



Analiza możliwości termomodernizacji wybranego budynku jednorodzinnego do standardu niskoenergetycznego oraz pasywnego

Analysis of the possibilities of thermal modernization of a selected single-family building to low-energy and passive standard



Dr inż. Aleksandra Specjał

ORCID ID: 0000-0002-0028-1151
Wydział Inżynierii Środowiska
i Energetyki
Politechnika Śląska
aleksandra.specjal@polsl.pl



Mgr inż. Anna Paruzel

Absolwentka
Wydział Inżynierii Środowiska
i Energetyki
Politechnika Śląska

Słowa kluczowe: termomodernizacja budynku jednorodzinnego, budynek pasywny, budynek niskoenergetyczny
Streszczenie

W artykule przedstawiono dwa warianty termomodernizacji wybranego budynku jednorodzinnego z lat 90. Celem było zmniejszenie zapotrzebowania na energię oraz sprawdzenie możliwości dostosowania istniejącego obiektu, o konkretnych rozwiązaniach konstrukcyjnych i usytuowaniu na działce, do standardu niskoenergetycznego i pasywnego. Przeprowadzono ocenę energetyczną budynku w stanie istniejącym oraz zaproponowano warianty modernizacji przegród i instalacji wewnętrznych, a także wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych. Przeanalizowano problemy, jakie mogą wystąpić w zakresie przystosowywania elementów budynku do wymagań budownictwa niskoenergetycznego oraz przedstawiono możliwe rozwiązania. W wyniku termomodernizacji wskaźniki charakterystyki energetycznej budynku zmniejszyły się o ponad 90% w stosunku do stanu istniejącego. Potwierdzono techniczną możliwość osiągnięcia założonych standardów w analizowanym budynku.

Keywords: thermal modernization of a single-family building, passive building, low-energy building

Abstract

This article presents two options of thermal modernization for a selected single-family building from the 1990s. The goal was to reduce energy demand and verify the feasibility of adapting the existing building, with specific structural solutions and location of the building, to low-energy and passive standards. An energy assessment of the existing building was conducted and proposed options of thermal modernization of the building envelope, heating and ventilation systems, and the use of renewable energy sources. There were analyzed problems which may result in adapting building components to low-energy building requirements and possible solutions were presented. As a result of the thermal modernization, the building's energy performance indicators were reduced by over 90% compared to the existing condition. The technical feasibility of achieving the assumed standards in the analyzed building was confirmed.

Wstęp

W Unii Europejskiej sektor budownictwa generuje około 40% całkowitego zużycia energii i około 36% emisji gazów cieplarnianych, związanych z energią wykorzystywaną w budynkach. Prawie 75% budynków jest nieefektywnych energetycznie. Aktualne i nadchodzące regulacje unijne nakładają wymagania, by budynki zarówno nowe jak i istniejące poddawane termomodernizacji osiągały lepsze standardy efektywności energetycznej oraz charakteryzowały się niską emisją zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych. Z termomodernizacją związana jest strategia unijna: „Fala renowacji”, która ma na celu transformację sektora budowlanego w kierunku zrównoważonego rozwoju, poprawy efektywności energetycznej oraz walki ze zmianami klimatycznymi. Zakłada się podwojenie tempa renowacji budynków do 2030 roku. Planuje się zmniejszenie emisji z sektora budynków o 60% w porównaniu do poziomu z 2015 roku, co jest wsparciem celów klimatycz-

nych czyli osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. (Dyrektywa, 2023)

Lepsza izolacja, bardziej efektywne systemy ogrzewania i wentylacji przekładają się na niższe koszty, a obniżenie rachunków za energię to ulga dla gospodarstw domowych i złagodzenie ubóstwa energetycznego. Zastosowanie odnawialnych źródeł energii zmniejsza zależność od gazu czy ropy naftowej i zwiększa bezpieczeństwo energetyczne kraju. W wyniku działań termomodernizacyjnych zwiększają się również wartości nieruchomości.

W Polsce znajduje się około 6,8 miliona budynków mieszkalnych, w tym ok. 5 milionów budynków jednorodzinnych. Budynki jednorodzinne stanowią aż 81,1% wszystkich zamieszkałych obiektów w miastach oraz 97,5% na terenach wiejskich. Spośród niemal 6,5 milionów mieszkań w budownictwie jednorodzinnym 35% stanowią mieszkania ogrzewane źródłami, które kwalifikują się do wymiany (GUS, 2024). W polskich gospodarstwach domowych wciąż działa około 2,5 mln przestarzałych ko-

tłów na paliwa stałe, które odpowiadają za dużą część niskiej emisji, czyli smogu.

Według raportu przygotowanego na zlecenie Instytutu Ekonomii Środowiska (Instytut Energii Odnawialnej, 2025) znaczna część polskich budynków jednorodzinnych znajduje się w złym stanie technicznym. Co trzeci budynek nie posiada ocieplenia wszystkich ścian zewnętrznych. Około 30% budynków jednorodzinnych nadal nie posiada żadnej warstwy termoizolacyjnej, a w 25% budynków ściany lub fundamenty są zawilgocone. W 10% budynków modernizacji wymaga ciekący dach, a w 20% budynków konieczna jest wymiana lub naprawa nieszczelnej stolarki okiennej. Ponad 80% właścicieli domów jednorodzinnych uważa, że w aktualnej sytuacji warto zainwestować fundusze w ocieplenie budynku. Należy też zwrócić uwagę, że około 50% badanych deklaruje chęć ogrzewania kotłami na paliwo stałe, ze względów ekonomicznych.

