

Sławomir ROSOLSKI*

STRUKTURA BUDYNKU NIEMAL ZEROENERGETYCZNEGO (ETAP III)

Niniejszy artykuł porusza zagadnienia związane ze strukturą budynku w aspekcie budynku zabytkowego Wroniecka 23 (Poznań), stanowi kontynuację prac badawczych¹ prowadzonych od 2016 roku i koncentrujących się na pojęciu struktury (łac. *structura* ‘budowa, sposób budowania’). W pracy przedstawiono układ wzajemnych relacji elementów stanowiących całość oraz synergię między strukturą budynku, technicznym wyposażeniem, obudową zewnętrzną i obudową wewnętrzną.

Słowa kluczowe: struktura budynku, obudowa zewnętrzna i wewnętrzna budynku, charakterystyka energetyczna, budynek niemal zeroenergetyczny

Coraz wyższe wymagania w zakresie oszczędzania nieodnawialnej energii pierwotnej, redukcji obciążeń środowiska naturalnego, spełnienia uwarunkowań zrównoważonego rozwoju i zrównoważonego budownictwa² odnoszą się również do zabytkowych obiektów, które wymagają zmian w podejściu do oceny ich stanu zastania i możliwości przywrócenia do potrzeb współczesnej rzeczywistości. To sprawia, że podejmowane są działania związane z poprawą standardów energetycznych budynków zabytkowych powoli zmierzające w kierunku zastosowania najefektywniejszych technologii i związanych z nimi rozwiązań opartych na energii odnawialnej

* Politechnika Poznańska, Wydział Architektury, Zakład Historii, Teorii i Ochrony Dziedzictwa. ORCID: 0000-0001-9529-0423.

¹ 10/04/DSPB/0099: „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap I)”, 2016 r.; 10/04/DSPB/0119: „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”, 2017 r.

² S. Rosolski, dane syntetyczne DS. nr 10/04DSPB0099 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap I)”. Rys. 1. Podstawowe kryteria oceny budynków zrównoważonych.

pozyskiwanej na miejscu jej poboru z poszanowaniem wartości historycznej, artystycznej i naukowej miejsca.

Poszanowanie starej tkanki w kontekście parametryzacji budownictwa niemal zeroenergetycznego możliwe było dzięki:

- przeprowadzeniu badań: statycznych, architektonicznych, konserwatorskich, archeologicznych, historycznych, ikonograficznych, dendrochronologicznych struktury budynku, technicznych struktury budynku;
- zastosowaniu nowych metod badania i dokumentacji (m.in.: skaning laserowy, mapping, skanowanie laserowe trójwymiarowe, badanie szczelności³, pomiar jakości powietrza – zastosowanie filtrów antyalergicznyc/antysmogowych);
- zastosowaniu nowych materiałów i technologii oraz rozwiązań technicznych opartych na odnawialnych źródłach energii (m.in. pv – ogniwa fotowoltaiczne⁴).

Działania inwentaryzacyjne, badawcze i projektowe doprowadziły do sformułowania własnej definicji budynku, systemu trzech zbiorów komponentów w przestrzeni (struktury, technicznego wyposażenia, obudowy zewnętrznej i wewnętrznej budynku) będących materialnym wyrazem wzajemnej synergii w relacji idei zrównoważonego rozwoju⁵ (rys. 1-2). Przykładem takiego podejścia stała się kamienica przy ul. Wronieckiej 23 w Poznaniu⁶, która jest obecnie jednostką naukowo-badawczo-wdrożeniową.



