

# Forma a efektywność energetyczna dla uzyskania budynku niemal zero-energetycznego



dr hab. inż. arch.  
**SŁAWOMIR ROSOLSKI, PROF. PP**  
 Politechnika Poznańska  
 Wydział Architektury  
**ORCID: 0000-0001-9529-0423**

Niniejszy artykuł przedstawia główne założenia zrównoważonego rozwoju i zrównoważonego budownictwa oraz czynniki mające kluczowy wpływ na efektywność energetyczną budynku. Celem artykułu jest również określenie wpływu formy na efektywność energetyczną budynku dla uzyskania budynku niemal zero-energetycznego.

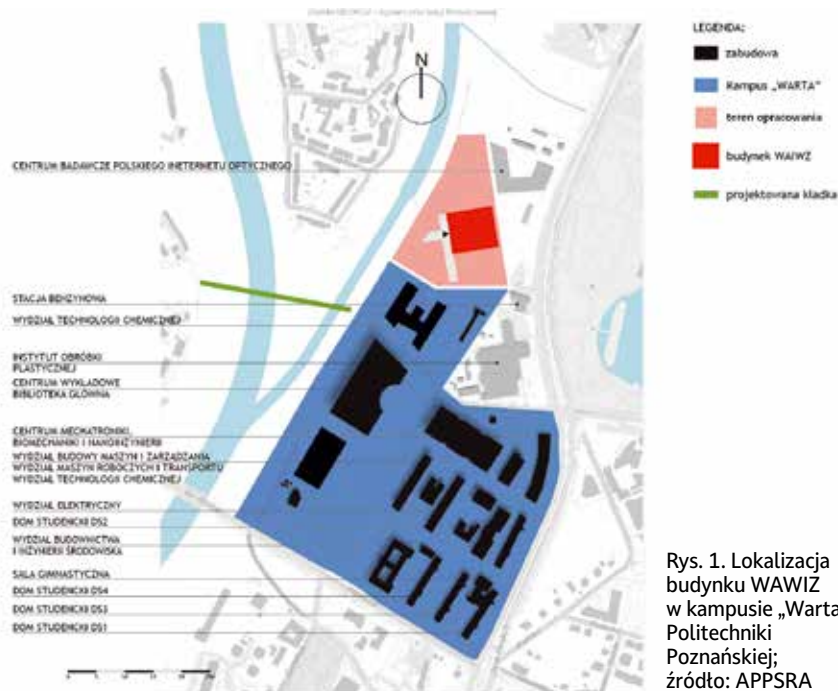
Od zarania dziejów stale aktualnym tematem rozważań projektantów oraz krytyków architektury jest odnalezienie idealnej metodyki twórczej pozwalającej na scalenie wszelkich cech budynku idealnego. Zaczynając od klasycznych trzech reguł Witruwiusza – *firmitatis, utilitatis, venustatis* (trwałość, użyteczność, piękno) [1], poprzez dzieła klasyków, takich jak da Vignola [2], Palladio [3] czy Alberti [4], na bliższych współczesności tezach, takich jak form follows function (forma wynika z funkcji) kończąc, ponadczasowość wygłaszanych poglądów poddawana była ciągłej próbie wynikającej ze zmieniających się warunków życia, oczekiwań użytkowników czy rozwijających się technologii. Wymagania stawiane dziś architekturze: nadanie wysokiego priorytetu efektywności energetycznej oraz myślenie zrównoważone, po raz kolejny dodają nową perspektywę do rozmów o poszukiwaniu perfekcji, sprawiając, że temat tych rozważań jest stale aktualny. Wykreowane wraz z postępem technologii oraz świadomości ekologicznej pojęcie zero-energetyczności architektury stało się wyzwaniem zarówno dla zapewnienia funkcjonalności użytkownika, jak i estetyki form projektowanych przestrzeni.

Nowe technologie i postęp wiążą się obecnie nierozdzielnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju. Pierwsza definicja tego pojęcia pojawiła się w raporcie *Nasza wspólna przyszłość* w 1987 roku, który został opracowany przez Światową Komisję Środowiska i Rozwoju ONZ: „zrównoważony rozwój (*sustainable development*) określa proces

rozwoju, który, dążąc do pełnego zaspokojenia potrzeb obecnego pokolenia, w żaden sposób nie zmniejsza potencjału rozwoju przyszłych pokoleń” [5].

Istotne miejsce w działaniach zmierzających do realizacji założeń zrównoważonego rozwoju zajmuje budownictwo. Podczas wznoszenia i eksploatacji budynków zużywane jest około 40% produkowanej energii (w tym energii końcowej używanej do produkcji cementu, stali i aluminium wykorzystywanych w procesie budowy). Ponadto za 33% światowych emisji CO<sub>2</sub> odpowiadają

obecnie budynki (dane Międzynarodowej Agencji Energetycznej) [6]. Większość tych emisji wynika bezpośrednio i pośrednio z eksploatacji budynków, a 6,4% (2021 r.) – z budowy i produkcji materiałów budowlanych. W raporcie MAE nie uwzględniono transportu, rozbiórki i budowy infrastruktury, dlatego należy założyć, że w całym cyklu życia budynku te wartości są jeszcze wyższe [7]. Zrównoważone budownictwo to szereg działań, których celem jest ograniczenie negatywnego wpływu budynków na środowisko w całym ich cyklu życia, począwszy



Rys. 1. Lokalizacja budynku WAWIZ w kampusie „Warta” Politechniki Poznańskiej; źródło: APPSRA



Fot. 1–4. Budynek WAWIZ w kontekście zieleni i miasta; źródło: APPSRA

od przygotowania projektu, przez proces budowy, aż po eksploatację [8].