Na poziomie europejskim kluczową rolę odgrywa Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, tzw. Dyrektywa EPBD z 2010 roku (Dyrektywa, 2010), a szczególnie najnowsza przekształcona wersja z 2024 roku, która ma zostać implementowana do końca maja 2026 roku (Dyrektywa, 2024). Nakłada ona na państwa członkowskie obowiązek poprawy efektywności energetycznej istniejących zasobów budowlanych oraz promowania budynków o niemal zerowym zużyciu energii i budynków zeroemisyjnych. W praktyce oznacza to systematyczne zastrzeganie wymagań, do których istniejące budynki powinny być dostosowywane przez termomodernizację. Państwa członkowskie mają również zapewnić montaż instalacji wykorzystujących energię słoneczną (kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne), jeżeli jest to technicznie możliwe i ekonomicznie uzasadnione. W Dyrektywie podane są daty obowiązywania tego wymagania dla budynków nowych i istniejących, w zależności od ich rodzaju i wielkości powierzchni. Modernizowane budynki jednorodzinne nie są objęte tym harmonogramem.

W ostatnich latach, w związku z wymaganiami prawnymi, programami dofinansowywania termomodernizacji oraz rosnącymi kosztami energii, coraz większą popularność zyskuje budownictwo niskoenergetyczne, a nawet pasywne. Na ten trend wpływa również coraz powszechniejsze przekonanie, że w niedalekiej przyszłości tradycyjne domy będą tracić na wartości w porównaniu z budynkami energooszczędnymi i pasywnymi.

Podstawy i założenia standardu pasywnego zostały opracowane w 1988 roku przez Wolfganga Feista – założyciela Instytutu Domów Pasywnych w Niemczech. Budynek pasywny, wg definicji, łączy wysoki komfort użytkownika z bardzo niskim zapotrzebowaniem energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji, nie wyższym niż $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Pierwszy na świecie eksperymentalny dom pasywny powstał w 1991 roku, w Darmstadt. Pierwszy dom pasywny w Polsce powstał w roku 2007 w miejscowości Smolec pod Wrocławiem (Juchniewicz-Lipińska, 2008). W badaniach przeprowadzonych w Kanadzie w budynku jednorodzinnym pasywnym oddanym do użytkowania oszacowano, że redukcja emisji gazów cieplarnianych może wynieść nawet 39% w porównaniu do zwykłego budynku (Mach i in., 2025).

W Polsce wymagania dotyczące ochrony cieplnej w za-

kresie budynków niskoenergetycznych oraz pasywnych nie są sformułowane w przepisach prawnych. W latach 2013–2018 realizowany był program przewidujący dotacje do budowy domów pasywnych i energooszczędnych przy wsparciu NFOŚiGW. W wytycznych do tego programu sformułowano parametry, jakie powinny spełniać budynki energooszczędne NF40 i pasywne i NF15 (KAPE, 2012). Wytyczne określono na podstawie serii obliczeń komputerowych, w celu określenia minimalnych wymagań w zakresie ochrony cieplnej budynku, systemu wentylacji i szczelności powietrznej, gwarantujących osiągnięcie wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji na poziomie $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ dla budynku niskoenergetycznego i $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ dla pasywnego. W budynku pasywnym maksymalne współczynniki przenikania ciepła U wyrażone w $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ wynoszą: 0,10 dla ścian zewnętrznych, dachów i stropodachów, 0,12 dla stropów nad nieogrzewanymi piwnicami, 0,8 dla okien i drzwi zewnętrznych.

Jednym z podstawowych założeń standardu pasywnego jest rygorystyczna izolacja przegród budowlanych, w tym stropów i fundamentów. W opracowaniu (Godlewski i in., 2021) przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy efektywności energetycznej projektowanych fundamentów. Badania wykazały, że w warunkach klimatycznych Polski najbardziej efektywnym rozwiązaniem dla budynków pasywnych jest zastosowanie płyty fundamentowej.

Przeprowadzono wiele analiz dostosowania do standardu pasywnego budynków zarówno wielorodzinnych jak i jednorodzinnych wybudowanych w różnych latach, a więc charakteryzujących się różną izolacyjnością przegród, zgodnie ze zmieniającymi się wymaganiami Warunków Technicznych (WT) (Minister Rozwoju i Technologii, 2022).

Porównawczą analizę energetyczną dla budynku jednorodzinnego, parterowego, niepodpiwniczonego, spełniającego wymagania WT w 2011 roku (współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosił $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), dostosowywanego do standardu niskoenergetycznego i pasywnego, dla różnych systemów grzewczych przeprowadzono też w opracowaniu (Siuta-Oлча i in., 2011). Do analizy wykorzystano pakiet do projektowania budynków pasywnych (PHPP). Dla rozpatrywanych wariantów określono również koszty zużycia energii. Z kolei analizę ekonomiczną opłacalności dostosowania budynku jednorodzinnego do standardu budynku pasywnego przedstawiono w pracy (Marciniak & Ujma, 2018). Analizowano budynek parterowy z poddaszem użytkowym, spełniający wymagania WT w roku 2017, a więc budynek o dość dobrym stanie ochrony cieplnej (np. współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosił $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Zaproponowano kilka wariantów ocieplenia przegród zewnętrznych, wymianę okien, zastosowanie wentylacji mechanicznej z rekuperacją ciepła. Do obliczeń wykorzystano metodologię wykonywania audytu energetycznego. Stwierdzono, że termomodernizacja badanego budynku do standardu pasywnego jest nieopłacalna, nie zwróci się w okresie czasu życia budynku, założonym jako 30 lat.

W artykule (Ksit & Sarnowska, 2017) przedstawiono analizę możliwości modernizacji przegród zewnętrznych budynku mieszkalnego w celu dostosowania go do stan-

andardu budynku pasywnego NF15. Zaproponowano konkretne rozwiązania materiałowe, przeprowadzono analizę wilgotnościową przegród oraz oszacowano koszty zastosowanych rozwiązań.

