

dr hab. inż. Anna Życzyńska, prof. PL¹⁾

ORCID: 0000-0003-3435-3392

dr hab. inż. Anna Ostańska, prof. PL^{1)*)}

ORCID: 0000-0002-1789-4288

mgr inż. Grzegorz Dyś¹⁾

ORCID: 0009-0006-8806-0877

Thermal modernization of residential facility based on the example of a building in the OWT-67 system

Termomodernizacja obiektów mieszkalnych na przykładzie budynku w systemie OWT-67

DOI: 10.15199/33.2026.01.06

Abstract. Previous thermal modernization of large-panel buildings activities were analyzed as part of a project carried out by the Polish Chamber of Construction (PIB) [1]. Overall, 25% of people in Poland live in buildings constructed using large-panel technology, which account for approximately 1% of all buildings. The PIB conducted a survey among 130 housing cooperatives, which comprise 470,000 residential units. On this basis, it was determined that 70% of cooperatives plan further thermal modernization works, but only 1% plan to modernize ventilation [2]. In the Lublin region, a low-rise, five-story residential building was studied. The analysis concerns a selected research object, constructed using the OWT-67 large-panel system. In Poland, such buildings account for approximately 30% of structures built from prefabricated elements.

The article presents the calculated energy effects that can be achieved as a result of thermal modernisation improvements, leading to a reduction in the building's energy demand for heating and ventilation. Based on [3], the investment costs of implementing these improvements were also determined.

Keywords: thermal modernization; large-panel construction; technical improvement; energy and cost indicators.

Streszczenie. Dotychczasowe działania termomodernizacyjne budynków wielkopłytowych analizowano w ramach projektu realizowanego przez Polską Izbę Budownictwa (PIB) [1]. Zakłada się, że 25% społeczeństwa w Polsce mieszka w budynkach wykonanych w technologii wielkopłytowej, które stanowią ok. 1% wszystkich budynków. PIB przeprowadziła ankietę wśród 130 spółdzielni mieszkaniowych, w których znajduje się 470 tys. lokali mieszkalnych, na podstawie której ustalono, że 70% spółdzielni planuje dalsze prace termomodernizacyjne obiektów, a tylko 1% modernizację wentylacji [2]. Badaniom poddano pięciokondygnacyjny budynek mieszkalny w systemie wielkopłytowym OWT-67 w regionie lubelskim. W Polsce takie budynki stanowią ok. 30% obiektów zrealizowanych z elementów prefabrykowanych.

W artykule przedstawiono obliczeniowe efekty energetyczne, jakie można uzyskać w wyniku realizacji usprawnień termomodernizacyjnych, prowadzących do zmniejszenia zapotrzebowania budynku na energię do ogrzewania i wentylacji. Na podstawie [3] określono również koszty realizacji tych usprawnień.

Słowa kluczowe: termomodernizacja; budownictwo wielkopłytowe; usprawnienie techniczne; wskaźniki energetyczne i kosztowe.

In accordance with Polish legislation, the owner or manager of a building is accountable for ensuring its safe usage [4]. Between 1946 and 1992, large-panel multi-family housing accounted for approximately 50% of all new-built housing stock, 30% of which were constructed using a particular panel system, OWT [5]. In absolute numbers, approximately 60,000 large-panel buildings are in use [1], including approximately 18,000 of OWT. A survey by the Building Research Institute (ITB) covering over 300 prefabricated buildings in the provinces of Mazovia, Łódź, Silesia, and Lower Silesia provided insight into their condition and service life expectancy [6, 7]. Most of them proved structurally sound; only a few called for repairs of some load-bearing elements. They are thus perfectly fit for energy

godnie z prawem za bezpieczne użytkowanie obiektu budowlanego w Polsce odpowiada jego właściciel lub zarządca [4]. Udział wielkopłytowego budownictwa wielorodzinnego w latach 1946 – 1992 wynosił ok. 50%, z czego 30% stanowiły budynki w systemie OWT [5]. W ostatnich latach systemy wielkopłytowe powracają do oferty deweloperskiej, jako tania i szybka technologia realizacji budynków wielorodzinnych, również na poziomie smart. Obecnie eksploatowanych jest ok. 60 tys. budynków z wielkiej płyty [1], w tym ok. 18 tys. w systemie OWT. Istotne dla oceny ich trwałości były badania obejmujące ponad 300 budynków prefabrykowanych w województwach mazowieckim, łódzkim, śląskim i dolnośląskim zrealizowane przez Instytut Techniki Budowlanej (ITB) [6, 7]. Wnikliwa analiza wyników potwierdziła, że większość obiektów jest w dobrym stanie technicznym, a tylko w niektórych przypadkach należy przeprowadzić prace modernizacyjne polegające na wzmocnieniu

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

^{*)} Correspondence address: a.ostanska@pollub.pl

retrofitting to extend their service life to 100-120 years. This means that, after modernization, large panel buildings can be used until 2080 [8]. This is why banks do not shy away from granting mortgage loans for the purchase of apartments in this stock. Regular surveys conducted among the residents [9] confirm that large panel housing estates are valued and worth investing in [10].

The paper presents an analysis of the results of calculations contained in [3], which were used to implement the G-2304-66012 project, ending with the report [1]. The results indicate housing stock managers' priorities for retrofit measures, including insulating interior walls (77%), replacing windows (54%), and insulating roofs (53%). In the survey, the modernization of the ventilation system was the least popular measure, with only 1% of respondents admitting considering it. This indicates a focus on partial improvements most obvious and visible to the users, but delivered in a manner least interfering with the private space of the dwellings. According to the PIB, heat losses through "old" ventilation systems account for almost half (approx. 47%) of the total heat loss (Φ_{HL} [kW]) from buildings with well insulated envelopes. Therefore, the authors attempted to analyze effects of partial and complex energy retrofit in the scale of a whole building in the form of a case study. Its object was an existing OWT-67 housing block. Three retrofit measures (envelope insulation and two options of ventilation improvement) selected for this presentation are summarized in Table 1. Comparing the reduction of the energy demand achievable by each measure and the estimated cost of modernization, we point to the most effective scope of energy retrofit.

konstrukcji nośnej. Zaleca się także ich ocieplenie, aby mogły być użytkowane przez 100 – 120 lat. Oznacza to, że po głębokiej termomodernizacji budynki z wielkiej płyty mogą być użytkowane do 2080 r. [8]. Banki nie boją się więc udzielać kredytów na zakup mieszkań w tego typu obiektach, ponieważ okres kredytowania kończy się przed zakończeniem okresu bezpiecznego ich użytkowania. Prowadzone od ponad dwudziestu lat [9] badania opinii użytkowników osiedli mieszkaniowych z wielkiej płyty potwierdzają potrzebę modernizacji tego typu budynków [10].