Przez pojęcie budynku zrównoważonego (*sustainable building*, *green building*) rozumie się budynek zaprojektowany, wykonany i eksploatowany przy minimalnym zużyciu zasobów naturalnych i minimalnym obciążeniu środowiska naturalnego z myślą o egzystencji przyszłych pokoleń. Budynki zrównoważone są propozycją mającą na celu efektywniejsze korzystanie z zasobów środowiska i poprawę jakości życia człowieka. Ich budowanie ma wpłynąć na poprawę jakości środowiska i obniżenie kosztów całkowitych, są ważnym elementem równowagi globalnej [9], [10].

Strategie projektowania budynków zrównoważonych doprowadziły do opracowania komponentów budynków, tj. ścian, okien, drzwi, stropodachów, elementów wyposażenia, pozwalających wykorzystywać energię słoneczną i geenergię do ogrzewania, chłodzenia czy oświetlenia. Materiały budowlane, wyposażenie i całe systemy są oceniane z punktu widzenia komfortu cieplnego, jakości powietrza i komfortu użytkownika, trwałości budynku, łatwej obsługi, optymalności ekonomicznej i oddziaływania na środowisko naturalne w całym cyklu życia budynku.

Budynki zrównoważone mają wyraźną przewagę nad budynkami klasycznymi. Wyróżniają je następujące parametry:

- bardziej efektywne wykorzystanie zasobów środowiska przy wznoszeniu i eksploatacji budynków;
  - znacznie większa efektywność energetyczna i mniejsze zużycie energii pierwotnej;
  - znacznie efektywniejsze korzystanie ze świeżej wody;
  - bardzo dobra jakość środowiska wewnętrznego;
  - neutralność dla otoczenia;
  - mniejszy wpływ na środowisko dzięki recyklingowi, odnawialnym źródłom energii i ponownemu wykorzystaniu materiałów budowlanych;
  - duża trwałość [11].
- Warto wymienić najważniejsze elementy, które definiują budynki o ograniczonym zużyciu energii. Są to m.in.:
- zwartość struktury budynku, wyrażana ilorazem  $A/V_e$  (powierzchnia obudowy / kubatura po obrysie zewnętrznym);
  - bardzo dobra izolacja termiczna zewnętrznych elementów budynku, zalecane wartości współczynników przenikania ciepła  $U$  to:
    - dach  $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,
    - ściany zewnętrzne  $\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,
    - strop piwnicy (posadzka)  $\leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,
    - okna  $\leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;
  - redukcja mostków cieplnych;
  - szczelność obudowy budynku –  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ ;
  - optymalizacja biernego wykorzystania energii słonecznej w sezonie grzewczym;
  - ochrona przed nadmiernymi zyskami ciepła od słońca w lecie;
  - kontrolowana wentylacja budynku z odzyskiem ciepła;
  - dopasowany do potrzeb budynku system grzewczy;
  - wydajne podgrzewanie ciepłej wody użytkowej;
  - efektywne energetycznie źródła ciepła;
  - optymalne wykorzystanie energii elektrycznej;
  - optymalna eksploatacja budynku i urządzeń technicznego wyposażenia [12].
- W przypadku budynków użyteczności publicznej ważne jest uwzględnienie charakterystycznych uwarunkowań eksploatacyjnych:
- powierzchnia użytkowa na jedną osobę zależy od typu budynku i mieści się w przedziale  $2 \div 30 \text{ m}^2$ ;
  - przy strumieniu powietrza wentylacyjnego na osobę  $20 \div 30 \text{ m}^3/\text{h}$  jednostkowy strumień powietrza wentylacyjnego wynosi  $15,0 \pm 1,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ;
  - zyski ciepła pochodzące od ludzi są przeważnie większe niż w budynkach mieszkalnych;
  - istnieją dodatkowe zyski ciepła ze źródeł wewnętrznych, zależnie od rodzaju budynku;
  - istnieją wyraźne dwa okresy w ciągu doby: okres użytkowania i okres nocny, co







Fot. 5. Elewacja boczna od strony rzeki Warta; źródło: APPSRA



Fot. 6. Układ stolarki okiennej oparty o pionowe podziały oraz powtarzający się rytm; źródło: APPSRA

oznacza, że należy zastosować dwa tryby pracy, a to wpływa na działanie systemu wentylacji i układ sterowania [12].

### Efektywność energetyczna budynku

W latach 2010–2021 opracowano podstawy projektowe dla budynków niemal zero-energetycznych (nZEB) i plus energetycznych (+ZEB). Zostały one określone w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, opublikowanej w dniu 17 maja 2010 roku. W Dyrektywie czytamy m.in., że „konieczne są środki prowadzące do zwiększenia liczby budynków, które nie tylko spełniają minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej, ale są zarazem jeszcze bardziej efektywne energetycznie i ograniczają przy tym zarówno zużycie energii, jak i emisje dwutlenku węgla” [13].

