

# Głęboka termomodernizacja budynków niemieszkalnych a neutralność klimatyczna: studium przypadku dla budynku „typowego domu studenckiego”

Deep thermal modernization of non-residential buildings and climate neutrality: a case study for a „typical student dormitory” building

inż. Michał Budzisz, Wydział Inżynierii Środowiska, dr inż. Łukasz Nowak (ORCID: 0000-0002-7732-640X), Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.6397

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problematykę termomodernizacji istniejących domów studenckich, na przykładzie akademika Politechniki Wrocławskiej, wybudowanego w 1976 r. w ramach projektu „Typowego Domu Studenckiego”, z naciskiem na analizę potencjalnych możliwości zaopatrzenia budynku w energię ze źródeł bezemisyjnych. Dodatkową uwagę poświęcono wskazaniu różnic i wynikających z tego problemów termomodernizacyjnych związanych z odmiennym, niż dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych, sposobem użytkowania.

**Słowa kluczowe:** neutralność klimatyczna, głęboka termomodernizacja budynków, budynek zamieszkania zbiorowego, dom studencki.

**Abstract:** The article presents problems of thermal modernization of existing student buildings, on the example of a dormitory of the Wrocław University of Science and Technology, which was built as part of the „Typical Student Building” project in 1976, with an emphasis on the analysis of the potential possibilities of supplying the building with energy from non-emission sources. Additional attention was paid to identifying the differences and the resulting thermal modernization problems, related to the way of use, different than for multi-family residential buildings.

**Keywords:** climate neutrality, deep thermal modernization of buildings, collective residence building, student dormitory.

## 1. Wprowadzenie

Postawienie celu, przez Unię Europejską, w postaci osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 roku oznacza osiągnięcie zerowych emisji CO<sub>2</sub> netto. Przekłada się to na praktycznie całkowitą rezygnację z produkcji energii pochodzącej z paliw kopalnych. Takie podejście może wymagać zupełnie nowej perspektywy w procesie termomodernizacji budynków, ponieważ docelowo dobór przedsięwzięć modernizacyjnych ma pozwolić na osiągnięcie budynku zeroemisyjnego. O ile tematyka termomodernizacji budynków mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych wielokrotnie poruszano w literaturze, o tyle specyfika budynków zamieszkania zbiorowego wymaga dodatkowego komentarza, chociażby ze względu na ich różnorodność. Wynika ona z odmiennej specyfiki eksploatacji takich budynków i innych proporcji zużycia energii w budynku, a co za tym idzie – innego zestawu przedsięwzięć modernizujących budynek.

## 2. Analizowany budynek

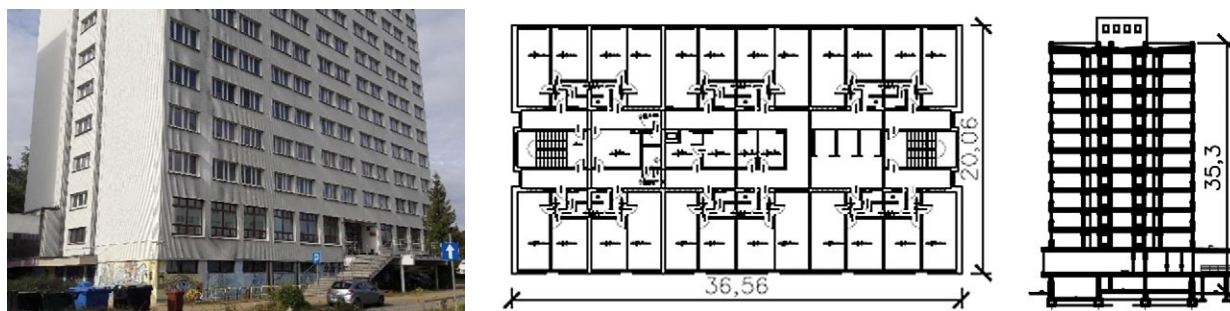
Na potrzeby niniejszego studium przypadku wybrano dom studencki T-16 we Wrocławiu. Obiekt został wybudowany

około roku 1976 i stanowi jedną z realizacji projektu typowego domu studenckiego, według którego powstało w latach 70. ubiegłego wieku około 25 domów studenckich w różnych miastach uniwersyteckich Polski, m.in. Wrocławiu, Poznaniu, Warszawie i Gdańsku. Może być on zatem postrzegany jako typowy reprezentant swojej grupy, a wnioski z badania mogą posłużyć na potrzeby innych, podobnych obiektów.