W artykule przedstawiono analizę wyników obliczeń zawartych w [3], które wykorzystano do realizacji projektu G-2304-66012, zakończonego raportem [1]. Wynika z niego m.in., że spółdzielnie mieszkaniowe są zainteresowane dociepleniem ścian zewnętrznych (77%), następnie wymianą stolarki okiennej (54%) i ociepleniem dachów (53%). Spośród dziesięciu przedsięwzięć wymienionych w ankiecie, ostatnie miejsce zajęła modernizacja systemu wentylacji (jedynie 1% wskazań). Wynik ten wskazuje więc na brak zrozumienia problemu, gdyż wg PIB, po przeprowadzeniu termomodernizacji (tabela 1), projektowa wentylacyjna strata ciepła stanowi blisko połowę (ok. 47%) całkowitej projektowej straty ciepła (Φ_{HL} – moc wyrażona w [kW]), w której zawarte są również projektowe straty ciepła przez przenikanie. Oznacza to, że zarządcy obiektów budowlanych bardzo rzadko rozważają możliwość ograniczenia strat ciepła z tytułu wentylacji. Podjęto więc próbę ukierunkowania działań termomodernizacyjnych w badanym eksploatowanym budynku wielkopłytowym. Na podstawie analizy uzyskanych wyników obliczeń dobrano efektywny energetycznie i ekonomicznie wariant rozwiązań w przypadku budynku w systemie OWT-67.

Table 1. Characteristics of thermomodernization improvement

Tabela 1. Charakterystyka usprawnień termomodernizacyjnych

Specification/Wyszczególnienie	Designation/Oznaczenie
Thermal cladding of the envelope (external walls, flat roof, basement ceiling) to meet the requirements on heat transfer coefficient (U); no replacement of windows and external doors as deemed "in a satisfactory condition" (U coefficient for windows and balcony doors assumed 1.5 W/m ² •K, and for external doors 1.8 W/m ² •K/Docieplenie przegród budowlanych budynku, tj. ścian zewnętrznych, stropodachu, stropu nad piwnicą, tak aby zostały spełnione wymagania warunków technicznych dotyczących współczynnika przenikania ciepła (U); nie planuje się wymiany okien i drzwi zewnętrznych; założono współczynnik U okien i drzwi balkonowych 1,5 W/m ² •K, a drzwi zewnętrznych 1,8 W/m ² •K	U1
Equipping each apartment in the building with an individual mechanical ventilation system with heat recovery (recuperation)/Wyposażenie każdego mieszkania w budynku w indywidualny system centralnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła (rekuperacja)	U2A
Equipping each room with mechanical ventilation with heat recovery; air inlet/outlet through external walls; bathrooms (no access to outer walls) also equipped with mechanical ventilation with heat recovery – this system uses the existing ventilation shafts (solution prompted by the client [4])/Wyposażenie każdego pokoju i kuchni w urządzenie wentylacyjne z odzyskiem ciepła, montowane w ścianach zewnętrznych; wyposażenie łazienki w urządzenie wentylacyjne z odzyskiem ciepła; rozwiązanie wskazane do analizy przez zleceniodawcę opracowania [4]	U2B

Note/Uwaga:

It is assumed that the U2A or U2B improvement is implemented in an already insulated building as in U1 (interior walls, roof, basement ceiling at max. acceptable U level). Windows and external doors as with U1. Envelope specification: interior walls ($U_{max} = 0.20$ W/m²•K) – ETICS with polystyrene boards $\lambda = 0.031$ W/m•K, 12 cm thick, $U = 0.189$ W/m²•K; roof ($U_{max} = 0.15$ W/m²•K) – flat, cold deck type, insulated with loose-fill mineral wool $\lambda = 0.043$ W/m•K, 25 cm thick, $U = 0.148$ W/m²•K; ceiling of unheated basement ($U_{max} = 0.25$ W/m²•K) – spray foam insulation $\lambda = 0.034$ W/m•K, 10 cm thick, $U = 0.240$ W/m²•K/Założono, że usprawnienie U2A lub U2B jest realizowane w budynku, którego pełne przegrody budowlane (ściany zewnętrzne, stropodach, strop nad piwnicą) spełniają wymagania warunków technicznych dotyczące współczynnika U, a przegrody przezroczyste (okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne) charakteryzują się współczynnikami U jak opisano w usprawnieniu U1; przyjęto następujące technologie dociepleń, współczynniki przewodzenia ciepła i grubość materiałów izolacyjnych: ściany zewnętrzne ($U_{max} = 0.20$ W/m²•K) – technologia ETICS, styropian $\lambda = 0.031$ W/m•K, d = 12 cm, $U = 0.189$ W/m²•K; $U = 0.191$ W/m²•K; stropodach ($U_{max} = 0.15$ W/m²•K) – technologia wdmuchiwanie pneumatycznego, granulatu z wełny mineralnej $\lambda = 0.043$ W/m•K, d = 25 cm, $U = 0.148$ W/m²•K; strop nad piwnicami nieogrzewanymi ($U_{max} = 0.25$ W/m²•K) – natrysk materiału izolacyjnego $\lambda = 0.034$ W/m•K, d = 10 cm, $U = 0.240$ W/m²•K;

The same heat recovery efficiency was assumed for each solution concerning ventilation U2A and U2B/Przyjęto taką samą sprawność odzysku ciepła w każdym rozwiązaniu, dotyczącym wentylacji U2A i U2B.

A constant ventilation flow was assumed in the calculations/W obliczeniach przyjęto stały strumień wentylacji.