Parametry energetyczne budynków są określone w odniesieniu do krajowych cen towarów i usług oraz minimalnego kosztu globalnego (suma kosztów inwestycyjnych (Ki) i zdyskontowanych kosztów eksploatacyjnych (K<sub>ekspł,zd</sub>):

$$K_{\text{global}} = f(EP); K_{\text{global}} \text{ min}; EP \text{ min}; \rightarrow \rightarrow EP = f(PP, PO);$$

gdzie:

$$K_{\text{global}} = K_i + K_{\text{ekspł,zd}};$$

EP – energia pierwotna podczas eksploatacji budynku;

PP – parametry projektowe

PO – parametry operacyjne [11].

Parametry PP oraz PO dotyczą całego budynku; technicznego wyposażenia odpowiedzialnego za zużycie energii oraz rodzaju i sposobu konwersji energii. Budynek niskoenergetyczny powinien spełniać wymagania dotyczące efektywności energetycznej, systemów technicznego wyposażenia związanego z dostarczaniem i dystrybucją energii w budynku oraz pochodzeniem tej energii; powinien także zapewnić konwersję energii z jak najwyższą sprawnością. Projektując budynek niskoenergetyczny, należy określić parametry energetyczne i ekologiczne w trzech obszarach:

- budynek (obudowa i struktura wewnętrzna), jego charakterystyka cieplna oraz szczelność powietrzna – zapotrzebowanie na energię użytkową (End);
- technika instalacyjna HVAC i zastosowanie prostych źródeł energii – zapotrzebowanie na energię końcową „na granicy budynku” (Ek);

- pochodzenie i konwersja energii dostarczonej do pokrycia potrzeb budynku, określana zapotrzebowaniem na nieodnawialną energię pierwotną charakteryzowaną przez współczynnik nakładu (Wp) [11].

W budynkach niemal zero-energetycznych energia dostarczona powinna w coraz większym stopniu pochodzić z odnawialnych źródeł. W przypadku paliw nieodnawialnych współczynnik nakładu (Wp) jest większy od 1, a dla energii pochodzącej z różnych źródeł, skojarzonych lub zintegrowanych, należy obliczyć zastępcze wskaźniki nieodnawialnej energii pierwotnej, które są wyznacznikiem jakości energetycznej i ekologicznej źródeł energii. W układach konwencjonalnych o prostej strukturze są to następujące wartości:

- kocioł na paliwo stałe, ciekłe lub gazowe nieodnawialne – Wp=1,1;
- agregat chłodniczy sprężarkowy zasilany z sieci elektroenergetycznej – Wp=3,0.

Mniejsza wartość Wp oznacza udział paliwa lub energii zasobów odnawialnych [11].

### WAWIZ – budynek niemal zero-energetyczny

Powyższe aspekty zrównoważonego rozwoju i zrównoważonego budownictwa zostały wzięte pod uwagę w procesie projektowania, budowy i eksploatacji najnowocześniejszego budynku edukacyjnego w Kampusie Politechniki Poznańskiej „Warta” – budynku Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania (WAWIZ). Autorami tego projektu są: prof. PP Stawomir Rosolski (główny projektant) wraz z zespołem oraz prof. Edward Szczeciński (główny projektant instalacji wentylacji i klimatyzacji) wraz z zespołem. Projekt powstał w 2015 roku, realizację budynku ukończono w 2020 roku. Budynek ma trzy kondygnacje naziemne i jedną podziemną. Zaprojektowany został na planie prostokąta o bokach 74 × 66 m. Powierzchnia zabudowy obejmuje 4,907 m<sup>2</sup>, powierzchnia użytkowa to 15,523 m<sup>2</sup>, a kubatura wynosi 80,281 m<sup>3</sup>.

Budynek jest aplikacją projektowania skutkowo-przyczynowego [14]. Został zaprojektowany i zrealizowany w oparciu o systemy i rozwiązania zapewniające uzyskanie zakładanych parametrów zużycia energii końcowej i emisji CO<sub>2</sub>.

Na efektywność energetyczną budynku WAWIZ ma wpływ szereg zastosowanych rozwiązań, m.in.:

- forma budynku, jego zwartość i szczelność obudowy;
- rurowy powietrzny gruntowy wymiennik ciepła (składający się z czterech rur o średnicy 1,2 m i długości 65,5 m każda);
- pionowe sondy gruntowe (26 sztuk o głębokości 150 m);
- 3 pompy ciepła;
- 22 centrale wentylacyjne;

- 666 paneli fotowoltaicznych o mocy szczytowej 199,8 kWp;
- stropy grzewczo-chłodzące (długość instalacji 4318 mb);
- instalacja wentylacyjna (długość przewodów 8637 mb).

Nie sposób opisać szczegółowo wszystkich tych elementów w jednej wypowiedzi, dlatego niniejszy wywód skupia się na formie budynku jako jednym z kluczowych elementów mających wpływ na efektywność energetyczną i osiągnięte wyniki.