Rys. 1. Struktury budynku – schemat⁷

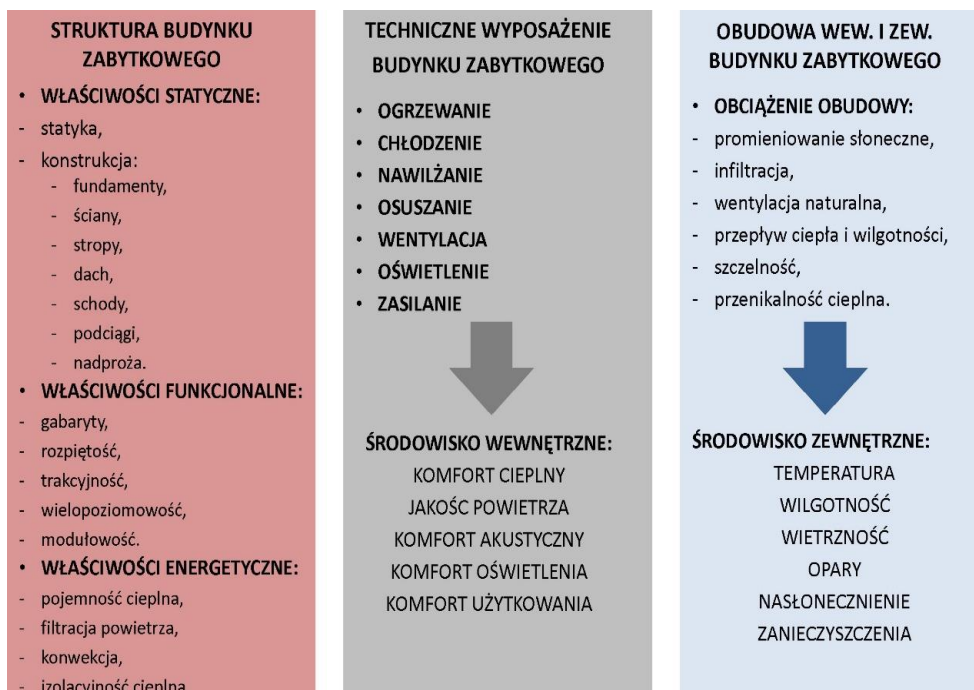
³ S. Rosolski, badanie szczelności. Dane syntetyczne DS. nr 10/04/DSPB/0119 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”.

⁴ Pv – ogniwa fotowoltaiczne – pomiar za pomocą systemu SOLAR EDGE wykazał korzyści dla środowiska (dla okresu maj 2019 – listopad 2019): redukcja emisji CO₂ – 2504,27 kg, ekwiwalent posadzonych drzew – 3,28 drzewa).

⁵ S. Rosolski, definicja własna budynku, DS. nr 10/04/DSPB/0119 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”.

⁶ Dokładne informacje dotyczące historii budynku zostały umieszczone w DS. nr 10/04/DSPB/0119 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”, 2017 r.

⁷ S. Rosolski, rys. 1: DS. Nr10/04/DSPB/0119 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”.

Rys. 2. Budynek jako zbiór trzech komponentów w przestrzeni⁸

1. WRONIECKA 23 – STRUKTURA BUDYNKU ZABYTKOWEGO

Historyczna struktura zabytkowego budynku⁹ została poddana szczegółowym badaniom i inwentaryzacji, które ukazały faktyczny stan techniczny budynku, umożliwiając tym samym określenie wielu działań projektowych mających na celu przystosowanie zabytku do nowych warunków technicznych przy jednoczesnym uszanowaniu historii miejsca. Struktura kamienicy, jej techniczne wyposażenie oraz obudowa zewnętrzna i wewnętrzna tworzą zbiór komponentów w przestrzeni, które się przenikają. To sprawiło, że Wroniecka 23 stała się doskonałym punktem wyjścia do prowadzenia badań nad możliwością przystosowania budynku zabytkowego do współczesnych potrzeb i wymagań.

⁸ S. Rosolski, rys. 2: DS. Nr10/04/DSPB/0119 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”.

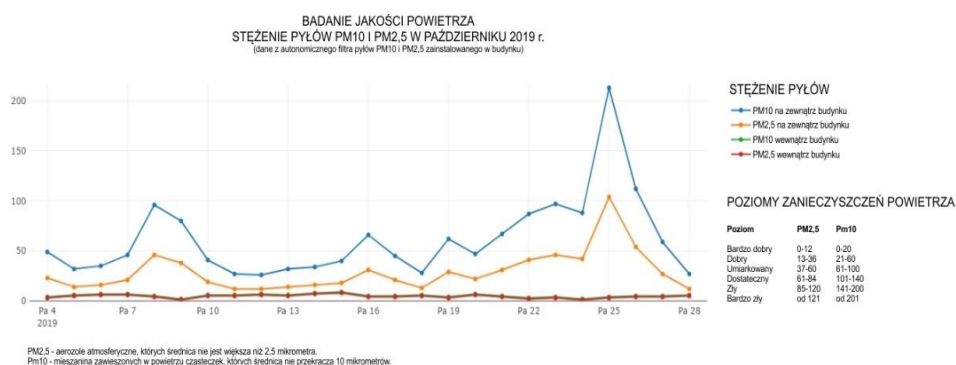
⁹ Wyniki analizy dendrochronologicznej próby drewna z belek stropowych i piętra kamienicy przy ul. Wronieckiej 23 w Poznaniu wykazały datę pochodzenia drewna na rok 1591.