Simulation research

The complete description of methodology can be found in [3]. Calculations were aimed at identifying the most economically justified set of improvements. The analysis covered the building's annual energy demand for useful and final energy required for heating and ventilation. For the final comparison of options (listed in Table 1), the retrofit costs and energy consumption were expressed per square meter of heated area. The OWT-67 housing block selected for the analysis was in operation for approximately 50 years. It was provided with heat with a district heating system and equipped with a dual-function (central heating and hot water preparation) heat distribution unit. The original radiator-based system was intended to stay as it proved to meet current requirements of the building code.

The input for the analysis consisted of:

- original specifications and design of the building;
- calculations of heat transfer coefficients of building partitions;
- analysis of the heating system components to determine the average seasonal efficiency of the entire system;
- proposals for improvements leading to better energy efficiency;
- calculations of the thermal load of the building;
- calculations of the building's annual energy demand to define components of the building's heat balance;
- annual calculations of the building's final energy demand;
- cost estimate for construction works in specific modernization options;
- determination of energy and cost indicators;
- energy savings for each option.

This presentation does not detail components of heat loss (due to transmission, ventilation, effect of solar and internal gains. Table 2 presents the general characteristics of the building, while Table 3 presents the values of the heat transfer coefficients of building partitions in their original (pre-insulation) state. The data were derived from the original design and own calculations [3].

Three thermal modernization improvements were analyzed, aimed at reducing heat consumption for heating and ventilating the building. Improvement U1 concerns provision of the thermal insulation of building partitions and, as a result, a reduction in their heat transfer coefficients, while U2A and U2B introduce changes to the method of ventilating rooms in the building. A detailed description of the improvements, together with the method of insulating building partitions and their heat transfer coefficients after thermal modernization, is provided in Table 1.

Based on the three improvements described in Table 1, three variants of the modernization of the building under study were adopted (Table 4). The first variant, designated W1, includes improvement U1, i.e. the insulation of the envelope. Variant W2 is composed of U1 and U2A, while in variant W3, improvement U2A was replaced with U2B, which means the introduction of changes related to the ventilation system of the rooms in the building. Calculations of the building's energy demand in each variant were carried

Obliczenia symulacyjne

Przeprowadzone obliczenia symulacyjne zawarte w [3] miały na celu wskazanie usprawnień prowadzących do poprawy efektywności energetycznej budynku mieszkalnego wykonanego z prefabrykatów wielkopłytowych, określenie poziomu zmian wskaźników energetycznych charakteryzujących budynek w stanie docelowym w odniesieniu do stanu istniejącego, a także obliczenie wskaźników kosztowych termomodernizacji budynku. Analizie poddano roczne zapotrzebowanie budynku na energię: użytkową i końcową niezbędną do ogrzewania i wentylacji budynku. Oszacowano wskaźniki kosztów zaproponowanych usprawnień w odniesieniu do jednostki ogrzewanej powierzchni użytkowej oraz jednostki energii. Rozważano trzy warianty termomodernizacji typowego budynku zrealizowanego w systemie OWT-67, eksploatowanego od ok. 50 lat. Analizowany budynek jest zasilany z miejskiej sieci ciepłowniczej przez indywidualny dwufunkcyjny (centralne ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody) węzeł cieplny i wyposażony w centralną instalację grzewczą. Węzeł cieplny i instalacja grzewcza spełniają wymagania warunków technicznych.

Dane wykorzystane do obliczeń symulacyjnych obejmują:

- charakterystyki techniczne rozpatrywanego budynku i opis technologii jego wykonania;
- obliczenia współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych;
- opis składowych elementów systemu grzewczego w celu wyznaczenia wartości średniej sezonowej sprawności całkowitej tego systemu;
- propozycje usprawnień prowadzących do poprawy efektywności energetycznej;
- obliczenia projektowego obciążenia cieplnego budynku;
- obliczenia rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową wraz z podaniem składowych bilansu ciepła;
- obliczenia rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową;
- oszacowanie kosztów robót budowlanych w poszczególnych wariantach termomodernizacyjnych;
- wyznaczenie wartości wskaźników energetycznych i kosztowych;
- określenie poziomu oszczędności energii w przypadku zaproponowanych usprawnień termomodernizacyjnych.

W artykule nie zamieszczono pośrednich wyników obliczeń, takich jak: straty przez przenikanie, straty z tytułu wentylacji, zyski od promieniowania słonecznego i zyski wewnętrzne. W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę analizowanego budynku, natomiast w tabeli 3 wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych. Dane pozyskano na podstawie kwerendy archiwalnej dokumentacji projektowej, wiedzy i obliczeń wg publikacji [3].

Analizowano trzy usprawnienia termomodernizacyjne mające prowadzić do zmniejszenia zużycia ciepła do ogrzewania i wentylacji budynku. Usprawnienie U1 dotyczy poprawy izolacyjności cieplnej przegród budowlanych i w efekcie zmniejszenia ich wartości współczynników przenikania ciepła, natomiast U2A i U2B wprowadzenia zmian do sposobu wentylacji pomieszczeń w budynku. Szczegółowy opis usprawnień wraz ze sposobem docieplenia przegród budow-

Table 2. General characteristics of the building

Tabela 2. Charakterystyka ogólna budynku

Specification/Wyszczególnienie	Description/Opis
Building designation/Oznaczenie budynku	OWT-67
Building type/Rodzaj budynku	residential, multi-family, 5 stories/mieszkalny, wielorodzinny, niski – 5 kondygnacji
Construction technology/Technologia wykonania budynku	large-panel system/wielkopłytowy, OWT-67
Building construction period/Okres budowy budynku	mainly the 70s and 80s/głównie lata: 70-te + 80-te
Usable floor area of dwellings [m^2]/Powierzchnia użytkowa mieszkań [m^2]	4.316,05
Heated floor area [m^2]/Powierzchnia ogrzewana [m^2]	4.798,61
Conditioned volume [m^3]/Kubatura ogrzewana [m^3]	12.092,50
Number of dwellings/Liczba mieszkań	95; including: M2 – 15; M3 – 20; M4 – 45; M5 – 10; M6 – 5/95; w tym: M2 – 15; M3 – 20; M4 – 45; M5 – 10; M6 – 5
Number of heated floors/Liczba kondygnacji ogrzewanych	5
Year and scope of thermal modernization/Rok i zakres termomodernizacji	the building has not undergone thermal modernization/nie wykonano termomodernizacji budynku
Heating system/System ogrzewania	central heating system; supplied from the municipal heating network/centralna instalacja ogrzewcza; zasilanie z miejskiej sieci ciepłowniczej
Hot water preparation system/System przygotowania ciepłej wody	central hot water system with circulation; supplied from the municipal heating network heating/centralna instalacja c.w. z cyrkulacją; zasilanie z miejskiej sieci ciepłowniczej
Ventilation type/Rodzaj wentylacji	natural ventilation/grawitacyjna
Fresh air intake/Napływ powietrza świeżego	windows and external doors – infiltration/nieszczelności w oknach i drzwiach zewnętrznych
Air exhaust/Wyciąg powietrza zużytego	ventilation ducts in kitchens and bathrooms/kanały wentylacyjne w kuchni i łazience

