja Haupt, Katarzyna Zielonko-Jung,
Karolina Kurtz-Orecka, Anna Jaszczak,
Joanna Ruchała, Anna Bać, Piotr Cebzat, Michał Sitek,
Piotr Michalski, Wojciech Stec, Dariusz Masły.*

W monografii poruszono bardzo aktualny temat, który powinien zainteresować zarówno naukowców, dydaktyków, studentów, a także architektów praktyków.

Przyjęta formuła monografii, czyli położenie nacisku na prezentację aktualnych badań realizowanych w warunkach polskich z przełożeniem na obszar praktyczny jest bardzo trafna i oryginalna w polskim piśmiennictwie naukowym.

W książce zaprezentowano interesujące i inspirujące metody i procedury badawcze, stan wiedzy w badanym obszarze, a także niezmiernie cenne uwagi praktyczne - wynikające z przeprowadzonych badań, oraz doświadczenia zdobytego w trakcie realizacji projektów architektonicznych.

Wnioski weryfikują niektóre przyjęte za pewnik i funkcjonujące w środowisku architektów zasady.

Książka z pewnością w istotny sposób poszerza aktualny stan wiedzy oraz dowodzi możliwości realizowania ciekawych badań naukowych z zakresu architektury, oraz łączenia z sukcesem działalności naukowej i praktycznej w zawodzie architekta.

dr hab. inż. arch. Joanna Tymkiewicz