### 2.1. Opis budynku

Projekt „Typowego Domu Studenckiego” zakładał budynki o 11 kondygnacjach nadziemnych. Podstawową jednostką był moduł składający się z dwóch pokoi dwuosobowych i dwóch trzypokojowych, przypadających na jedną łazienkę. Sześć modułów tworzyło piętro z jedną kuchnią i pomieszczeniami pomocniczymi. 10 kondygnacji mieszkalnych miało pomieścić łącznie 600 osób, dodatkowo na parterze przewidziano pomieszczenia wspólne i pokoje do nauki. Powierzchnia użytkowa przedmiotowego budynku wynosi 7549,53 m<sup>2</sup>.

Budynki te projektowano w technologii wielkoblokowej przy użyciu tzw. cegły żerańskiej. W T-16 dokonano kilku zmian względem projektu typowego, ze względu na lokalne uwarunkowania m.in.: wyniesienie piwnicy ponad poziom gruntu i posadowienie na palach Franki, wysunięcie świetlic poza



Rys. 1. Dom studencki T-16 (od lewej do prawej): widok zewnętrzny, uproszczony rzut kondygnacji powtarzalnej i przekrój poprzeczny

bryłę oraz zastosowanie elementów systemu Wrocławskiej Wielkiej Płyty (korytkowe płyty dachowe, ściany podparapetowe). W trakcie eksploatacji ściany budynku ocieplono przy użyciu metody lekkiej suchej w sposób opisany przez Starosolskiego, stropodach metodą wdmuchiwaną granulatu wełny mineralnej oraz dodatkowo wymieniono okna. Najważniejsze cechy budynku przedstawia tabela 1.

## 2.2. Obliczenia zapotrzebowania na energię na cele c.o. i przygotowania c.w.u. metodą charakterystyki energetycznej

Przygotowano model energetyczny budynku w programie Arcadia TermoCAD, zgodnie z rozporządzeniem. Dla pomieszczeń przyjęto temperatury: łazienki +24°C, klatki schodowe +16°C, pozostałe pomieszczenia: +20°C. Zyski wewnętrzne oraz strumienie wentylacyjne przyjęto na podstawie rozporządzenia. Sprawność przesyłu ciepłej wody obliczono zarówno metodą uproszczoną, jak i dokładną z rozporządzenia, dla metody dokładnej długości i izolacje przewodów szacowano. Dane dotyczące jednostkowego zużycia c.w.u. przyjęto wg powierzchni. W myśl rozporządzenia budynek traktowany jest tak jak budynki niemieszkalne, a zatem w bilansie uwzględnia się udział energii na oświetlenie. Zapotrzebowanie energii obliczano wg mocy zainstalowanych opraw, na podstawie inwentaryzacji. Przyjęto czas użytkowania oświetlenia dla kondygnacji powtarzalnych na poziomie

75% czasu dla budynków hotelowych (dom studencki użytkowany w okresie październik-czerwiec).

## 2.3. Dane zużycia energii na cele c.o. i przygotowania c.w.u.

W celu walidacji modelu obliczeniowego oszacowano rzeczywiste zużycie energii na potrzeby grzewcze obiektu<sup>1</sup>. Obliczenia poddano korekcie w oparciu o następujące założenia:

- zużycie energii na potrzeby c.w.u. jest stałe od października do czerwca i odpowiada zmierzonemu zużyciu ciepła w czerwcu (średnia z lat 2016, 2018 i 2019; 2017 r. odrzucono jako obserwację odstającą),
- zużycie energii w lutym na c.w.u. jest na poziomie 70% normalnego (krótszy miesiąc, studenci na feriach),
- zużycie energii na ogrzewanie korygowano w odniesieniu do typowych danych MIR na podstawie rzeczywistych za pomocą metody stopniodni.