Table 3. Thermal transmittance of building partitions – U [$W/m^2 \cdot K$]

Tabela 3. Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych – U [$W/m^2 \cdot K$]

Type of building envelope component/Rodzaj przegrody budowlanej	Value U [$W/(m^2 \cdot K)$]/Wartość U [$W/(m^2 \cdot K)$]
External walls /Ściany zewnętrzne	0.704; 0.728; 0.739
Ventilated flat roof /Stropodach wentylowany	1.055
Ceiling above an unheated basement/Strop nad piwnicą nieogrzewaną	0.811
Windows in apartments (average value according to share and coefficient value)/Okna w mieszkaniach (wartość średnia wg udziału i wartości współczynnika)	1.5
Windows in stairwells/Okna na klatkach schodowych	1.5
External doors/Drzwi zewnętrzne	1.8

Table 4. List of variants

Tabela 4. Wykaz wariantów

Designation/Oznaczenie	
variant/wariantu	improvement/usprawnienia
W1	U1
W2	U1 + U2A
W3	U1 + U2B

with the assumptions described in Table 5, determined on the basis of [11 – 18]. To calculate the final energy demand, the assumption was that the building was equipped with the heating system described in Table 6, and energy source values were derived from [11]. A detailed description is provided of the specific elements of the heating system that affect the efficiency of heat generation, transmission, regulation, and accumulation. The heating system is typical for OWT-67 buildings erected throughout Poland. It was assumed that there were no interruptions in heating in the building during the week and day, therefore the values of the coefficients w_t and w_d were assumed to equal 1.0. The value

lanych i ich wartościami współczynników przenikania ciepła po termomodernizacji zamieszczono w tabeli 1.

Na podstawie trzech usprawnień opisanych w tabeli 1 przyjęto trzy warianty termomodernizacji badanego obiektu (tabela 4). Pierwszy wariant oznaczony jako W1 obejmuje usprawnienie U1, a więc docieplenie przegród, wariant W2 został wzbogacony o usprawnienie U2A, natomiast w wariantcie W3 usprawnienie U2A zastąpiono usprawnieniem U2B, co oznacza wprowadzenie zmian związanych z systemem wentylacji pomieszczeń w budynku.

Obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową rozpatrywano w poszczególnych wariantach przeprowadzono przy założeniach opisanych w tabeli 5 wyznaczonych na podstawie [11 – 18], natomiast na energię końcową przy założeniu wyposażenia budynku w system ogrzewania opisany w tabeli 6, do czego wykorzystano [11]. Przedstawiono szczegółowy opis poszczególnych elementów systemu ogrzewania, które mają wpływ na sprawność wytwarzania ciepła, jego przesyłu, regulacji i akumulacji. System ogrzewania jest typowy dla budynków wykonanych w technologii OWT-67 zlokalizowanych na terenie całej Polski. Założono, że w budynku nie występują prze-

Table 5. Assumptions for calculations – utility energy needs demand
Tabela 5. Założenia do obliczeń – zapotrzebowanie na energię użytkową

Specification/Wyszczególnienie	Data/Source of information/ Dane/Źródło informacji
Climate zone/Strefa klimatyczna	III according to the partition of Poland/III wg podziału Polski
Weather station/Stacja meteorologiczna	Lublin Radawiec
Design outdoor temperature of the heated zone of the building/Temperatura obliczeniowa zewnętrzna strefy ogrzewanej budynku	-20°C
Design temperature inside the heated zone of the building/Temperatura obliczeniowa wewnętrzna strefy ogrzewanej budynku	20°C
Air exchange rate in the heated area/Krotność wymiany powietrza w strefie ogrzewanej	0.7 1/h
The value of heat transfer coefficients for building partitions/Wartość współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych	according to Table 3/wg tabeli 3
Building geometry/Geometria budynku	archival project/projekt archiwalny
Annual building energy demand for heating and ventilation [kWh/m ² •year]/Wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji [kWh/m ² •r]	$EU_H = Q_{H,nd}/A_f$
Annual useful energy demand for heating and ventilation [kWh/year]/Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji [kWh/r]	$Q_{H,nd}$
Area of rooms with controlled air temperature (heated area) [m ²]/Powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana [m ²])	$A_f = 4798,61$

Table 6. Coefficients to account for heating intervals and seasonal average heating system efficiencies
Tabela 6. Współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu i średnią sezonową sprawność systemu ogrzewania