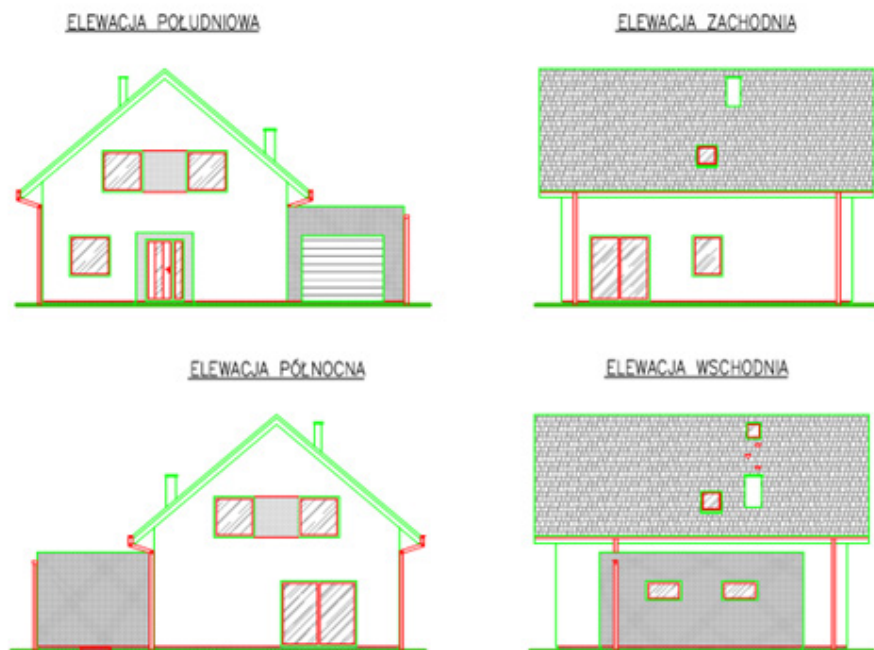
Osiągnięcie standardu budynku pasywnego w przypadku modernizacji istniejących obiektów nie zawsze jest możliwe, ze względu na warunki konstrukcyjne oraz usytuowanie budynku. Często w ścianach piwnic trudno uniknąć mostków cieplnych, nawet po gruntownym remoncie. W przypadku takich budynków w Instytucie Domów Pasywnych (PHI) opracowano standard pośredni EnerPHit. Jest to standard energooszczędnej termomodernizacji istniejących budynków z wykorzystaniem elementów domu pasywnego, który dopuszcza nieco wyższe zużycie energii, pod warunkiem spełnienia wszystkich kryteriów komfortu cieplnego (Passive House Institute, 2026). Szczegółowy opis renowacji istniejącego budynku wielorodzinnego w Danii pod tym kątem przedstawiono w opracowaniu (Rose i in., 2022). Wyniki zużycia energii przed i po renowacji porównano za pomocą metody sygnatury energetycznej, w której wykorzystano wyniki pomiarów. Zużycie energii grzewczej spadło o ponad 50%. Okazało się, że osiągnięcie standardu pasywnego nie było możliwe, ale budynek spełnił wymagania certyfikacji renowacji budynków pasywnych EnerPHit.

Na podstawie przedstawionych przykładów można założyć, że możliwość uzyskania standardu pasywnego dla istniejącego budynku zależy od rozwiązań konstrukcyjnych oraz usytuowania konkretnego budynku, a opłacalność ekonomiczna od wyjściowego stanu ochrony cieplnej oraz zastosowanych rozwiązań termomodernizacyjnych. Każdy budynek wymaga indywidualnej analizy, w celu uzyskania wiarygodnych danych dotyczących modernizacji obiektu.

Założenia przyjęte do analizy

Rozpatrywany budynek

Analizę przeprowadzono dla budynku mieszkalnego jednorodzinnego, usytuowanego w okolicy Gliwic (Rysunek 1), który został wzniesiony w latach 90. XX wieku na osiedlu domów jednorodzinnych. Budynek o powierzchni użytkowej/ogrzewanej równej 168,4 m², częściowo podpiwniczony, z poddaszem użytkowym i nieogrzewanym garażem wyposażony jest w wentylację naturalną. Konstrukcja tradycyjna – murowana (z pustaków typu Max z izolacją ze styropianu o grubości 3 cm), stropy żelbetowe monolityczne, więźba dachowa drewniana pokryta dachówką ceramiczną. Obecny stan techniczny budynku można określić jako dobry. Przegrody zewnętrzne budynku spełniały wymagania ochrony cieplnej w momencie wznoszenia budynku, czyli wymagania zawarte w normie (PNB, 1991). Współczynniki przenikania ciepła U w W/(m²·K) wynoszą: 0,70 dla ścian zewnętrznych, 0,30



Rysunek 1. Analizowany budynek jednorodzinny. Źródło: opracowanie własne
 Figure 1. Analyzed single-family Building. Source: authors' own study

dla dachu i stropodachu, 0,55 dla stropu nad nieogrzewaną piwnicą, 2,6 dla okien i drzwi zewnętrznych.

Należy zwrócić uwagę, że rozmieszczenie pomieszczeń w budynku względem stron świata jest nietypowe. Od północy na parterze zlokalizowano salon z otwartą przestrzenią na hol i kuchnię, a na piętrze główną sypialnię wraz z gabinetem. Od strony południowej na parterze zlokalizowano sypialnię gościnną, wiatrołap oraz garderobę bez okna, a na piętrze dwie sypialnie. Udział przeszklenia w ścianie zewnętrznej od strony północnej wynosi 38%, południowej 25%, zachodniej 28%, wschodniej 8%.

Istniejącym źródłem ciepła jest kocioł olejowy dwufunkcyjny z otwartą komorą spalania i dwustawną regulacją procesu spalania. Kocioł olejowy wraz z zasobnikiem c.w.u. umieszczone są w piwnicy nieogrzewanej, przewody armatura i urządzenia znajdują się również w przestrzeni nieogrzewanej i nie posiadają izolacji. W budynku zainstalowane są grzejniki bez automatycznej regulacji miejscowej. Instalacja centralnego ogrzewania od momentu oddania budynku do użytkowania nie była modernizowana. Instalacja c.w.u. nie jest wyposażona w układ cyrkulacyjny.