Struktura budynku zabytkowego wygląda następująco (rys. 2):

1. Właściwości statyczne:

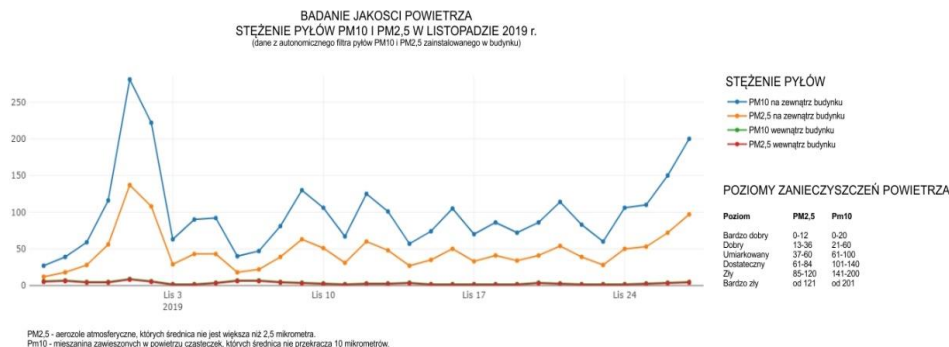
- a) statyka – badania statyczne wykazały, że stan budynku był wystarczający do przeniesienia nowych obciążeń; elementem dodatkowo usztywniającym budynek były zaprojektowane żelbetowe prefabrykowane schody spinające każdą kondygnację;
- b) konstrukcja:
 - ściany – istniejące mury (po zastosowaniu odpowiednich wzmocnień) wykorzystano do oparcia nowo projektowanych elementów konstrukcji; na wszystkich kondygnacjach cegła została odkryta spod grubej warstwy tynku, odpowiednio wzmocniona i wyeksponowana, podkreślając historyczny charakter miejsca; ściany (frontowa i tylna) otrzymały dodatkową izolację termiczną, uzyskując podwyższoną ochronę cieplną przegród, a elewacje zostały wykończone monochromatycznym tynkiem o niskim zużyciu energii w eksploatacji, co zostało potwierdzone w toku prac laboratoryjnych i realizacyjnych;
 - stropy – istniejące stropy i stropodach w budynku to stalowo-ceramiczne stropy Kleina, które wzmocniono górną warstwą betonu i stali; na wszystkich kondygnacjach zastosowano stropy aktywowane termicznie;
 - dach – konstrukcja dachu jest wtórna i pochodzi z lat siedemdziesiątych; połączenia dachowe zostały rozebrane, a dach uszczelniony i docieplony; wykorzystano jego powierzchnię pod instalację ogniw fotowoltaicznych, zastosowano także okna połaciowe doświetlające wnętrze ostatniej kondygnacji i klatki schodowej (świetliki dachowe są w pełni zautomatyzowane i samowystarczalne energetycznie, umożliwiając przewietrzanie obiektu w okresach przejściowych);
 - schody – na szczególną uwagę zasługują elementy konstrukcji odtworzenia klatki schodowej, która jako element prefabrykowany została „włożona” przez świetlik dachowy; charakter schodów podkreślają podświetlone szklane podesty, ceglane ściany duszy klatki schodowej oraz okna połaciowe;
 - podciągi – z uwagi na niedostateczną nośność istniejących stalowych podciągów wzmocniono je przez dospawanie dodatkowych profili stalowych od spodu belki; w przestrzeni klatki schodowej wprowadzono dodatkowe belki stalowe podtrzymujące szklane podesty;
 - nadproża – na wyższych kondygnacjach nad oknami pozostawiono istniejące nadproża murowane łukowe odcinkowe; na parterze zaplanowano duże przeszklone witryny, dlatego konieczny był tam montaż nowych nadproży stalowych.