Specification/Wyszczególnienie	Description/Opis	Value/ Wartość
Coefficients accounting for heating interruptions/Współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu		
During the week/W okresie tygodnia	heating operated 7 days a week – w_t /czas ogrzewania 7 dni w tygodniu – w_t	1.00
During the day/W okresie doby	Continuous heating; no devices for individual heat cost allocation (e.g., cost allocators, individual heat meters) – w_d /ogrzewanie bez przerw; brak urządzeń do indywidualnego rozliczenia kosztów ogrzewania (np. podzielniki kosztów, indywidualne ciepłomierze) – w_d	1.00
Average seasonal efficiency/Średnia sezonowa sprawność		
Heat generation from energy supplied to the heat source/Wytwarzanie ciepła z energii dostarczonej do źródła ciepła	Compact district heating substation without casing, nominal capacity above 100 to 300 kW – $\eta_{H,g}$ /węzeł ciepłowniczy kompaktowy bez obudowy o mocy nominalnej powyżej 100 do 300 kW – $\eta_{H,g}$	0.93
Heat distribution from the heat source to the heated space/Przesył ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej	Central water-based heating system with a local heat source located within the heated building; insulated pipes, fittings and devices installed in unheated spaces – $\eta_{H,d}$ /ogrzewanie centralne wodne z lokalnego źródła ciepła usytuowanego w budynku ogrzewanym, z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami, które są zainstalowane w przestrzeni nieogrzewanej – $\eta_{H,d}$	0.90
Heat regulation and utilisation in the heated space/Regulacja i wykorzystanie ciepła w przestrzeni ogrzewanej	Water-based heating with sectional or panel radiators; central and local regulation with proportional thermostatic valves (proportionality range P-2K) – $\eta_{H,e}$ /ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi, regulacja centralna i miejscowa z zaworami termostatycznymi o działaniu proporcjonalnym z zakresem proporcjonalności P-2K – $\eta_{H,e}$	0.88
Heat storage in thermal capacity elements of the heating system/Akumulacja ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania	No heat storage tank in the heating system – $\eta_{H,s}$ /brak zasobnika ciepła w systemie ogrzewania – $\eta_{H,s}$	1.00
Average total seasonal efficiency of the heating system – $\eta_{H,tot}$/Średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewania – $\eta_{H,tot}$		0.737

of the annual final energy demand for heating (EK_H) was calculated on the basis of the building's annual final energy demand ($Q_{k,H}$) in accordance with the relationship (1 ÷ 3).

$$Q_{k,H} = \frac{Q_{H,nd} \cdot w_t \cdot w_d}{\eta_{H,tot}} \quad (1)$$

$$\eta_{H,tot} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,s} \quad (2)$$

$$EK_H = \frac{Q_{k,H}}{A_f} \quad (3)$$

where:

$Q_{H,nd}$ – annual useful energy demand for heating and ventilation [kWh/year];

prawy w ogrzewaniu w ciągu tygodnia i doby, dlatego wartości współczynników w_t oraz w_d przyjęto równe 1,0. Wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania (EK_H) obliczono na podstawie rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową ($Q_{k,H}$) wg zależności (1 ÷ 3).

$$Q_{k,H} = \frac{Q_{H,nd} \cdot w_t \cdot w_d}{\eta_{H,tot}} \quad (1)$$

$$\eta_{H,tot} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,s} \quad (2)$$

$$EK_H = \frac{Q_{k,H}}{A_f} \quad (3)$$

gdzie:

w_t – coefficient taking into account the introduction of heating breaks during the week [-];
 w_d – coefficient taking into account the introduction of heating breaks during the day [-];
 $\eta_{H,tot}$ – average seasonal total efficiency of the heating system [-];
 $\eta_{H,g}$ – average seasonal efficiency of heat generation from energy carriers or energy supplied to the heat source [-];
 $\eta_{H,d}$ – average seasonal heat transfer efficiency from the heat source to the heated space [-];
 $\eta_{H,e}$ – average seasonal efficiency of heat regulation and utilization in heated spaces [-];
 $\eta_{H,s}$ – average seasonal heat storage efficiency in the storage components of the heating system [-];
 A_r – area of rooms with controlled air temperature (heated area) [m²];
 $Q_{k,H}$ – annual final energy demand supplied to the building for the heating system [kWh/year];
 EK_H – annual final energy demand indicator for heating [kWh/(m²•r)].

Results

The results of calculations of the design heat load and the building's energy demand for heating and ventilation of the building in its original state are presented in Table 7. The calculations contained in [3] based on standards [12 ÷ 17], regulations [11 and 18] and the algorithm of [19]. The results of calculations of the building's annual energy demand after the planned thermal modernization and the heat load in specific variants are summarized in Table 8. In variants W2 and W3, it was assumed that the heat recovery efficiency is the same and the ventilation flow rate remains unchanged. The decrease in the building's energy demand and its indicators, as well as the decrease in the heat load due to the planned thermal modernization of the building, are also presented.

Table 7. Utility energy needs demand – existing condition

Tabela 7. Zapotrzebowanie na energię użytkową – stan istniejący

Specification/Wyszczególnienie	Value/Wartość
Design heating load of the building Φ_{HL} / Projektowe obciążenie ciepłen budynku Φ_{HL}	342,47 [kW]
Heating load indicator ϕ_{HL} /Wskaźnik obciążenia ciepłnego ϕ_{HL}	0,071 [kW/m ²]; 0,028 [kW]
Annual demand for useful energy for heating and ventilation $Q_{H,nd}$ /Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $Q_{H,nd}$	485 579 [kWh/year]; 1 748,08 [GJ/year]
Annual indicator of demand for useful energy for heating and ventilation $E_{U,H}$ /Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $E_{U,H}$	101,19 [kWh/m ² •year]; 0,364 [GJ/m ² •year]; 40,16 [kWh/m ² •year]; 0,145 [GJ/m ² •year]

Table 9 lists the components of the annual energy demand of the building $Q_{H,nd}$ [GJ/year] before and after modernization. The components of the heat balance of the heated area are: heat losses due to transmission through building envelopes forming the of the building (Q_{tr}), heat losses due to ventilation (Q_{ve}), heat gains from solar radiation through transparent partitions in the envelope (Q_{sol}) and internal heat gains (Q_{int}). The balance calculations take into account the coefficient of utilization of heat gains in the heated area of the building ($\eta_{H,gn}$). The design values of heat losses through transmission (Φ_{tr}), design ventilation heat losses Φ_{ve}) and total design heat losses (Φ_{HL}) are included.

The results of our calculations of the annual final energy demand for heating and ventilation for the building in its original state are presented in Table 10; Table 11 shows the values after modernization. Energy indices, calculated on the basis of proposed important technical improvements are given in Table 12.

$Q_{H,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji [kWh/r];
 w_t – współczynnik uwzględniający wprowadzenie przerw w ogrzewaniu w okresie tygodnia [-];
 w_d – współczynnik uwzględniający wprowadzenie przerw w ogrzewaniu w ciągu doby [-];
 $\eta_{H,tot}$ – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewania [-];
 $\eta_{H,g}$ – średnia sezonowa sprawność wytwarzania ciepła z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła ciepła [-];
 $\eta_{H,d}$ – średnia sezonowa sprawność przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej [-];
 $\eta_{H,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej [-];
 $\eta_{H,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania [-];
 A_r – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana) [m²];
 $Q_{k,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku w przypadku systemu ogrzewania [kWh/r];
 EK_H – wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową do ogrzewania, [kWh/(m²•r)].

Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń własnych projektowego obciążenia cieplnego oraz zapotrzebowania budynku na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji w stanie istniejącym podano w tabeli 7. W obliczeniach zawartych w [3] wykorzystano normy [12 ÷ 17], rozporządzenia [11 i 18] i oprogramowanie [19]. Natomiast wyniki obliczeń rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową po planowanej termomodernizacji oraz obciążenia cieplnego w poszczególnych wariantach zestawiono w tabeli 8. W przypadku wariantów W2 i W3 założono, że sprawność odzysku ciepła jest taka sama, a wielkość strumienia wentylacyjnego nie ulega zmianie. Przedstawiono również spadek zapotrzebowania budynku na energię użytkową i jej wskaźniki, a także spadek obciążenia cieplnego z tytułu planowanej termomodernizacji budynku.

W tabeli 9 zamieszczono składowe rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową $Q_{H,nd}$ [GJ/r] przed i po termomodernizacji. Składowymi bilansu ciepła strefy ogrzewanej są: straty ciepła z tytułu przenikania przez przegrody budowlane tworzące osłonę bilansową budynku (Q_{tr}), straty ciepła z tytułu wentylacji (Q_{ve}), zysk ciepła od promieniowania słonecznego przez przegrody przezroczyste w osłonie bilansowej (Q_{sol}) oraz wewnętrzny zysk ciepła (Q_{int}). W obliczeniach bilansu uwzględniono współczynnik wykorzystania zysków ciepła w strefie ogrzewanej budynku ($\eta_{H,gn}$). Zamieszczono wartości projektowych strat ciepła przez przenikanie (Φ_{tr}), projektowych wentylacyjnych strat ciepła (Φ_{ve}) oraz całkowite projektowe straty ciepła (Φ_{HL}).

Wyniki obliczeń własnych rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji oraz jego wskaźnika w przypadku budynku w systemie OWT-67 w stanie istniejącym zamieszczono w tabeli 10, a po termomodernizacji w tabeli 11. Wskaźniki energetyczne, uzyskane na podstawie zaproponowanych usprawnień technicznych podano w tabeli 12. Zgodnie z kosztorysowaniem inwestorskim, każdego usprawnienia, obliczono wskaźniki kosztów w odniesieniu do 1 m² powierzchni o regulowanej tempera-

The estimated costs of modernization in each variant were expressed as rates per square meter of heated area (A_p) and per GJ of saved useful and final energies (Table 13). The costs include an 8% VAT rate on materials and services (gross costs) and cover only the works: no life cycle cost analysis has been made, thus the aspects of durability of the proposed options was neglected.

turze (A_p) oraz 1 GJ energii użytkowej i końcowej (tabela 13). Podane koszty zawierają stawkę 8% podatku VAT od materiałów i usług (koszty brutto). W analizie kosztów nie uwzględniano trwałości urządzeń i materiałów użytych do termomodernizacji.

Table 8. Useful energy demand after planned thermal modernization, by improvement options

Tabela 8. Zapotrzebowanie na energię użytkową po planowanej termomodernizacji, wg wariantów usprawnień

Specification/Wyszczególnienie	Variant/Wariant	
	W1	W2 i W3
Design heating load of the building Φ_{HL} /Projektowe obciążenie cieplne budynku Φ_{HL}	242,73 [kW]	188,45 [kW]
Heating load indicator ϕ_{HL} /Wskaźnik obciążenia cieplnego ϕ_{HL}	0,0506 [kW/m ²]	0,0393 [kW/m ²]
	0,0201 [kW/m ³]	0,0156 [kW/m ³]
Annual demand for useful energy for heating and ventilation $Q_{H,nd}$ /Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $Q_{H,nd}$	262380 [kWh/year]	176405 [kWh/year]
	944,57 [GJ/year]	635,06 [GJ/year]
Annual indicator of demand for useful energy for heating and ventilation EU_H /Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji EU_H	54,68 [kWh/m ² ·year]	36,76 [kWh/m ² ·year]
	0,1968 [GJ/m ² ·year]	0,1323 [GJ/m ² ·year]
	21,70 [kWh/m ³ ·year]	14,59 [kWh/m ³ ·year]
	0,0781 [GJ/m ³ ·year]	0,0525 [GJ/m ³ ·year]
Reduction in design heating load $\Delta\Phi_{HL}$ /Spadek projektowego obciążenia cieplnego $\Delta\Phi_{HL}$	99,74 [kW]	154,01 [kW]
	29,1 [%]	45,0 [%]
Reduction of the heat load index $\Delta\phi_{HL}$ /Zmniejszenie wskaźnika obciążenia cieplnego $\Delta\phi_{HL}$	0,0208 [kW/m ²]	0,0321 [kW/m ²]
	29,1 [%]	45,0 [%]
Reduction in annual demand for useful energy for heating and ventilation $\Delta Q_{H,nd}$ /Spadek zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $\Delta Q_{H,nd}$	223199 [kWh/year]	309174 [kWh/year]
	803,51 [GJ/year]	1113,02 [GJ/year]
	46,0 [%]	63,7 [%]
Reduction in annual indicator of demand for useful energy for heating and ventilation ΔEU_H /Zmniejszenie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ΔEU_H	46,51 [kWh/m ² ·year]	64,43 [kWh/m ² ·year]
	18,46 [kWh/m ³ ·year]	25,57 [kWh/m ³ ·year]
	46,0 [%]	63,7 [%]

Table 9. Components of a building's useful energy demand

Tabela 9. Składowe zapotrzebowania budynku na energię użytkową

Condition of the building/Stan budynku	Φ_T [kW]	Φ_V [kW]	Φ_{HL} [kW]	Q_{tr} [GJ/year]	Q_{ve} [GJ/year]	Q_{sol} [GJ/year]	Q_{int} [GJ/year]	$\eta_{H,gn}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [GJ/year]
Existing/Istniejący	227,35	115,12	342,47	2126,14	1034,59	974,01	734,58	0,82679	1748,08
W1	127,60	115,12	242,73	1180,30	1034,59	974,01	734,58	0,74349	944,57
W2 i W3	127,60	60,84	188,45	1180,30	645,88	974,01	734,58	0,69714	635,06