### Lokalizacja

Budynek Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania zlokalizowany jest wraz z całym kampusem Politechniki Poznańskiej „Warta” w ścisłym centrum Poznania. Miejsce to jest szczególnie ze względu na strukturę urbanistyczną i przestrzeń zieloną, która jest powszechnie uznawana za klucz do zrównoważonego planowania urbanistycznego [15]. Będąc najdalej wysuniętym na północ budynkiem uczelni, WAWIZ – poprzez swoją orientację i położenie – otwiera całe założenie urbanistyczne na przebiegającą wzdłuż jego zachodniej krawędzi rzekę Wartę. Bazując na wytycznych zawartych w zapisach Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzeni (Uchwała nr XXIV/216/V/2007 Rady Miasta Poznania), optymalnie wykorzystuje wyznaczony kwartał zabudowy, dostosowując swoją komunikację i prostą formę do istniejącego układu urbanistycznego oraz terenów zielonych wzdłuż brzegu rzeki, które potraktowane zostały jako bardzo ważne w procesie projektowania budynku będącego częścią kampusu położonego w samym centrum miasta, a nie na jego obrzeżach.

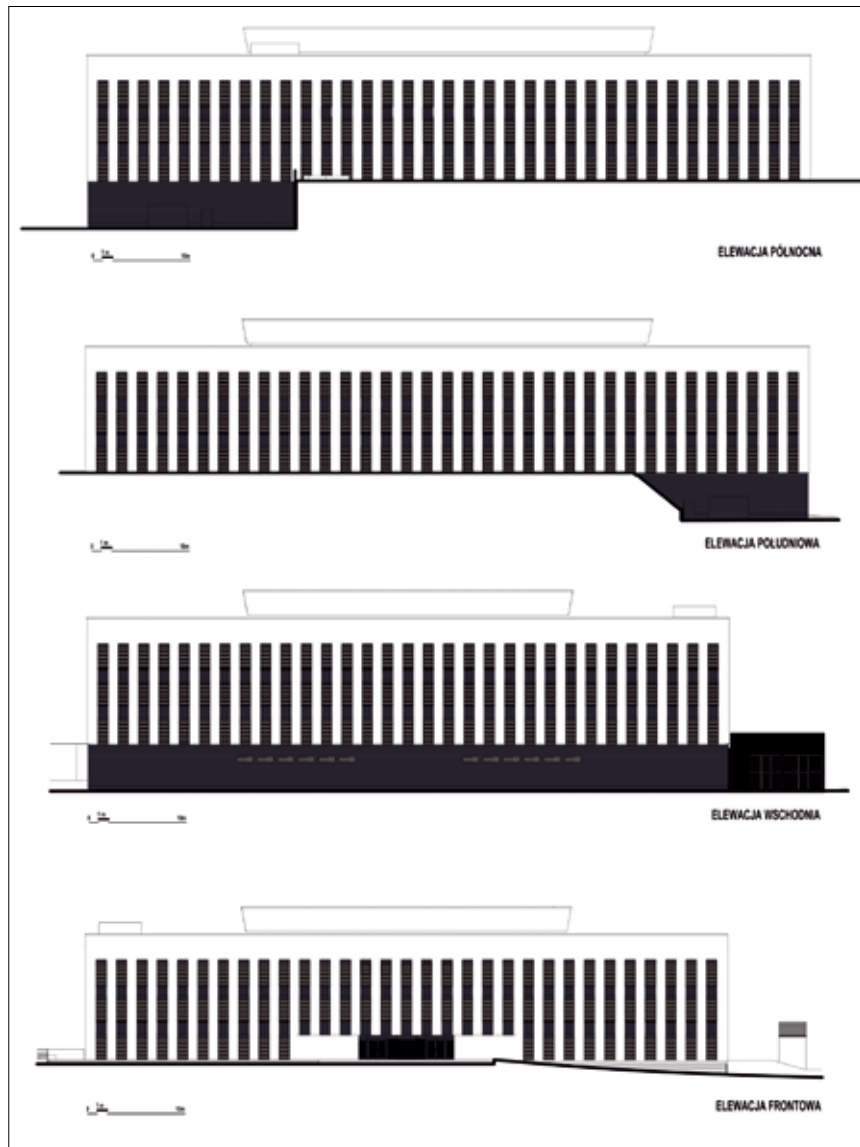
### Forma budynku

#### Elewacja

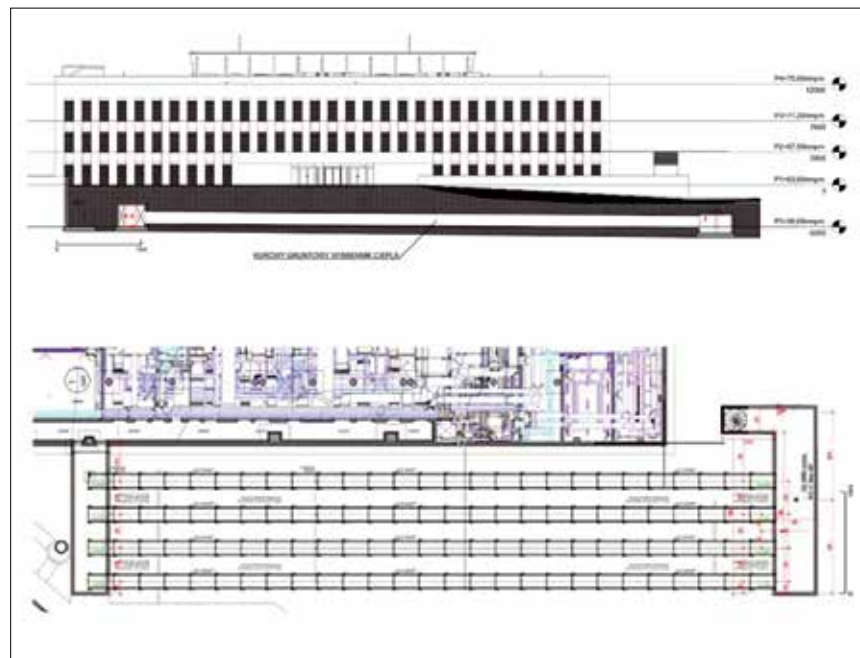
Objekt miał za zadanie dopasować się do istniejącego układu urbanistycznego oraz zapewnić niezmienność walorów przestrzennych i krajobrazowych. Zaprojektowany został prosty w swej formie budynek, „ubrany” w detal architektoniczny: fasady zyskały charakterystyczny układ stolarki okiennej oparty o pionowe podziały oraz powtarzający się rytm. Budynek ma tylko cztery narożniki, co bezpośrednio przekłada się na jego zwartość. Powstał czterokondygnacyjny obiekt, w którym wszystkie cztery elewacje są niemal identyczne.

Obudowa zewnętrzna budynku w bezpośredni sposób rzutuje na jego strukturę wewnętrzną, charakterystykę cieplną oraz szczelność obudowy budynku. W wyniku badań i analiz uzyskano następujące parametry:

- zwartość budynku:  $A/V=0,2 \text{ m}^{-1}$ ,
- współczynnik przenikania ściany:  $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,



Rys. 2. Cztery ściany elewacji; źródło: APPSRA



Rys. 3–4. Rurowy powietrzny gruntowy wymiennik ciepła; źródło: APPSRA





Fot. 7. Pięta elewacja – rozmieszczenie paneli fotowoltaicznych na dachu budynku WAWIZ; źródło: APPSRA



Fot. 8. Ogniwa fotowoltaiczne nad dziedzińcem; źródło: APPSRA



Fot. 9. Ogniwa fotowoltaiczne na dachu budynku; źródło: APPSRA

- współczynnik przenikania stropodachu:  $U=0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,