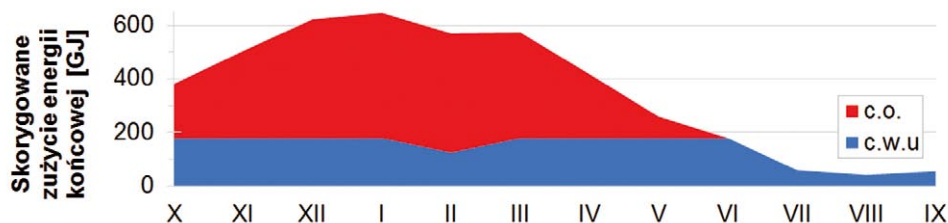
Wykres skorygowanego, miesięcznego zużycia energii z podziałem na c.o. i c.w.u. pokazano na rysunku 2. Zgodnie z oszacowaniem w cyklu rocznym ogrzewanie odpowiadało za 60%, a przygotowanie ciepłej wody za 40% całkowitego zużycia energii.

<sup>1</sup> miesięczny pomiar ilości energii zużytej na węźle ciepłowniczym bez podziału na c.o. i c.w.u. – energia końcowa, dane pozyskane od administratora

Tabela 1. Podstawowe informacje dotyczące domu studenckiego T-16

Element	Opis	Uwagi
Obudowa	<b>Ściana osłonowa:</b> płyta WWP (w tym wełna 6 cm), wełna mineralna 6 cm w stelażu, blacha stalowa	$U_c = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
	<b>Ściana szczytowa:</b> płyta żerańska 25 cm, gazobeton 13 cm, wełna mineralna 6 cm w stelażu, blacha stalowa	$U_c = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
	<b>Stropodach płaski:</b> płyta żerańska 24 cm, granulatu wełny mineralnej 15 cm, płyta korytkowa wentylowana	$U_c = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
	<b>Podłoga na gruncie:</b> jastyrych gipsowy 3 cm, gazobeton 12 cm, żużlobeton 12 cm <b>Okna:</b> PCW dwuszybowe, wymienione w 2001 r.	$U_c = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $U_w = 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Instalacje	<b>Źródło ciepła:</b> węzeł dwufunkcyjny, ciepło sieciowe miejskie z kogeneracji węglowej	$w_i = 0,646$
	<b>Wentylacja:</b> grawitacyjna, oddzielne kanały w pokojach, zbiorcze w łazienkach	$\eta_{H,tot} = 0,80$
	<b>Ogrzewanie:</b> instalacja wodna, pompowa 90/70°C, grzejniki żeliwne oryginalne, zawory termostatyczne, piony grzejne nieizolowane w pokojach Przygotowanie c.w.u.: przygotowanie centralne, brak zasobnika, cyrkulacja, piony nieizolowane, poziomy izolowane (1/2 WT)	$\eta_{W,tot} = 0,58$
	<b>Oświetlenie:</b> 2 oprawy podwójne na pokój, świetlówki 36 W	$w_i = 3,0$

**Rys. 2.** Skorygowane miesięczne zużycie energii końcowej na cele c.o. i przygotowania c.w.u. dla domu studenckiego T-16



### 3. Wyniki

#### 3.1. Porównanie danych zużyciowych i obliczeniowych

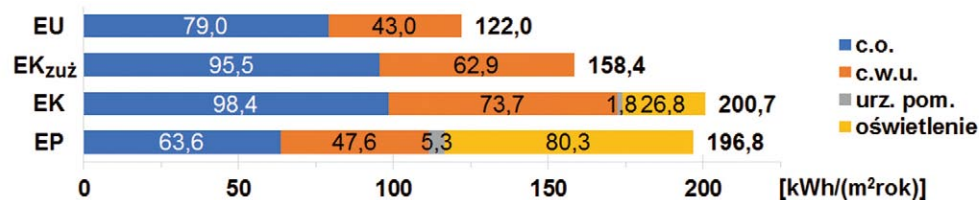
Po kalibracji modelu osiągnięto zbieżność energii końcowej na ogrzewanie ze skorygowanymi danymi zużyciowymi na poziomie 2%. Prawdopodobnie przyczyną tak dobrej zbieżności było wzajemne znoszenie się błędów zawyżających i zaniżających wynik, jednak szczegółowa dyskusja rozbieżności leży poza zakresem niniejszego artykułu. Jednocześnie osiągnięto dużo mniejszą zbieżność między oszacowaniem energii końcowej na przygotowanie ciepłej wody na podstawie zużycia oraz za pomocą obu metod certyfikacyjnych. Wartość szacowana z modelu była o 17% wyższa od wartości szacowanej na podstawie zużycia dla metody dokładnej ( $\eta_{W,tot} = 58\%$ ) i aż o 50% wyższa dla metody uproszczonej ( $\eta_{W,tot} = 46\%$ ). Szacowanie energii na przygotowanie ciepłej wody według metodologii opiera się na bardzo uproszczonych założeniach dotyczących standardowych warunków użytkowania. Szczegółowe wartości skorygowanych obliczonych wskaźników energetycznych oraz wartości zużyciowych zestawia rysunek 3.