Table 10. Summary of final energy demand for heating and ventilation

Tabela 10. Zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania i wentylacji

Specification/Wyszczególnienie	Value/Wartość
Annual final energy demand for heating and ventilation $Q_{K,H}$ /Roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania i wentylacji $Q_{K,H}$	658859 [kWh/year]
	2371,89 [GJ/year]
Annual final energy demand indicator for heating and ventilation EK_H /Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji EK_H	137,30 [kWh/m ² ·year]
	0,4943 [GJ/m ² ·year]
	54,48 [kWh/m ³ ·year]
	0,1961 [GJ/m ³ ·year]

Table 11. Final energy demand after planned thermal modernization in individual variants

Tabela 11. Zapotrzebowanie na energię końcową po planowanej termomodernizacji w poszczególnych wariantach

Specification/Wyszczególnienie	Variant/Wariant	
	W1	W2 i W3
Annual useful energy demand for heating and ventilation $Q_{K,H}$ /Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $Q_{K,H}$	356011 [kWh/year]; 1281,64 [GJ/year]	239355 [kWh/year]; 861,68 [GJ/year]
Annual final energy demand indicator for heating and ventilation EK_H /Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji EK_H	74,19 [kWh/m ² ·year]; 0,2671 [GJ/m ² ·year]	49,88 [kWh/m ² ·year]; 0,1796 [GJ/m ² ·year]
	29,44 [kWh/m ³ ·year]; 0,1060 [GJ/m ³ ·year]	19,79 [kWh/m ³ ·year]; 0,0713 [GJ/m ³ ·year]
Decrease in final energy demand for heating and ventilation $\Delta Q_{K,H}$ /Spadek zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji $\Delta Q_{K,H}$	302848 [kWh/year]	419504 [kWh/year]
	1090,25 [GJ/year]	1510,21 [GJ/year]
	46,0 [%]	63,7 [%]
Reduction in annual final energy demand for heating and ventilation ΔEK_H /Zmniejszenie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji ΔEK_H	63,11 [kWh/m ² ·year]; 25,04 [kWh/m ³ ·year]	87,42 [kWh/m ² ·year]; 34,69 [kWh/m ³ ·year]
	46,0 [%]	63,7 [%]

Table 12. Summary of energy effects and indicators

Tabela 12. Zestawienie efektów i wskaźników energetycznych

Variant designation W _i / Oznaczenie wariantu w _i	Energy savings [GJ/year]/ Oszczędność energii [GJ/r]		Reduction in the building's energy demand for heating and ventilation [%]/ Zmniejszenie zapotrzebowania budynku na energię do ogrzewania i wentylacji [%]	Annual energy demand indicator [kWh/m ² ·year]/ Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię [kWh/m ² ·r]	
	utility for heating and ventilation/użytkowej do ogrzewania i wentylacji	final for heating and ventilation/końcowej do ogrzewania i wentylacji		for heating and ventilation – EU _H /użytkową do ogrzewania i wentylacji – EU _H	final for heating and ventilation – EK _H /końcową do ogrzewania i wentylacji – EK _H
W1	803,51	1090,25	46,0	54,68	74,19
W2 i W3	1113,02	1510,21	63,7	36,76	49,88

Table 13. Summary of costs and cost indicators

Tabela 13. Zestawienie kosztów i wskaźników kosztowych

Designation of variant W _i / Oznaczenie wariantu w _i	Total gross costs of construction works [PLN]/Koszty całkowite brutto robót budowlanych [zł]	Total cost ratio in relation to/Wskaźnik kosztów całkowitych w odniesieniu do		
		m ² of heated building space [PLN/m ²]/ m ² powierzchni ogrzewanej budynku [zł/m ²]	savings per unit of useful energy [PLN/GJ]/jednostki zaoszczędzonej energii użytkowej [zł/GJ]	savings per unit of final energy [PLN/GJ]/jednostki zaoszczędzonej energii końcowej [zł/GJ]
W1	1.413.190	295	1.759	1.296
W2	2.797.440	583	2.513	1.852
W3	2.710.340	565	2.435	1.795

Discussion

Complex energy retrofitting results in economic, environmental, and social benefits [20 ÷ 23]. The proposed scope of envelope insulation reduced heat transfer coefficients just below the thresholds set by the building code. In practice, energy retrofitting ends with thermal insulation and is not combined with the modernization or replacement of the existing ventilation systems. Analysis of our results indicated that effect of insulation would be significant: variant **W1** would offer **46%** reduction in usable and final energy consumption. In variants **W2** and **W3**, involving the replacement of the natural ventilation system with a **mechanical one with heat recovery**, the consumption would drop by **further 17.7%** of the original (pre-modernization) value. This result is complemented by knowledge of issues related to improving the energy efficiency of buildings constructed using the OWT-67 system.

It was also found that as a result of **envelope insulation**, **there reduction in the design heat load of the building (power demand) would be by 29.1% (variant W1)**. Mechanical ventilation system with heat recovery would increase power savings by another **15.9 percentage points compared with the original values**.

As for the particular components of heat losses and gains in the annual energy demand balance of the building, the simulation (Table 9) shows that with a reduction in heat losses due to transmission through building envelopes (improvement in thermal insulation – variant W1) of 945.84 GJ/year (44.5%), no decrease in heat losses due to ventilation, with a constant value of solar and internal heat gains, which at the same time generates a decrease in the heat gain utilization coefficient ($\eta_{H,gn}$), the annual demand ($\eta_{H,gn}$),

Dyskusja wyników obliczeń symulacyjnych

Kompleksowa termomodernizacja przegród budowlanych przynosi korzyści ekonomiczne, środowiskowe i społeczne [20 ÷ 23]. Zaproponowane technologie i materiały izolacyjne pozwoliły na uzyskanie nieco mniejszych współczynników przenikania ciepła od maksymalnych dopuszczalnych danego rodzaju przegrody budowlanej. Usprawnienia techniczne mające na celu poprawę izolacyjności cieplnej przegród ogrzewanej strefy budynku zwykle nie były łączone z modernizacją lub zmianą grawitacyjnego systemu wentylacji. Analiza badań własnych (wykonanych na podstawie obliczeń wg obowiązującego algorytmu stosowanego w [19]), potwierdziła uzyskanie znacznych efektów, tj. **46%** rocznych oszczędności energii użytkowej i końcowej z tytułu zmniejszenia wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych (warianty **W1**). Z kolei w wariantach **W2** i **W3**, obejmujących zastąpienie systemu wentylacji grawitacyjnej systemem **wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej** z odzyskiem ciepła, uzyskano **zmniejszenie zapotrzebowania na energię o dodatkowe 17,7 punktów procentowych**. Taki wynik uzupełnia wiedza z zakresu zagadnień poprawy efektywności energetycznej eksploatowanych budynków wykonanych w systemie OWT-67.