- współczynnik przenikania posadzki na gruncie:  $U=0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,
- szczelność obudowy budynku:  $n_{50}=0,20 \text{ h}^{-1}$ ,
- współczynnik przenikania okien (zespólnych trzyszybowych):  $U \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Istotnym czynnikiem zwiększającym efektywność energetyczną jest stosunek ilości przeszklenia do całkowitej powierzchni elewacji, który wynosi 25%. Należy w tym miejscu podkreślić, że w oknach zamontowano

żaluzje zewnętrzne sterowane urządzeniami przeciwstawnymi, co pozwala na optymalizację biernego wykorzystania energii słonecznej. Również biały kolor elewacji nie tylko podkreśla piękno budynku i spójną kompozycję z otoczeniem kampusu, ale także przyczynia się do zapobiegania przegrzewaniu się obiektu. Podobną funkcję spełnia przeszklenie nad dziedzińcem wewnętrznym z ażurową podkonstrukcją dachu – doświetla wnętrze naturalnym światłem, chroniąc budynek przed nadmiernym przegrzaniem dziedzińca.

Projekt budynku WAWIZ to też pełna integracja jego formy i lokalizacji z kluczowymi elementami infrastruktury zewnętrznej i wewnętrznej obiektu. Budynek jest m.in. ściśle zintegrowany z rurowym powietrznym gruntowym wymiennikiem ciepła, którego długie na ponad 65 m rury o średnicy 1,2 metra biegną pod powierzchnią niewielkiego wzniesienia, na którym stoi WAWIZ.

### Dach – piąta elewacja

Warto też przyjrzeć się piątej elewacji budynku WAWIZ. Dach, bo o nim tu mowa, to dach płaski i dach szedowy uzbrojony w przeszklenie i ogniwa fotowoltaiczne pozyskujące energię ze słońca (rys. 6 i 7). Stanowią one zasadniczą część systemu budynku pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych.

Na dachu budynku (zarówno na części płaskiej, jak i dachu szedowego) zamontowano 666 paneli fotowoltaicznych o łącznej powierzchni 1090 m<sup>2</sup>. Przeanalizowano wpływ orientacji budynku i kąta nachylenia ogniw PV na procentowy uzysk energii (patrz rys. 5). Dobór ogniw fotowoltaicznych został wykonany w oparciu o symulację rozkładu chwilowego zapotrzebowania mocy oraz energii w ciągu roku. Należy podkreślić pełną integrację systemu ogniw fotowoltaicznych z systemem przeszkleń dziedzińca. Zintegrowanie tych rozwiązań doprowadziło do optymalizacji konstrukcji w wymiarze statycznym, dając rozwiązanie architektoniczne wewnętrzne i zewnętrzne (piąta elewacja). Pomiarzy rzeczywiste z kolektorów PV pokazują, że osiągnięto ich wydajność na poziomie 199,8 kWp.