W ramach planowanych prac modernizacyjnych, przeznaczenie stref mieszkalnych oraz usytuowanie okien i drzwi nie ulegną zmianie. Z uwagi na wstępne założenia zakresu termomodernizacji (nie przewidziano zmiany funkcji pomieszczeń, ani powierzchni przeszklenia), nie jest możliwa modyfikacja powierzchni przeszklenia ani ich usytuowania. Pozostawienie przeszkleń na istniejącym poziomie może utrudnić osiągnięcie założeń standardu pasywnego, w którym to usytuowanie budynku i przeszklenia względem stron świata odgrywają znaczącą rolę.

Założenia do termomodernizacji budynku

Przy wyborze ulepszeń termomodernizacyjnych zwrócono uwagę na możliwość i zasadność zastosowania każdego zaproponowanego rozwiązania. Zwrócono szczególną uwagę na ocieplenie przegród i likwidację mostków cieplnych oraz wykorzystanie odnawialnych źródeł ener-

gii. Nie przewidziano systemu chłodzenia budynku. Rozpatrywane są dwa warianty termomodernizacji: do standardu niskoenergetycznego oraz pasywnego. Przewidziano zastosowanie instalacji fotowoltaicznej, bez magazynu energii, zlokalizowanej na dachu budynku od strony zachodniej. Założono, że instalacja fotowoltaiczna pokrywa zużycie energii elektrycznej w systemach c.o i c.w.u. w ciągu roku w ilości: 40% w budynku niskoenergetycznym, a 50% w budynku pasywnym. W budynku pasywnym zapotrzebowanie na ciepło dla systemu ogrzewania i wentylacji jest niewielkie w porównaniu do zapotrzebowania na ciepło na potrzeby ciepłej wody użytkowej. Ciepła woda może być podgrzewana w okresie, gdy instalacja PV wytwarza prąd elektryczny, co pozwala zwiększyć bieżące wykorzystanie energii produkowanej przez instalację fotowoltaiczną.

W przypadku termomodernizacji budynku do standardu niskoenergetycznego/pasywnego przewidziano taką izolację przegród, że wszystkie współczynniki przenikania ciepła są niewiele mniejsze lub równe od wymaganych w przepisach dla budynków NF40/NF15 (KAPE, 2012).

Założono, że szczelność budynku odpowiada wymaganiom dla budynków niskoenergetycznych ($n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$) i pasywnych ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$) (KAPE, 2012).

Poniżej przedstawiono wprowadzone ulepszenia termomodernizacyjne dla wariantu niskoenergetycznego/pasywnego, spełniające wymagania wg (KAPE, 2012):

- izolacja ścian zewnętrznych (płyty izolacyjne EPS gr. 20/30 cm, $U = 0,14/0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- izolacja ścian zewnętrznych w piwnicy (płyty izolacyjne EPS gr. 16/25 cm, $U = 0,14/0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- izolacja ścian wewnętrznych pomiędzy strefą nieogrzewaną (garażem) a strefą ogrzewaną (płyty izolacyjne EPS gr. 20/30 cm, $U = 0,14/0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- izolacja podłogi w posadzce parteru (płyty izolacyjne EPS gr. 10/25 cm, $U = 0,20/0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- izolacja podłogi w piwnicy (płyty izolacyjne EPS gr. 8/22 cm, $U = 0,21/0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- izolacja dachu nad garażem (płyty izolacyjne EPS gr. 18/22 cm, $U = 0,12/0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- izolacja stropodachu pomiędzy strefą ogrzewaną

i nieogrzewaną, skosów w powierzchni ogrzewanej poddasza (płyty ISOVER Multimax – wełna mineralna 15/22 cm, $U = 0,12/0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),

- wymiana stolarki okiennej i drzwiowej na przeznaczoną do budownictwa energooszczędnego/pasywnego z ciepłym montażem (okna z energooszczędnym pakietem 3-szybowym z ciepłą ramką dystansową, szkłem niskoemisyjnym oraz wypełnieniem przestrzeni międzyszybowej argonem, okna połaciowe trzykomorowe z wypełnieniem przestrzeni międzyszybowej kryptonem, drzwi drewniano-aluminiowe o wielowarstwowej konstrukcji płytowej z rdzeniem izolacyjnym z pianki termoizolacyjnej; współczynnik przenikania ciepła: $U = 1,00/0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- wymiana bramy garażowej (z blachy stalowej ocynkowanej, wypełnionej sztywną pianką poliuretanową, z uszczelkami obwodowymi i międzypanelowymi, grubość paneli 0,40/0,65 cm, $U = 1,00/0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
- zastosowanie mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła (rekuperator z odzyskiem ciepła o projektowanej sprawności 85/93%, a w budynku pasywnym zastosowano dodatkowo gruntowy wymiennik ciepła),
- wymiana instalacji centralnego ogrzewania (izolacja przewodów, armatury i urządzeń w przestrzeni nieogrzewanej, zastosowanie wysokosprawnej pompy obiegowej ze sterowaniem PWM, ogrzewanie niskotemperaturowe podłogowe, sprężarkowa powietrzna pompa ciepła, napędzana elektrycznie, 35/28°C, zasobnik ciepła w systemie ogrzewania w przestrzeni nieogrzewanej),
- wymiana instalacji ciepłej wody użytkowej (izolacja przewodów, zastosowanie układu cyrkulacyjnego z ograniczeniem czasu pracy, nowy zasobnik ciepłej wody użytkowej),
- zastosowanie instalacji fotowoltaicznej (11/9 szt.) paneli fotowoltaicznych o wymiarach 1700×1100×35 mm),
- likwidacja mostków cieplnych w ścianach zewnętrznych oraz zmniejszenie współczynnika liniowego przenikania mostków cieplnych dla stolarki okiennej, drzwiowej oraz bramy garażowej.