2. Właściwości funkcjonalne¹⁰:
 - a) gabaryty – długość kamienicy wynosi 17,13 m, szerokość elewacji frontowej to 4,71 m, szerokość elewacji tylnej – 4,11 m, wysokość kamienicy – 14,29 m;
 - b) rozpiętość (stropu) – od frontu elewacji 3,88 m, od tyłu 3,04;
 - c) trakcyjność – budynek jednotraktowy;
 - d) wielopoziomowość – budynek ma 5 kondygnacji: 4 nadziemne i 1 podziemną;
 - e) modułowość – powtarzalny układ przestrzeni 1 piętra, 2 piętra i 3 piętra.
3. Właściwości energetyczne:
 - a) pojemność cieplna – dążenie do maksymalnej szczelności budynku, która była weryfikowana na każdym etapie prac wykonawczych przez przeprowadzanie badań szczelności (I pomiar szczelności – czerwiec 2017 r., II pomiar szczelności – lipiec 2017 r., III pomiar szczelności – wrzesień 2017 r., IV pomiar szczelności – listopad 2018 r.);
 - b) filtracja powietrza – zastosowanie w budynku wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, wykorzystującej innowacyjny autonomiczny filtr pyłów firmy Lupio służący do pomiaru jakości powietrza (filtry antyalergiczne/antysmogowe); dodatkowo w najniższej kondygnacji (piwnica) zastosowano przeponę wentylacyjną – naturalne przewietrzenie fundamentów w celu bezinwazyjnego odprowadzenia wilgoci;
 - c) konwekcja – wykorzystanie centralnie umieszczonej klatki schodowej jako naturalnego „komina” przepływu powietrza wspomaganego latem samowystarczalnymi energetycznie oknami połaciowymi;
 - d) izolacyjność cieplna – podwyższona ochrona ciepła przegród zewnętrznych budynku, współczynnik przenikania ciepła U dla ścian na poziomie $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, dla dachu: $U = 0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, dla okien: $U = 0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.



Wykres 1. Badanie jakości powietrza, stężenie pyłów PM10 i PM2,5 (październik 2019 r.)

¹⁰ S. Rosolski, DS. nr 10/04/DSPB/0119 „Struktura budynku niemal zeroenergetycznego (etap II)”.



Wykres 2. Badanie jakości powietrza, stężenie pyłów PM10 i PM2,5 (listopad 2019 r.)

2. WRONIECKA 23 – OBUDOWA WEWNĘTRZNA I ZEWNĘTRZNA BUDYNKU ZABYTKOWEGO

Obudowa wewnętrzna i zewnętrzna budynku zabytkowego (rys. 2):

– obciążenie obudowy:

- promieniowanie słoneczne – wykorzystanie promieniowania słonecznego do wspomagania zasilania w energię elektryczną; pomiar za pomocą systemu Solar Edge wykazał redukcję emisji CO₂ w okresie od maja 2019 do listopada 2019 o 2278,83 kg; podobny efekt przyniosłoby posadzenie 3,28 drzew; okna zewnętrzne zintegrowane – przeszklenia przystosowane do ochrony przed promieniowaniem słonecznym;
- infiltracja – minimalizacja nieszczelności w przegrodach budynku – infiltracja powietrza zewnętrznego, przystosowanie tarasu dziedzińca wewnętrznego do przenikania wód deszczowych do warstw gruntu – infiltracja wody deszczowej;
- wentylacja naturalna – wykorzystanie centralnie umieszczonej klatki schodowej jako naturalnego „komina konwekcyjnego”, świetliki dachowe w pełni zautomatyzowane umożliwiające przewietrzenie obiektu w okresach przejściowych;
- przepływ ciepła i wilgoci – przepona wentylacyjna umożliwiająca bezinwazyjny przepływ wilgoci w celu naturalnego przewietrzenia fundamentów przez warstwę keramzytu;
- szczelność – zapewnienie szczelności budynku przez wykonywanie badań szczelności na każdym etapie prac remontowych (np. weryfikacja poprawności zastosowanej metody uszczelnienia połączenia dachowej, weryfikacja

szczelności powłoki budynku w rejonie zamontowanych nowych okien – ciepły montaż okien);

- przenikalność ciepła – wprowadzenie dodatkowej izolacji termicznej wzdłuż ściany elewacji frontowej i tylnej oraz docieplenie dachu, zastosowanie okien o współczynniku $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Obudowa wewnętrzna i zewnętrzna budynku podlega ciągłemu działaniu:

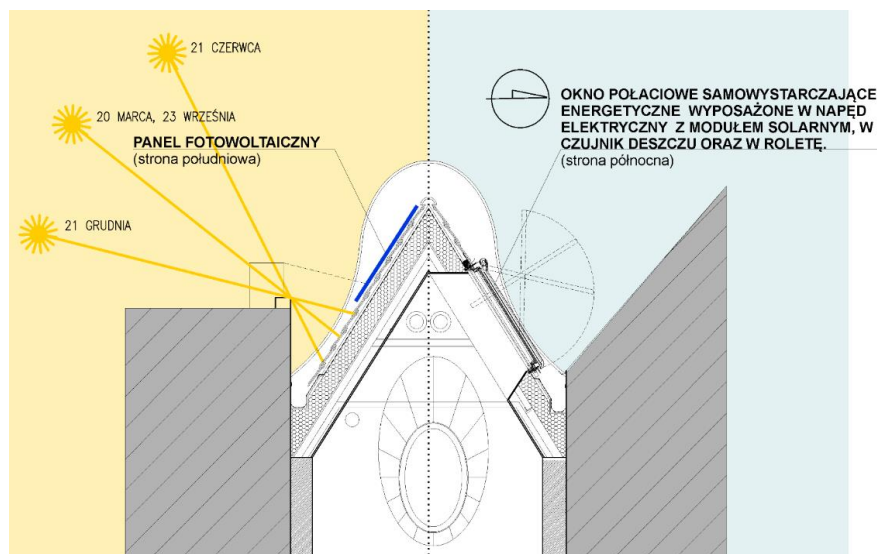
a) środowiska zewnętrznego:

- temperatura – wszystkie materiały budowlane zwiększają swoje wymiary i kurczą się w rytm zmian temperatury otoczenia; temperatura na powierzchni materiału budowlanego zależy m.in. od orientacji ściany względem stron świata, koloru użytego materiału oraz typu ściany (z izolacją lub bez); temperatura na powierzchni muru jest znacznie wyższa niż temperatura atmosfery;
- wilgotność – materiały budowlane, z wyjątkiem metali, pochłaniają wilgoć, przez co zwiększają swoją objętość; dla niektórych zmiany te są nieodwracalne, dla innych odwracalne lub częściowo odwracalne;
- wietrzność – skala wielkości siły parcia i ssania wiatru zależy m.in. od prędkości, kierunku i gęstości przepływu mas powietrza, kształtu i wymiarów obiektów, sztywności budynku oraz jego lokalizacji;
- opady – opady śniegu generują obciążenia dla konstrukcji budynku, a woda wnika w szczeliny na elewacji, powodując powolne, ale systematyczne zawilgocenie;
- nasłonecznienie – wpływ promieni słonecznych na użyty materiał zależy od jego orientacji względem stron świata, ściany zlokalizowane w kierunku południowym mogą nagrzewać się do temperatury 60-65°C;
- zanieczyszczenia – w efekcie naturalnych ruchów powietrza związki chemiczne obecne w smogu osiadają na elewacjach, oddziałując korozyjnie na wiele materiałów budowlanych, takich jak tynki, cegła, płytki ceramiczne i ich spoiny; szczególnie niebezpieczne są drobinki wytworzonego kwasu siarkowego, które mogą powodować miejscowe uszkodzenia elewacji; sadza oraz pyły tworzą na ścianach budynków ciemne smugi i plamy, powodując jednocześnie szarzenie jasnych kolorów;

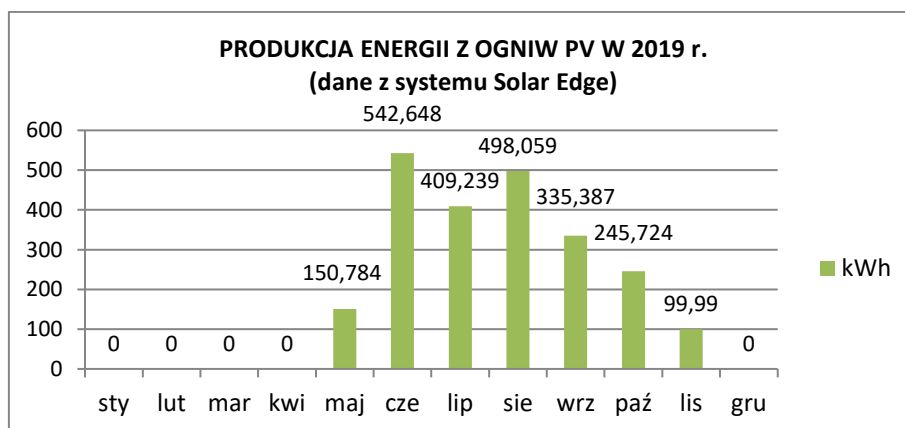
b) środowiska wewnętrznego [Rosolski 2012]:

- komfort cieplny – zapewniający warunki dobrego samopoczucia, to taki stan otoczenia, w którym równowaga cieplna organizmu ludzkiego zachowana jest przy minimalnym obciążeniu jego układu termoregulacyjnego;
- jakość powietrza – jakość powietrza należy rozpatrywać jako relację jakości powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, którą określa się przez taki stan czystości powietrza, który spełnia wymagania i oczekiwania ludzi;
- komfort akustyczny – komfort akustyczny to pożądaný stan otoczenia dźwiękowego o dobrych akustycznych walorach wnętrza i odpowiednio zmniejszonym poziomie hałasów przenikających do pomieszczenia z zewnątrz, zapewniający dobre samopoczucie;

- komfort oświetlenia – komfort świetlny to pożądany stan, w którym proces widzenia zachodzący w otoczeniu umożliwia swobodną orientację i wygodę użytkową związaną z naświetleniem wnętrza;
- komfort użytkowania – zbiór wszystkich elementów środowiska zewnętrznego i wewnętrznego mający bezpośredni wpływ na odbiór „otoczenia” przez człowieka.



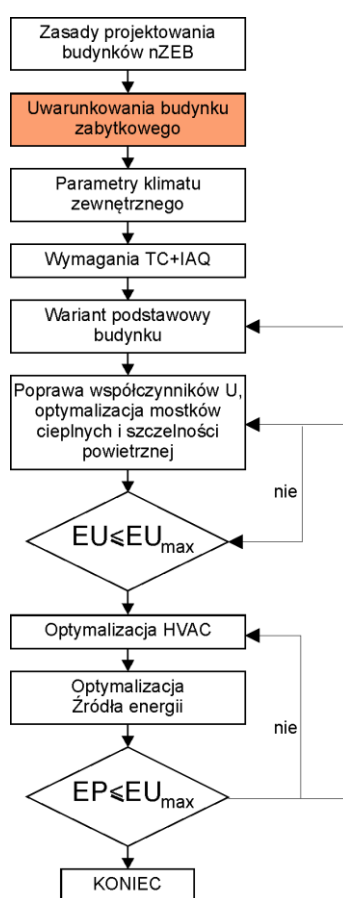
Rys. 3. Pv – ogniwa fotowoltaiczne – schemat umieszczenia na dachu kamienicy – przekrój poprzeczny



Wykres 3. Wykres przedstawiający produkcję energii elektrycznej przez ogniwa fotowoltaiczne, narzędzie pomiaru: system Solar Edge

3. WNIOSKI

Wszystkie działania, począwszy od inwentaryzacji budynku, badań i wdrożenia najnowszych metod ich dokumentacji, aż po zastosowanie nowych materiałów, technologii oraz innowacyjnych rozwiązań technicznych, miały na celu przybliżenie zagadnień dotyczących struktury budynku, obudowy wewnętrznej i zewnętrznej oraz ich wzajemnych relacji w aspekcie przystosowania zabytkowej tkanki do wymogów stawianych współczesnym budynkom.



Rys. 4. Algorytm projektowania budynków niemal zeroenergetycznych

Oznaczenia: TC – komfort cieplny, IAQ – jakość powietrza wewnętrznego, EU – ciepło użytkowe dla ogrzewania i wentylacji, HVAC – układ ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, EP – energia pierwotna, EP_{max} – wskaźnik energii pierwotnej określony dla optymalnego kosztu globalnego dla danej kategorii budynków.

Uszanowanie historycznych uwarunkowań miejsca oraz potraktowanie kamienicy od strony technicznej w aspekcie współczesnych wymagań związanych m.in. z obniżaniem energochłonności obiektów i ochroną środowiska umożliwiło uzyskanie parametrów zdefiniowanych dla współczesnych obiektów i spełnienie warunków technicznych określonych w 2021 roku¹¹.