### Iluminacja

Prosta forma budynku miała bezpośredni wpływ na przyjęte rozwiązania iluminacji. Iluminacja zewnętrzna eksponuje bryłę budynku w wieczornym krajobrazie nadbrzeżnym poprzez zastosowanie oświetlenia zalewowego. Jest to dowód na to, że można łączyć estetykę z inżynierskim pragmatyzmem eksploatacyjnym: dane pozyskane z serwerów AS-Schneider Electric w budynku dowodzą, że uzyskane parametry eksploatacji iluminacji zewnętrznej pokazują, że moc całkowita nie przekracza 1 kW. W analizie porównawczej warto zwrócić uwagę, że jest to wartość mniejsza niż moc pobierana przez urządzenia AGD, takie jak ekspres do kawy czy toster.

### Podsumowanie

Przedstawiony budynek Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania ukazuje wyraźnie, jak forma może wpływać na efektywność energetyczną poprzez swą zwartość, szczelność i zintegrowanie z wyposażeniem technicznym. W procesie projektowania i realizacji budynku WAWIZ zadaniem dominującym było uzyskanie parametrów

budynku niemal zero-energetycznego oraz parametrów programowo-funkcjonalnych. Oba te cele zostały zrealizowane: dane dotyczące eksploatacji dowodzą, iż osiągnięto lepsze parametry ekologiczne i ekonomiczne, niż zakładano, a wydziały mające siedzibę w budynku mogą funkcjonować w sposób swobodny i niezależny.

Biorąc pod uwagę zaawansowanie technologiczne budynku, koniecznym elementem już na wstępnym etapie procesu projektowego była adaptacja form i kubatury zastosowanych urządzeń oraz elementów instalacji. Spełnienie założeń mających na celu połączenie wysokiej estetyki z funkcjonalnością i sprawnością energetyczną obiektu osiągnięte zostało poprzez zastosowanie klasycznych i ponadczasowych rozwiązań kompozycyjnych formy, co pozwoliło ograniczyć poziom skomplikowania wewnętrznego układu technicznego wyposażenia.

Najważniejszym jednak potwierdzeniem wysokiej efektywności energetycznej WAWIZ, założonej już na wstępnym etapie projektowania i tworzenia budynku, niech będą liczby: prezentowane tabele są dowodem słuszności przyjętych rozwiązań w zakresie zużycia energii końcowej i emisji CO<sub>2</sub> (03.2020–02.2023). Pokazują wyraźnie, że od momentu oddania budynku w 2020 roku osiągnięte wartości przekraczają te zakładane. Są też dużo niższe niż parametry określone w Warunkach Technicznych.

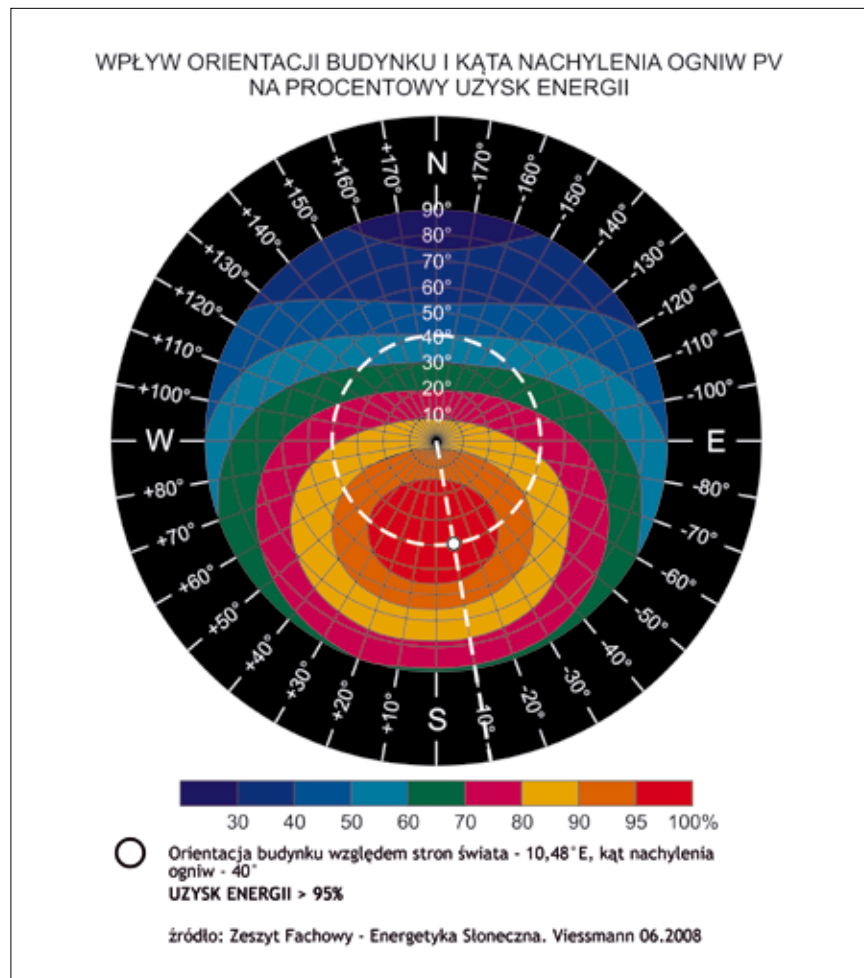
Dane pobrano z serwerów automatyki AS-Schneider Electric znajdujących się w budynku<sup>1</sup>.