Tabela 1. Sprawności instalacji dla rozpatrywanych wariantów. Źródło: opracowanie własne
Table 1. Installation efficiencies for the considered variants. Source: authors' own study

Wariant	Stan istniejący	Standard niskoenergetyczny	Standard pasywny
Ciepła woda użytkowa			
Sprawność wytwarzania ciepła η_{wg}	0,65	2,6	2,6
Sprawność akumulacji ciepła η_{ws}	0,60	0,85	0,85
Sprawność przesyłu ciepłej wody η_{wd}	0,60	0,80	0,80
Sprawność wykorzystania η_{we}	1	1	1
Sprawność całkowita η_{wtot}	0,23	1,77	1,77
Centralne ogrzewanie			
Sprawność wytwarzania ciepła η_{Hg}	0,86	3,00	3,00
Sprawność akumulacji ciepła η_{Hs}	1	0,93	0,93
Sprawność przesyłu ciepłej wody η_{Hd}	0,80	0,90	0,90
Sprawność regulacji i wykorzystania η_{He}	0,77	0,85	0,85
Sprawność całkowita η_{Htot}	0,53	2,13	2,13

Sprawności w instalacjach c.o i c.w.u. przyjęto zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku (Minister Infrastruktury, 2015) i przedstawiono w Tabeli 1.

Metody obliczeniowe

Obliczenia projektowego obciążenia cieplnego oraz rocznego zapotrzebowania na ciepło (na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji) przeprowadzono przy zastosowaniu inżynierskiego programu obliczeniowego Purmo OZC Basic 6,7 (SANKOM,), zgodnie z normami (PN, 2006, 2008). Zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej, roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku,

zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych w budynku oraz wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU , końcową EK i nieodnawialną pierwotną EP obliczano zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku (Minister Infrastruktury, 2015).

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP (wyrażony w $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$) stanowi ważne kryterium oceny energetycznej budynku. Określa ilość energii niezbędnej do pokrycia zapotrzebowania budynku na jego ogrzewanie, wentylację, chłodzenie oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej, a w budynkach niemieszkalnych dodatkowo ilość energii na cele oświetlenia wbudowanego. Wskaźnik ten jest wyliczany w audytach i świadectwach charakterystyki energetycznej, zgodnie z rozporządzeniem (Minister Infrastruktury, 2015). Maksymalne dopuszczalne wartości tego wskaźnika dla

Tabela 2. Wyniki obliczeń potrzeb ciepłych budynku. Źródło: opracowanie własne

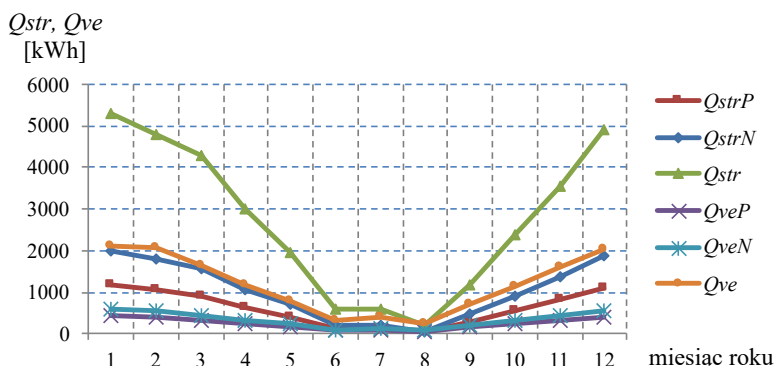
Table 2. Results of the building's thermal needs calculations. Source: authors' own study

Wariant	Projektowe obciążenie cieplne	Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji
	kW	kWh/rok
Stan istniejący	15	29 188
Standard niskoenergetyczny	5,5	5 625
Standard pasywny	3,3	1 807

Tabela 3. Zestawienie wskaźników energetycznych dla rozpatrywanych wariantów. Źródło: opracowanie własne

Table 3. Summary of energy indicators for the considered variants. Source: authors' own study

Wariant	EU	EK	EP	EPbez-PV	EUCO	EKel
	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$					
Istniejący	197	433	–	481	173	3,2
Niskoenergetyczny	57	43	64	107	33 (≤ 40)	13,4
Pasywny	35	31 (≤ 42)	39	78	11 (≤ 15)	12,7



Rysunek 2. Straty ciepła przez przenikanie oraz wentylację w poszczególnych miesiącach roku. Źródło: opracowanie własne

Figure 2. Heat losses through heat transfer and ventilation in subsequent months of the year. Source: authors' own study

różnych typów budynków nowowznoszonych są podane w Warunkach Technicznych (Minister Rozwoju i Technologii, 2022). W niektórych programach dofinansowania termomodernizacji, za uzyskanie po termomodernizacji budynku wskaźnika EP takiego jak wymagany w nowym budynku lub nawet mniejszego, przyznawana jest dodatkowa premia, a w niektórych przypadkach wymagane jest uzyskanie EP niższego od wymaganego w przepisach.

Do obliczeń w programie obliczeniowym założono odpowiednio następujące wartości szczelności powietrznej n_{50} : budynek istniejący/niskoenergetyczny/pasywny 4,0/1,0/0,4 h^{-1} .

Wyniki obliczeń

W Tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń potrzeb ciepłych budynku dla trzech wariantów: stanu istniejącego oraz po modernizacji do standardu niskoenergetycznego i pasywnego.

Wartości strat ciepła przez przenikanie Q_{str} oraz wentylację Q_{ve} w poszczególnych miesiącach roku dla trzech wariantów przedstawiono na Rysunku 2.

Straty ciepła przez przenikanie po termomodernizacji zmniejszyły się kilkukrotnie w stosunku do stanu istniejącego, co jest wynikiem ocieplenia przegród, minimalizacji mostków cieplnych i wymiany okien. Straty ciepła przez wentylację po termomodernizacji zmniejszyły się również kilkukrotnie w stosunku do stanu istniejącego, co jest wynikiem zastosowania wysokosprawnej wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła. Straty ciepła w miesiącach letnich wynikają z przyjętej metody obliczeń metodą bilansów średniomiesięcznych, w której średnie miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego (dla referencyjnych danych klimatycznych) są w zakresie 17–18 °C – są niższe od przyjętej w pomieszczeniu temperatury równej 20 °C.