Po korekcie bilans cieplny budynku wskazał, że straty przez przegrody wynoszą 62% całkowitych strat ciepła, a pozostałe 38% przypada na wentylację. Takie wartości są charakterystyczne dla budynków wielokondygnacyjnych z wentylacją grawitacyjną. Wśród przegród największy udział w stratach, bo aż 68% mają okna i drzwi, z czego 50% przypada na okna w pokojach akademika, a 18% na okna i drzwi zewnętrzne w pozostałych pomieszczeniach.

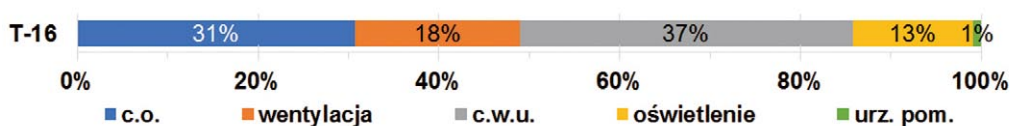
#### 3.2. Proporcje zużycia energii w akademikach w stosunku do innych typów budynków

Budynki zamieszkania zbiorowego stanowią jedynie 0,3% ogółu budynków. Na potrzeby rozważań energetycznych ujmuje się je zazwyczaj razem z budynkami niemieszkalnymi,

**Rys. 3.** Porównanie składowych wskaźników energii dla modelu obliczeniowego i danych zużyciowych dla domu studenckiego T-16



**Rys. 4.** Udział składowych zużycia energii końcowej w domu studenckim T16 przed modernizacją



mimo iż formalnie zaliczane są do budynków mieszkalnych. Pod względem energetycznym, akademiki są dość specyficzne, co można zauważyć analizując strukturę zużycia energii w przedmiotowym budynku, którą pokazano na rysunku 4.

W analizowanym budynku szczególną uwagę zwraca wysoki udział c.w.u. w energii końcowej, zauważalnie wyższy niż w budynkach wielorodzinnych – co wynika m.in. z większej liczby mieszkańców na 1 m<sup>2</sup> powierzchni. Warto też zauważyć, że uwzględniona w bilansie składowa na oświetlenie nie odgrywa aż tak istotnej roli jak w budynkach niemieszkalnych. Budynek T-16, względem budynków niemieszkalnych odróżnia się m.in. brakiem chłodzenia oraz przewagą strat przez przenikanie nad wentylacją – tu podobnie jak w obiektach wielorodzinnych. Ponadto typową cechą domów studenckich jest sezonowość użytkowania, z przerwą w okresie letnim. Ta ostatnia cecha ogranicza znacznie możliwości wykorzystania OZE, co zostanie omówione szerzej w punkcie 4.2.

### 4. Dyskusja

#### 4.1. Poprawa efektywności energetycznej budynku w kontekście osiągnięcia założeń neutralności klimatycznej

Termomodernizację obiektu rozważano zgodnie z zasadą „Energy efficiency first”. Zaproponowano zatem w pierwszych wariantach maksymalne ograniczenie zużycia, a dopiero potem rozważanie zmiany sposobu zaopatrzenia w energię. Przeanalizowano zarówno warianty cząstkowe (W1-W4), jak i wariant łączony (W5), które zestawia tabela 2.

Dla przegród budowlanych (W1) zaproponowano jako wystarczające dostosowanie ich izolacyjności cieplnej do obecnych wymogów według WT2021. Wszystkie te działania przełożyłyby się na obniżenie zapotrzebowania na energię

**Tabela 2.** Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej dla poszczególnych wariantów w zakresie efektywności energetycznej