Mimo iż budynek WAWIZ funkcjonuje dopiero trzy lata, został już doceniony i nagrodzony. W 2022 roku Stowarzyszenie Polska Wentylacja przyznało głównym projektantom prestiżową nagrodę branżową Pascal 2022. Stowarzyszenie doceniło projekt klimatyzacji i wentylacji m.in. za zdecentralizowany układ wentylacyjny, GWC o dużej wydajności powietrza, zintegrowanie systemu grzania-chłodzenia i wentylacji, czepnięcie stanowiącą spójny element kompozycyjny oraz potraktowanie elementów tras wentylacyjnych jako elementów kompozycji (aorty technologiczne) stanowiących również walor edukacyjny dla studentów obu wydziałów mających siedzibę w budynku.

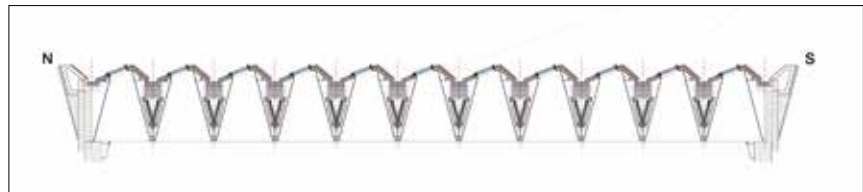
W roku 2023 otrzymał nagrodę Ministra Edukacji i Nauki za znaczące osiągnięcia w zakresie działalności wdrożeniowej.

## Bibliografia

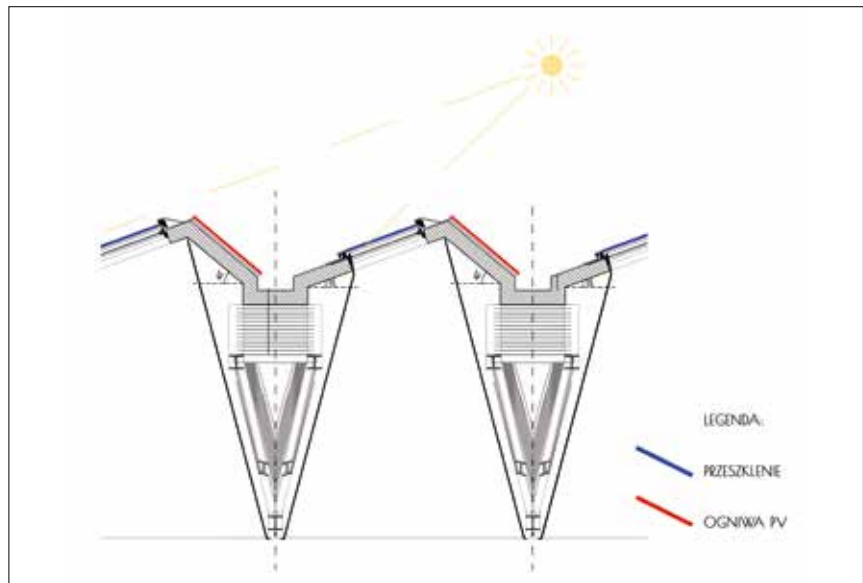
- [1] Witruwiusz. O architekturze ksiąg dziesięć. Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1956.
- [2] Da Vinci L. B., O pięciu porządkach w architekturze, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1955.
- [3] Palladio A. Cztery księgi o architekturze. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1955.
- [4] Alberti L. B., Ksiąg dziesięć o sztuce budowania, PWN Warszawa, 1960.
- [5] Brundtland G., Raport Światowej Komisji Środowiska i Rozwoju „Nasza przyszłość”, 1987.
- [6] [www.iea.org/energy-system/building](http://www.iea.org/energy-system/building) – strona internetowa Międzynarodowej Agencji Energetycznej.



Rys. 5. Wpływ orientacji budynku i kąta nachylenia ogniw PV na procentowy uzysk energii; źródło: Zeszyt fachowy – Energetyka Słoneczna, Viessmann 06.2008



Rys. 6. Przekrój podkonstrukcji ogniw fotowoltaicznych; źródło: APPSRA



Rys. 7 Przekrój podkonstrukcji ogniw fotowoltaicznych – detal; źródło: APPSRA



Lp.	Wyszczególnienie	Zużycie EK wg WT 2021	Zużycie EK wg projektu	Zużycie EK wg pomiarów 2020/21	Zużycie EK wg pomiarów 2021/22	Zużycie EK wg pomiarów 2022/23
1.	Ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, ciepła woda [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	50,0	12,68	8,90	9,15	10,15
2.	Oświetlenie wbudowane [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	8,3	8,01	3,70	4,14	5,04
3.	Zużycie razem [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	58,3	20,69	12,60	13,29	15,19
4.	Produkcja własna [kWh/(m <sup>2</sup> a)]		12,65	13,89	13,25	14,56
5.	Łączne zużycie z uwzględnieniem produkcji własnej PV [kWh/(m <sup>2</sup> a)]			-1,29	0,05	0,63
6.	Emisja CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> a)]	26,3	6,55	0,0	0,04	0,46

Powierzchnia o regulowanej temperaturze: Af = 15.138 m<sup>2</sup>.