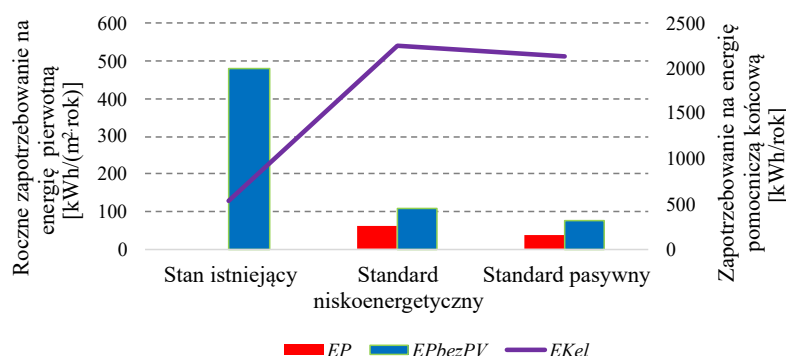
W Tabeli 3 przedstawiono wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU , końcową EK , nieodnawialną pierwotną EP do ogrzewania, wentylacji i przygotowania c.w.u. Wskaźnik EP wyliczono w przypadku częściowego pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną z instalacji fotowoltaicznej: 40% niskoenergetyczny, 50% pasywny. Wyliczono również dodatkowe wskaźniki: wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji EU_{co} (bez przygotowania ciepłej wody użytkowej), wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną bez zastosowania instalacji fotowoltaicznej (przy zasilaniu prądem elektrycznym z sieci) EP_{bezPV} , a także wyodrębnioną wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na końcową energię pomocniczą końcową (elektryczną) EK_{el} dla instalacji c.o., wentylacji i c.w.u. w budynku.

Dla budynków niskoenergetycznego i pasywnego w nawiasach w tabelce podano wartości przyjmowane jako kryteria dla poszczególnych standardów. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, po termomodernizacji analizowanego budynku, możliwe jest uzyskanie wskaźników energetycz-

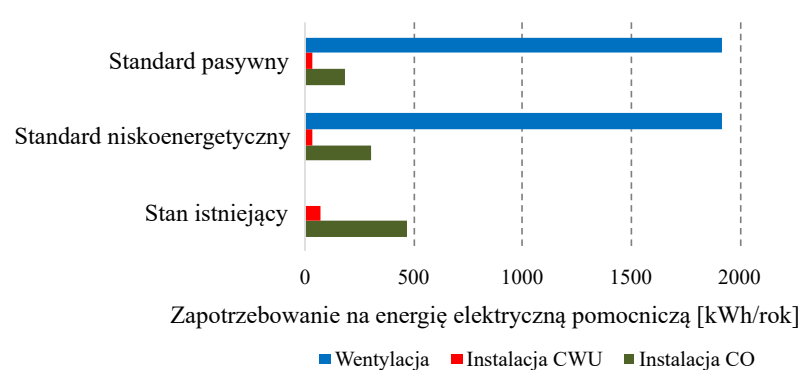
nych charakteryzujących budynki niskoenergetyczne i pasywne. Wskaźniki *EU*, *EK* i *EP* znacznie się obniżyły. Poprzez ocieplenie przegród, minimalizację mostków cieplnych oraz zastosowanie wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła uzyskano wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię użytkową dla ogrzewania i wentylacji na poziomie przyjmowanym dla budynków niskoenergetycznych i pasywnych. Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji *EU_{co}* obniżyło się o 81% dla budynku niskoenergetycznego oraz o 94% dla budynku pasywnego. Po modernizacji systemów: ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i wentylacji zapotrzebowanie na energię końcową dla budynku obniżyło się o 90% dla budynku niskoenergetycznego oraz o 93% dla budynku pasywnego.

Należy zwrócić uwagę, że nawet w przypadku zastosowania źródła ciepła wykorzystującego energię odnawialną – pompy ciepła do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, w przypadku zasilania sprężarki prądem elektrycznym z sieci, nie jest możliwe uzyskanie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną *EP* wymaganego dla nowych budynków jednorodzinnych zgodnie z WT (Minister Rozwoju i Technologii, 2022), wynoszącego 70 kWh/(m²·rok). Zastosowanie instalacji fotowoltaicznej w budynku, pokrywającej część zapotrzebowania na energię elektryczną umożliwia uzyskanie wskaźnika *EP* spełniającego takie wymagania.

Na Rysunku 3 przedstawiono porównanie wskaźników rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla budynku w stanie istniejącym i po prze-



Rysunek 3. Wskaźniki rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną oraz na energię pomocniczą końcową. Źródło: opracowanie własne
Figure 3. Indicators of annual demand for non-renewable primary energy and final auxiliary energy. Source: authors' own study



Rysunek 4. Zapotrzebowanie na energię elektryczną pomocniczą. Źródło: opracowanie własne
Figure 4. Auxiliary electricity demand. Source: authors' own study

prowadzonych pracach termomodernizacjach dla obydwu wariantów. Przedstawiono dwie wartości wskaźnika: z zainstalowaną instalacją fotowoltaiczną oraz bez instalacji fotowoltaicznej (przy zasilaniu budynku w energię elektryczną z sieci). Na wykresie zobrazowano również zmianę rocznego zapotrzebowania na energię pomocniczą końcową (energię elektryczną do zasilania instalacji wyposażenia technicznego w budynku).

Widoczne jest znaczne obniżenie wskaźników rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną po modernizacji w stosunku do stanu istniejącego. Zauważalny jest również wzrost wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię pomocniczą końcową. Po termomodernizacji zapotrzebowanie na końcową energię elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych wzrosło czterokrotnie w stosunku do wartości w stanie istniejącym. Wzrost ten jest skutkiem zmiany systemu wentylacji budynku – wprowadzeniu dodatkowych elektrycznych urządzeń pomocniczych w układzie wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła.

Na Rysunku 4 zestawiono zapotrzebowanie na energię elektryczną pomocniczą w podziale na instalację ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody użytkowej w każdym z analizowanych wariantów.

W analizowanych wariantach niskoenergetycznym oraz pasywnym, wartość zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą dla układów wentylacji i ciepłej wody użytkowej jest jednakowa, natomiast w systemie ogrzewania jest różna. Wynika to z czasu użytkowania urządzeń pomocniczych, czyli długości trwania sezonu grzewczego.