Nr	Nazwa wariantu	Q <sub>tr</sub>	Q <sub>ve</sub>	Q <sub>H,nd</sub>	η <sub>H,tot</sub>	η <sub>W,tot</sub>	Q <sub>k,H</sub>	Q <sub>k,W</sub>	Q <sub>pom</sub>	Q <sub>k,L</sub>	Q <sub>k</sub>	Q <sub>p</sub>
		MWh	MWh	MWh	-	-	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
W0	Stan istniejący	804	477	596	0,80	0,58	743	557	13	202	1515	1486
W1	Przegrody wg WT2021	359	477	296	0,80	0,58	369	557	13	202	1142	1245
W2	Modernizacja c.w.u.	804	477	596	0,80	0,84	743	387	13	202	1345	1376
W3	Went. mech.	804	395	524	0,80	0,58	652	557	33	202	1444	1487
W4	Oświetlenie LED	804	477	596	0,80	0,58	743	557	13	156	1469	1347
W5	1+2+3+4	358	395	238	0,85	0,84	280	387	33	156	856	998

użytkową na cele grzewcze o ponad 50%, co odpowiadałoby oszczędności zapotrzebowania na energię pierwotną na poziomie 16%. Dalszą redukcję współczynnika U uznano za zbędną, ze względu na niewielki wpływ przegród na energię pierwotną.

W zakresie systemów instalacyjnych znaczny potencjał oszczędności energii był ukryty w poprawie sprawności przesyłu ciepłej wody (W2). Istniejąca instalacja nie była modernizowana od czasów budowy. Wymiana pionów i z izolowanie ich przyczyni się do wzrostu sprawności przygotowania c.w.u. z 58% do 84%. To przełożyłoby się na oszczędność energii pierwotnej na poziomie 7% – porównywalną z ociepleniem wszystkich ścian zewnętrznych.

Rozważano różne możliwości modernizacji systemu wentylacji, w szczególności wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła. Dla omawianego budynku takie rozwiązanie okazało się technicznie niewykonalne, ze względu na brak miejsca na poprowadzenie kanałów, a wentylacja zdecentralizowana nie jest dozwolona przepisami. Zaproponowano zatem wentylację mechaniczną wywiewną z doprowadzeniem powietrza świeżego przez nawiewniki okienne (W3). Montaż takiej wentylacji, mimo iż przyniósłby oszczędność energii użytkowej oraz wzrost jakości powietrza, nie przyczyniłby się do spadku zapotrzebowania na energię pierwotną, ze względu na energię pomocniczą do zasilania wentylatorów.

W przypadku oświetlenia zaproponowano wymianę świetlówek na energooszczędne oświetlenie LED (W4), a także skrócenie czasu działania (automatyka). Modernizacja systemu oświetlenia pozwoliłaby na zaoszczędzenie 23% energii końcowej na oświetlenie, co przełożyłoby się na spadek energii pierwotnej o 9%.

Jako optymalne wybrano połączenie wszystkich wariantów (W5) oraz dodatkowej modernizacji instalacji c.o. (zmiana na nową, niskotemperaturową 55/45°C). Pozwoliłoby to na oszczędność energii pierwotnej na poziomie 33%, energii końcowej

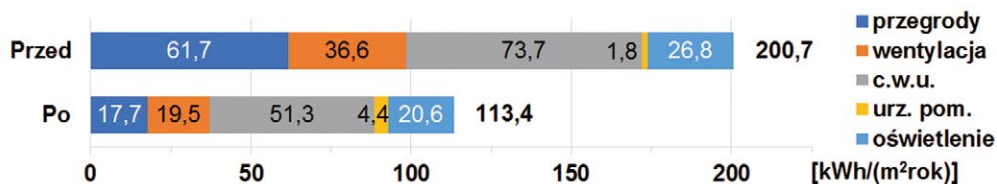
na cele ogrzewania i ciepłej wody o 49%, co przedstawia rysunek 5, a energii użytkowej aż o 60%. Po takiej termomodernizacji budynek spełniałby wymagania standardu budynku niskoenergetycznego ( $EU_H = 27,5 \leq 40$  kWh/(m<sup>2</sup>rok)). Niestety, nawet takie połączenie przedsięwzięć, nie pozwoliłoby na spełnienie wymogów WT2021 dla budynków niemieszkalnych ( $EP = 132 > EP_{WT2021} = 125$  kWh/(m<sup>2</sup>rok)).