Tab. 1. Zestawienie rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK oraz na nieodnawialną energię pierwotną EP

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową EK: ogrzewanie, chłodzenie i wentylacja, ciepła woda	
Budynek remontowany	14,8 kWh/(m²a)
Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP: ogrzewanie, chłodzenie i wentylacja, ciepła woda oraz oświetlenie	
Budynek remontowany	59,25-53,94 kWh/(m²a)
Wymagania wg warunków technicznych 2021 r.	95,0 kWh/(m ² a)
Udział energii odnawialnej w budynku w skali roku (pompa ciepła, kolektor PV):	
Udział energii odnawialnej: 78-85%	85%
Faktyczne roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP (energia elektryczna z sieci systemowej + kolektory PV): ogrzewanie, chłodzenie i wentylacja, ciepła woda oraz oświetlenie	
Budynek remontowany	13,32-8,03 kWh/(m²a)
Wymagania wg warunków technicznych 2019/2021 r.	95,0 kWh/(m²a)

LITERATURA

- Błaszczynski T., Ksit B., Dyzman B., 2013, *Budownictwo zrównoważone z elementami certyfikacji energetycznej*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.
- Borusiewicz W., 1985, *Konserwacja zabytków budownictwa murowanego*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Brodzka J., Ciarkowski B., 2015, *Konserwacja i kreacja architektury. Jan Tajchman i jego działalność*, Wydawnictwo Tako, Toruń.
- Czerner O., 1974, *Wartość autentyzmu w zabytkach*, „Ochrona Zabytków”, nr 3, s. 180-183.

¹¹ Od 2021 roku współczynnik U nie będzie mógł przekroczyć 0,2 W/m²K; okna i drzwi balkonowe: z 1,1 W/m²K na 0,9 W/m²K; okna połaciowe: z 1,3 W/m²K na 1,1 W/m²K; wartość współczynnika EP (określa on maksymalne roczne zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia). Od 2021 roku współczynnik będzie musiał być obniżony do minimum 70 kWh/m²/rok.

- Hawkes D., McDonald J., Steemers K., 2002, *The Selective Environment – an Approach to Environmentally Responsive Architecture*, Spon Press, London.
- Krasnowolski B., 2011, *Doktryny i realizacje konserwatorskie*, Wydawnictwo WAM, Poznań.
- Laskowski L., 2008, *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Małachowicz E., 2007, *Konserwacja i rewitalizacja architektury w środowisku kulturowym*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Monsa, 2010, *Low tech architecture*, Instituto Monsa de Ediciones.
- Monsa, 2012, *Efficiency buildings. Bioclimatic architecture*, Instituto Monsa de Ediciones.
- Nowak H., 2012, *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Rosolski S., 2012, *Projektowanie architektoniczne a zagadnienia odwrotne*, Exemplum, Warszawa.
- Rosolski S., 2016, *Budynek niemal zeroenergetyczny w aspekcie proekologicznych i społecznych uwarunkowań budownictwa zrównoważonego. Materiały konferencyjne MEA*, Poznań.
- Rosolski S., 2017, *Regeneracja struktury budynku zabytkowego*, t. 4: *Regeneracja architektury*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Rosolski S., 2019, *Kamienica przy ul. Wronieckiej 23, Poznań. Kamienica przy ul. Wronieckiej 23 w Poznaniu jest próbą przybliżenia założeń projektowych remontu „ku ochronie i ekspozycji autentyczności”*, „Renowacje i Zabytki”, nr 4 (72)
- Rouba B., 2008, *Autentyczność i integralność zabytków*, „Ochrona Zabytków”, nr 4, s. 37-57.
- Rymaszewski B., 2005, *Polska ochrona zabytków*, Wydawnictwo Scholar, Warszawa.
- Tomaszewski A., 2013, *Ku nowej filozofii dziedzictwa*, Międzynarodowe Centrum Kultury.
- Tymkow P., Tassou S., Kolokotroni M., Jouhara H., 2013, *Building Services Design for Energy Efficient Buildings*, Taylor & Francis, Earthscan, London–New York.
- Zeidler K., 2014, *Prawo ochrony zabytków*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

STRUCTURE OF NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING (STAGE III)

Summary

“Structure of Nearly Zero-energy Building (Stage III)” discusses the issues regarding construction of a building with reference to the historic tenement house at ul. Wroniecka 23 (Poznań). It is a continuation of research works conducted since 2016 which focus on the definition of ‘structure’ (*latin structura* – ‘construction, way of building’). The work presents the system of relations between elements which constitute the whole and the synergy between the structure of the building, its technical equipment, interior and exterior envelope.

Keywords: structure of a building, interior and exterior envelope, energy performance, nearly zero-energy building