Zaproponowane działania termomodernizacyjne w znaczący sposób wpływają na długość trwania sezonu grzewczego, czyli czasu pracy urządzeń pomocniczych w systemie ogrzewania. Długość sezonu grzewczego zmniejszyła się z ok. 7 miesięcy (5088 godzin) dla budynku istniejącego do ok. 5 miesięcy (3624 godzin) dla standardu niskoenergetycznego i ok. 3 miesięcy (2160 godzin) dla standardu pasywnego.

Dyskusja dotycząca możliwości dostosowania istniejących budynków do standardu niskoenergetycznego i pasywnego

Termomodernizacja budynków, mająca na celu poprawę efektywności energetycznej, wiąże się z szeregiem technicznych ograniczeń, które mogą wpływać na skuteczność działań oraz prowadzić do czasowych problemów eksploatacyjnych. W trakcie przeprowadzanej analizy rozpatrywanego budynku sprawdzano ewentualne techniczne ograniczenia, które mogłyby uniemożliwić część działań termomodernizacyjnych. Poniżej wymieniono najczęściej spotykane ograniczenia w budownictwie jednorodzinnych:

1. Mała wysokość kondygnacji uniemożliwiająca docieplenie posadzki – w budynkach o wysokości pomieszczeń mniejszej

niż 2,50 m zastosowanie warstwy izolacji termicznej w posadzce prowadziłoby do zmniejszenia wysokości użytkowej poniżej wymaganych norm budowlanych; ogranicza to możliwość ułożenia warstw izolacyjnych i nowej wylewki, szczególnie przy zachowaniu istniejących poziomów progów, schodów i okien. Skutkiem ograniczenia jest konieczność pozostania przy istniejącej podłodze lub wykonania kosztownej przebudowy (np. obniżenie stropu nad piwnicą lub podniesienie dachu).

2. Brak możliwości docieplenia ściany zewnętrznej z uwagi na usytuowanie budynku przy granicy działki – budynki posadowione bezpośrednio przy granicy działki lub w odległości mniejszej niż 0,5 m od niej nie pozwalają na zastosowanie zewnętrznej izolacji (np. styropian, wełna mineralna) bez naruszenia prawa budowlanego i przepisów dotyczących odległości od granicy działki.
3. Słaba nośność stropu uniemożliwiająca zastosowanie ciężkich systemów dociepleniowych dachu lub stropodachu – w przypadku stropów drewnianych lub płyt kanałowych o niewielkiej nośności, dodanie ciężkiej warstwy izolacyjnej (np. grubych płyt wełny mineralnej z obciążeniem balastowym) może przekroczyć dopuszczalne obciążenie użytkowe konstrukcji. Skutkiem ograniczenia jest konieczność zastosowania lżejszych, często mniej efektywnych materiałów izolacyjnych lub wykonania wzmocnień konstrukcyjnych, co zwiększa koszty modernizacji.
4. Brak możliwości poprawnego wykonania ciągłości izolacji termicznej w strefie fundamentowej – w starszych budynkach fundamenty często są płytkie, bez izolacji przeciwwilgociowej i termicznej; docieplenie strefy cokołowej i przejścia fundament-ściana zewnętrzna może być technicznie utrudnione (np. brak dostępu, obecność schodów, tarasów). Skutkiem ograniczenia jest powstawanie liniowych mostków termicznych na styku ściany z gruntem, co powoduje zwiększone straty ciepła oraz możliwość kondensacji pary wodnej i zawilgocenia przegrody.
5. Problemy z instalacją stolarki energooszczędnej w istniejących otworach okiennych – istniejące ściany mogą mieć niestandardowe grubości, niską nośność lub niewłaściwe ościeża, co utrudnia montaż nowoczesnych, głębokich okien z potrójnymi szybami; dodatkowo, montaż w warstwie ocieplenia może nie być możliwy bez ingerencji w konstrukcję ściany. Skutkiem ograniczenia jest konieczność stosowania okien o mniejszych gabarytach lub rezygnacja z optymalnego osadzenia w warstwie izolacji.
6. Brak możliwości modernizacji systemu wentylacji przy ociepleniu przegród; termomodernizacja zmniejsza infiltrację powietrza, co przy istniejącej wentylacji grawitacyjnej może skutkować jej niewydolnością; brak kanałów wentylacyjnych lub trudność w ich wykonaniu (np. w stropach prefabrykowanych) może uniemożliwić montaż wentylacji mechanicznej. Skutkiem ograniczenia jest wzrost wilgotności wewnętrznej, ryzyko rozwoju pleśni i pogorszenie jakości powietrza w budynku.
7. Brak przestrzeni technicznej dla instalacji systemów OZE lub nowoczesnych źródeł ciepła; kotłownie w sta-

rych budynkach często nie spełniają wymaganych parametrów (np. wysokości, wentylacji, dostępu serwisowego); dach może mieć niewłaściwe nachylenie lub orientację dla instalacji fotowoltaicznej. Skutkiem ograniczenia może być brak możliwości zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE, lub konieczność gruntownej przebudowy pomieszczeń technicznych.

Podsumowanie

Po gruntownej analizie technicznych możliwości rozwiązań modernizacyjnych w wybranym budynku jednorodzinnym zaproponowano kompleksową termomodernizację, obejmującą: ocieplenie przegród, wymianę stolarki okiennej i drzwiowej, instalację pompy ciepła, układu wentylacyjnego z rekuperacją oraz instalacji fotowoltaicznej. Zaprezentowane koncepcje rozwiązań w analizowanym budynku jednorodzinnym z lat 90. XX wieku umożliwiły osiągnięcie standardu niskoenergetycznego i pasywnego. Pomimo nieoptymalnego rozmieszczenia przeszklenia, okazało się możliwe spełnienie wymagań nawet standardu pasywnego. Po termomodernizacji zapotrzebowanie na energię użytkową dla ogrzewania i wentylacji obniżyło się o 81% dla budynku niskoenergetycznego oraz o 94% dla budynku pasywnego, a zapotrzebowanie na energię końcową obniżyło się o 90% dla budynku niskoenergetycznego oraz o 93% dla budynku pasywnego, ze względu na zastosowanie wysokosprawnych, efektywnych energetycznie instalacji wyposażenia technicznego budynku.