#### 4.2. Zmiana źródła energii

Nawet dla optymalnego, z punktu widzenia energii końcowej wariantu W5, nie udało się spełnić obecnych wymagań prawnych w zakresie nieodnawialnej energii pierwotnej. W celu osiągnięcia przez Unię Europejską neutralności klimatycznej w 2050 r., konieczne jest również doprowadzenie do standardu blisko zeroenergetycznego (nZEB) lub zeroenergetycznego (ZEB) zdecydowanej większości budynków. Do 2050 r. pozostaje praktycznie jeden cykl inwestycyjny, co oznacza, że wszystkie budynki winny być termomodernizowane z myślą o jego osiągnięciu. Z tego powodu odrzucono zastosowanie miejscowej kogeneracji, opartej o gaz ziemny.

W przypadku kolektorów słonecznych w wymienionym budynku powstaje znaczny problem ze zwymiarowaniem instalacji. Na miesiące, w których budynek nie jest użytkowany (lipiec-wrzesień) przypada aż 38% docierającej na powierzchnię płaską dachu energii, której nie można odesłać do sieci.

Po poprawie efektywności (W5) udział energii elektrycznej w całkowitym zapotrzebowaniu na energię pierwotną wyniósłby 57%, co wskazywałoby, że najlepszym rozwiązaniem wydaje się miejscowa produkcja prądu z fotowoltaiki<sup>2</sup>. Założono, że maksymalną powierzchnią, jaką można przeznaczyć na panele jest 90% powierzchni stropodachu (panele PV ułożone poziomo dałyby moc 139 kWp, przy orientacji południowej

**Rys. 5.** Struktura zużycia energii końcowej przed i po poprawie efektywności energetycznej

<sup>2</sup> Obliczenia dla prowadzono dla paneli LG NeON<sup>®</sup> R, 220 Wp/m<sup>2</sup>

i optymalnym kącie  $40^\circ$  już tylko 35 kWp ze względu na odstępny w celu unikania zacięcia) oraz ściana szczytowa południowa (panele PV ułożone pionowo na kondygnacjach 5–10 dałyby moc 56 kWp, poniżej występuje zacięcie od sąsiedniego budynku). Maksymalna możliwa do wygenerowania w ciągu roku energia<sup>3</sup> 166 MWh jest ciągle mniejsza od zapotrzebowania na energię elektryczną na cele oświetlenia i energii pomocniczej, które wynosi 189 MWh. Należy podkreślić, że założono optymistyczny wariant magazynowania w sieci i rozliczania nadwyżek w cyklu rocznym (miesiące VII–IX: 38% energii, którą należy odesłać do sieci). W związku z nieuregulowaną sytuacją prawną w Polsce w tym zakresie przyjęto, że takie rozwiązanie byłoby możliwe; w innych krajach, np. w Niemczech, przyjmuje się rozliczanie w cyklu miesięcznym. W rzeczywistości poziom autokonsumpcji w wymienionym budynku byłby bliski zera<sup>4</sup> – produkcja prądu z PV występuje w dzień, zapotrzebowanie na oświetlenie w nocy. Jako wariant rekomendowany termomodernizacji przyjęto montaż paneli PV tylko na ścianie południowej (w ramach i tak wykonywanych prac ociepleniowych), przy jednoczesnym pozostawieniu miejsca na rozbudowę systemu PV na dachu w przyszłości. W zakresie ogrzewania i przygotowania c.w.u. zarekomendowano pozostawienie zasilania z węzła ciepłowniczego, ze względu na bardzo niski współczynnik nakładu  $w_i = 0,646$ . Dla wymienionego budynku pozwoliłoby to na osiągnięcie wskaźnika  $EP = 116$  kWh/(m<sup>2</sup>rok), co umożliwiłoby spełnienie obowiązujących wymagań WT. Montaż dodatkowych paneli PV na dachu pozwoliłoby na dalszą redukcję wskaźnika  $EP$ , maksymalnie do 66 kWh/(m<sup>2</sup>rok).

## 5. Podsumowanie

Przedstawiony materiał wskazuje możliwości termomodernizacji budynku zamieszkania zbiorowego do standardu zeroenergetycznego na podstawie studium przypadku – domu studentkiego T-16 we Wrocławiu. Oszacowano zużycie energii metodą obliczeniową według [9], model zwalidowano według danych rzeczywistych, przeanalizowano strukturę zużycia energii oraz zaproponowano warianty termomodernizacyjne w odniesieniu do efektywności energetycznej i zmiany sposobu zaopatrzenia w energię.