Lp.	Wyszczególnienie	wg WT 2021	wg projektu	wg pomiarów 2020/21	wg pomiarów 2021/22	wg pomiarów 2022/23
1.	Ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, ciepła woda, oświetlenie wbudowane EP [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	95,0	21,7	0	0,15	1,89
2.	Koszty roczne energii dla ww potrzeb [zł/(m <sup>2</sup> a)]	23,40	4,90	0,0	0,03	0,63
3.	Koszty roczne energii elektrycznej dla ww potrzeb [zł/rok]	354.230,00	74.176,00	0,0	454,14	9.500,00

Uwaga: przyjęto cenę:

1 kWh = 0,60 zł, sieć ciepła 86 zł/GJ (0,31 zł/kWh) – 2020–2021

1 kWh = 1,00 zł – 2022



Fot. 10. Iluminacja zewnętrzna budynku WAWIZ; źródło: APPSRA

[7] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego „Budownictwo drewniane na rzecz redukcji emisji CO<sub>2</sub> w sektorze budowlanym”, 2023/C, 184/04.

[8] Januchta-Szostak A., Banach M., Praca zbiorowa, Architektura wobec wyzwań zrównoważonego rozwoju. Człowiek – Ekologia – Architektura tom 2. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2017.

[9] Szczechowiak E., Szmański M., Górzeński R., Koncepcja technicznego wyposażenia budynku niemal zero-energetycznego Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania w Kampusie Politechniki Poznańskiej „Warta” w Poznaniu. Poznań 2016.

[10] www.plgbc.org.pl – strona internetowa Polskiego Stowarzyszenia Budownictwa Ekologicznego.

[11] Czarniecki L., Deja J., Furtak K. i in., Idee kształtujące innowacyjne wyzwania techniki budowlanej, „Materiały Budowlane”, nr 7 (539), ISSN 0137-2971, 2017.

[12] Rosolski S., Budynek niemal zero-energetyczny. Wydział Architektury i Wydział Inżynierii Zarządzania w Kampusie Politechniki Poznańskiej „Warta” w Poznaniu. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2023.

[13] Dyrektywa 2010/31/EU Parlamentu Europejskiego z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

[14] Rosolski S., Projektowanie architektoniczne a zagadnienia odwrotne, Exemplum, Poznań 2012.

[15] Bonenberg W., Bonenberg A., Wei X., Ecological Corridors and Green Space in the City of Poznan, Poland. Lecture Notes in Networks and Systems 272, s. 279–286, Springer Nature Switzerland AG. 2021.

DOI: 10.5604/01.3001.0053.8974

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA  
Rosolski Sławomir, 2023, Forma a efektywność energetyczna dla uzyskania budynku niemal zero-energetycznego, „Builder” 10 (315).  
DOI: 10.5604/01.3001.0053.8974

**Streszczenie:** Niniejszy artykuł przedstawia główne założenia zrównoważonego rozwoju i zrównoważonego budownictwa oraz czynniki mające kluczowy wpływ na efektywność energetyczną budynku. Celem artykułu jest również określenie wpływu formy na efektywność energetyczną budynku dla uzyskania budynku niemal zero-energetycznego, na przykładzie budynku Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania w Kampusie Politechniki Poznańskiej „Warta” w Poznaniu. W artykule opisano wyniki badań i analiz porównawczych danych eksploatacyjnych w oparciu o dane pozyskane z serwerów budynku. Przedstawiono zestawienia tabelar-

yczne będące dowodem słuszności przyjętych rozwiązań w zakresie zużycia energii końcowej i emisji CO<sub>2</sub>.

**Słowa kluczowe:** budynek niemal zero-energetyczny, efektywność energetyczna budynku, forma budynku, zrównoważony rozwój, zrównoważone budownictwo, WAWIZ

**Abstract:** Form vs Energy Efficiency in Nearly Zero-Energy Building. This article presents main assumptions of sustainable development and sustainable building, and lists key factors affecting energy efficiency of a building. The goal of this article is to describe the influence of the form on building's energy efficiency to develop a nearly zero-energy building. The case study described herein refers to the Faculty of Architecture and Faculty of Engineering Management in „Warta” Campus of Poznan University of Technology. The article presents results of research and comparative analyses of operation data based on information obtained from building's servers. Finally, the included tables validate applied solutions in terms of final energy consumption and CO<sub>2</sub> emission.

**Keywords:** nearly zero-energy building, energy efficiency, form, sustainable development, sustainable building, WAWIZ

<sup>1</sup> WAWIZ wyposażony jest w 15 serwerów automatyki AS-Schneider Electric. Obsługują one m.in. źródło ciepła i chłodu, systemy wentylacji mechanicznej oraz automatykę pomieszczeniową z wykorzystaniem sensorycznych regulatorów pomieszczeniowych SER-Schneider Electric. Warstwa sterowania połączona została z nadrzędnym systemem sterowania BMS SmartStruxure (Schneider Electric), który integruje zainstalowane w budynku systemy OZE: pompy ciepła, fotowoltaikę i GWC. Steruje też systemem oświetlenia (wewn. i zewn.) i obejmuje monitoring zużycia mediów w budynku.