Ważnym czynnikiem determinującym przyjmowane rozwiązania dostosowania istniejącego budynku do standardu pasywnego jest na pewno koszt przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Teoretycznie termomodernizację można przeprowadzić, ale należałoby przeanalizować, czy inwestycja jest opłacalna dla inwestora. Możliwe jest też otrzymanie dofinansowania czy dotacji do termomodernizacji w różnych programach wspierających termomodernizację lub rozliczenie ulg podatkowych. Niniejsze opracowanie nie obejmowało analizy opłacalności ekonomicznej przeprowadzonej termomodernizacji.

Należy też zwrócić uwagę, że zakres przedstawionych niezbędnych prac termomodernizacyjnych wiąże się dla mieszkańców nie tylko z dużymi kosztami finansowymi, ale i z koniecznością wyprowadzki na czas realizacji inwestycji, co nie zawsze jest możliwe. Natomiast końcowym efektem będą nie tylko niższe koszty eksploatacji budynku, ale też lepszy komfort cieplny i jakość powietrza wewnętrznego, co zapewni: lepsza izolacja przegród oraz bardziej efektywne systemy ogrzewania i wentylacji. Tym samym nastąpi poprawa warunków życia mieszkańców.

Podziękowania

Praca była wspierana w ramach subwencji badawczej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Politechniki Śląskiej w 2026 roku.

Bibliografia

Dyrektywa. (2010). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w spra-

- wie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona). (2010). *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L, 153/13. <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj> (Dostęp z 05.05.2026)
- Dyrektywa. (2023). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmiany rozporządzenia (UE) 2023/955 (wersja przekształcona). (2023). *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L, 231/1. <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj> (Dostęp z 05.05.2026)
- Dyrektywa. (2024). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona). (2024). *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L, 2024/1275. <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj> (Dostęp z 05.05.2026)
- Godlewski, T., Mazur, Ł., Szlachetka, O., Witowski, M., Łukasik, S., & Koda, E. (2021). Design of passive building foundations in the Polish climatic conditions. *Energies*, 14(23), 7855. <https://doi.org/10.3390/en14237855>
- GUS. (2024). Warunki mieszkaniowe w Polsce w świetle wyników Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań 2021. *Urząd Statystyczny w Lublinie – Ośrodek Statystyki Gospodarki Mieszkaniowej i Komunalnej*, pod kierunkiem K. Markowskiego, 2024. <https://stat.gov.pl/spisy-powszechne/nsp-2021/nsp-2021-wyniki-ostateczne/warunki-mieszkaniowe-w-polsce-w-swietle-wynikow-narodowego-spisu-powszechnego-ludnosci-i-mieszkan-2021,5,2.html> (Dostęp z 05.05.2026)
- Instytut Energii Odnawialnej. (2025). Domy jednorodzinne 2025: Źródła grzewcze, stan energetyczny, plany inwestycyjne. https://iee.org.pl/wp-content/uploads/2025/07/Domy-jednorodzinne-2025-raport_final.pdf (Dostęp z 05.05.2026)
- Juchniewicz-Lipińska, L. (2008). The First Certified Passive House in Poland. *Architectus*, 2, 75-79.
- KAPE. (2012). Określenie podstawowych wymogów, niezbędnych do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposobu weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energetycznych, *Krajowa Agencja Poszanowania Energii*. https://www.cire.pl/pliki/1/wytyczne_do_programu_domow_energooszczednych.pdf (Dostęp z 05.05.2026)
- Ksit, B., & Sarnowska, R. (2017). Modernizacja projektu budynku mieszkalnego do standardu NF15 z analizą kosztorysową ścian zewnętrznych. *Przegląd Budowlany*, 88.
- Mach, A., Parra, M., & Teamah, H. (2025). Post-Occupancy evaluation of a passive Multi-Unit residential building and a Single-Family passive house. *Sustainability*, 17(9), 3799. <https://doi.org/10.3390/su17093799>
- Marciniak, M., & Ujma, A. (2019). Ocena opłacalności dostosowania obiektu mieszkalnego do standardu budynku pasywnego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Budownictwo*, 174(24), 232-238. <https://doi.org/10.17512/znb.2018.1.36>
- Minister Infrastruktury. (2015). Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 roku w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 2015 roku poz. 376 ze zmianami).
- Minister Rozwoju i Technologii. (2022). Obwieszczenie z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2022 poz. 1225).
- Passive House Institute. (2026). <https://passivehouse.com/en/home/building-certification/#certification> (Dostęp z 05.05.2026)
- PKN. (1991). PN-B-02020:1991 Ochrona cieplna budynków: Wymagania i obliczenia. *Polski Komitet Normalizacyjny*.
- PKN. (2006). PN-EN 12831:2006. Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. *Polski Komitet Normalizacyjny*.
- PKN. (2008). PN-EN ISO 13790: 2008. Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. *Polski Komitet Normalizacyjny*.
- Rose, J., Kragh, J., & Nielsen, K. F. (2021). Passive house renovation of a block of flats – Measured performance and energy signature analysis. *Energy and Buildings*, 256, 111679. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111679>
- SANKOM. Program Purmo OZC Basic 6.7 do obliczania projektowego obciążenia cieplnego budynku i sezonowego zużycia energii. Pobrano z Purmo: <https://www.purmo.com/pl-pl/pliki-do-pobrania/programy-komputerowe> (Dostęp z 05.05.2026)
- Siuta-Oлча, A., Cholewa, T., & Guz, Ł. (2011). *Analiza porównawcza potrzeb energetycznych jednorodzinnych budynków mieszkalnych o różnym standardzie wykonania*. Proceedings of ECOpole - Tom Vol. 5, No. 1 (2011)

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. *Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0*.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. *The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license*.