Na przykładzie budynku potwierdzono, iż dla osiągnięcia standardu nZEB nie wystarczy poprawa efektywności energetycznej, a wpływ działań tradycyjnych (ocieplenie przegród i wymiana okien) jest bardzo ograniczony. Jak pokazano na przykładzie, mimo podobnej bryły, budynki zamieszkania zbiorowego cechuje pod względem energetycznym odrębna specyfika od budynków wielorodzinnych m.in.: sezonowość użytkowania, większy udział c.w.u., znaczący udział oświetlenia we wskaźniku EP. Ponadto pokazano, iż

<sup>3</sup> Obliczenia za pomocą kalkulatora dla paneli ściennych oraz dachowych poziomych

<sup>4</sup> Przy założeniu bilansowania energii w zakresie charakterystyki energetycznej (oświetlenie i energia pomocnicza), w rzeczywistości możliwa autokonsumpcja na potrzeby bytowe mieszkańców akademika

w domach studentkich z uwagi na specyfikę użytkowania ograniczona jest możliwość użycia kolektorów słonecznych, a w budynkach wysokich często nie ma wystarczającej powierzchni na OZE dla uzyskania ZEB.

Podsumowując, należy stwierdzić, że w przypadku wielu obiektów doprowadzenie ich do standardu zeroenergetycznego na poziomie budynku nie będzie możliwe. Należy jednak pamiętać, że celem nie są budynki zeroemisyjne jako takie (na poziomie obiektu), ale efektywne energetycznie budynki jako element neutralnej klimatycznie gospodarki. Nadzieję należy zatem upatrywać w osiągnięciu zeroemisyjności na poziomie całego systemu energetycznego ( $w_i = 0$ ), w szczególności dla prądu elektrycznego i ciepła sieciowego. W tym celu potrzebna jest współpraca wszystkich sektorów (ang. sector coupling).

## Podziękowania

**Autorzy składają podziękowania Panu dr. inż. Piotrowi Pietraszkowi za konsultacje w zakresie technologii „cegły żerańskiej”, Panu dr. inż. Piotrowi Kowalskiemu za konsultacje w zakresie systemów wentylacji, Działowi Domów Studentkich Politechniki Wrocławskiej za udostępnienie dokumentacji budynku oraz Działowi Rozliczania i Ewidencji Nieruchomości Politechniki Wrocławskiej za udostępnienie danych zużycia energii budynku.**

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Amanowicz Ł., Ratajczak K., Szczechowiak E., Stosowanie rekuperatorów ściennych w budynkach nowych i modernizowanych ciepłnie w świetle aktualnych wymagań prawnych, Rynek Instalacyjny 11/2019, 2019, <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/id4877,stosowanie-rekuperatorow-sciennych-w-budynkach-nowych-i-modernizowanych-cieplnie-w-swietle-aktualnych-wymagan-prawnych?p=3>, dostęp: 22.12.2021
- [2] Budzisz M., Projekt głębokiej termomodernizacji budynku niemieszkalnego, praca dyplomowa, Politechnika Wroclawska, Wrocław, 2022
- [3] DIN V 18599-9:2018-09 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung –Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen
- [4] Długoterminowa Strategia Renowacji Wspieranie Renowacji Krajowego Zasobu Budowlanego, Warszawa, 2021
- [5] Dzierżewicz Z., Starosolski W., Systemy budownictwa wielokopłytowego w Polsce w latach 1970–1985, Wolter Kluwer Polska Sp. z o.o., Warszawa, 2010
- [6] Mokrzecka M., Zagadnienia proekologiczne w domach studentkich. Aspekt architektoniczno-behavioralny, Wrocław, Politechnika Wroclawska, 2018
- [7] Raport. Stan energetyczny budynków w Polsce, BuildDesk Polska, 2011
- [8] Robakiewicz M., Panek A., Mądry Polak przed budową termomodernizacja budynku, ARDO-STUDIO sp. z o.o., Poznań, 2003
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2016 r., poz. 376)
- [10] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 grudnia 1999 r. w sprawie Polskiej Klasyfikacji Obiektów Budowlanych (PKOB) (Dz.U.1999.112.1316)
- [11] <https://www.kogeneracja.com.pl/pl/dla-klienta/dokumenty-informacje/wskazniki/>, dostęp: 22.12.2021
- [12] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>, dostęp: 22.12.2021
- [13] <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>, dostęp: 1.12.2021
- [14] <https://www.lg.com/pl/business/solar-neon-r>, dostęp: 28.12.2021
- [15] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/), dostęp: 23.02.2023