Stwierdzono również, że w wyniku **zaproponowanej termomodernizacji przegród budowlanych nastąpiło zmniejszenie projektowego obciążenia cieplnego budynku** (zapotrzebowanie na moc) **o 29,1% (wariant W1)**. Dodatkowo wykazano, że dzięki zastosowaniu systemu wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z **odzyskiem ciepła poziom oszczędności mocy zwiększył się o kolejne 15,9 punktów procentowych**.

Z analizy otrzymanych w drodze obliczeń symulacyjnych wartości poszczególnych składowych strat i zysków ciepła w bi-

the annual useful energy demand of the building decreased by 803.51 GJ/a (46.0%) compared to the pre-thermal modernization state.

In the case of variants W2 and W3, where the building partitions have the same thermal insulation properties as in variant W1, but changes have been made to the building's ventilation system, the reduction in ventilation losses amounted to 388.7 GJ/year (37.6%). However, in combination with a decrease in heat transfer losses and a simultaneous reduction in the coefficient ($\eta_{H,gn}$), the decrease in the building's annual energy demand in variants W2 and W3 in relation to the pre-renovation state thermal modernization amounted to 1113.02 GJ/year (63.7%). It should be noted that due to the lack of research in operating conditions in this area, the simulation calculations of heat losses due to ventilation assumed an identical ventilation flow rate and the same level of heat recovery from ventilation.

The total cost of modernization works (as rate per unit of heated area) varies greatly from variant to variant, and ranges from PLN 295 to PLN 565 (Table 13). The total cost of construction works per unit of annual usable energy savings is PLN 1,759 – 2,513/GJ, while in relation to final energy it is PLN 1,296 – 1,852/GJ.

Based on the analysis of the results, it was found that the lowest cost indicators are characteristic of option W1, with the smallest scope of activities (thermal modernization of building partitions – improvement of U1), and the highest indicators are characteristic of option W2, which additionally includes the installation of equipment (improvement U2A). It was assumed that for W2 and W3 the volume of ventilation air flow would be the same and that heat recovery efficiency would remain at the same level. As a result, it was noted that the solution using mechanical supply and exhaust ventilation with heat recovery in each room and kitchen in each apartment (variant W3 with improvement U2B) is only 3.1% cheaper than variant W2 containing improvement U2A (central ventilation in each apartment).

The installation of a central ventilation system with heat recovery means that each apartment is equipped with: a central heat recovery unit mounted on the ceiling with the required capacity; a controller, suction and supply distribution boxes, wall ventilation openings for supply and exhaust air, ventilation ducts, and air diffusers corresponding to the size of the apartment. This significantly increases the total cost of the modernization work, as can be seen from a comparison of the unit rates in option W1 with those in option W2 (by approximately 50%), but at the same time it can contribute, for example, to achieving the EnerPHit standard. This means that it is the right direction for the comprehensive thermal modernization of existing buildings and increases the value of the property by reducing its maintenance costs. It should be remembered that the basis for any thermal modernization of a large-panel building should be a thorough analysis of its current technical condition and design documentation containing detailed technical solutions. The scope of construction work determined on this basis can be

lansie rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową (tabela 9) wynika, że przy zmniejszeniu strat ciepła z tytułu przenikania przez przegrody budowlane (poprawa izolacyjności cieplnej – wariant W1) wynoszącej 945,84 GJ/r (44,5%), braku spadku strat ciepła z tytułu wentylacji, przy stałej wartości solarnych i wewnętrznych zysków ciepła, co jednocześnie generuje zmniejszenie współczynnika wykorzystania zysków ciepła ($\eta_{H,gn}$), roczne zapotrzebowanie budynku na energię użytkową zmniejszyło się o 803,51 GJ/r (46,0%) w stosunku do stanu przed termomodernizacją.

W przypadku wariantów W2 i W3, w których przegrody budowlane charakteryzują się izolacyjnością cieplną jak w wariantcie W1, ale nastąpiły zmiany w wentylacji budynku, spadek strat z tytułu wentylacji wyniósł 388,7 GJ/r (37,6%). Natomiast w połączeniu ze spadkiem strat z tytułu przenikania ciepła oraz jednocześnie wygenerowanym zmniejszeniem współczynnika ($\eta_{H,gn}$), spadek rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową w wariantach W2 i W3 w odniesieniu do stanu przed termomodernizacją wyniósł 1113,02 GJ/r (63,7%). Należy zaznaczyć, że z powodu braku badań w warunkach eksploatacyjnych w tym zakresie, w obliczeniach symulacyjnych strat ciepła z tytułu wentylacji założono identyczną wielkość strumienia wentylacyjnego i taki sam poziom odzysku ciepła z wentylacji.

Wskaźnik kosztów całkowitych robót budowlanych w przeliczeniu na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze [m^2] jest bardzo zróżnicowany i wynosi 295 – 565 zł, co zależy od zakresu robót przyporządkowanych do wybranego wariantu (tabela 13). Wskaźnik całkowitych kosztów robót budowlanych w przeliczeniu na jednostkę rocznej oszczędności energii użytkowej wynosi 1759 – 2513 zł/GJ, natomiast w odniesieniu do energii końcowej 1296 – 1 852 zł/GJ.

Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że najmniejszymi wskaźnikami kosztowymi charakteryzuje się wariant W1, o najmniejszym zakresie działań (termomodernizacja przegród budowlanych – usprawnienie U1), a największymi wariant W2 obejmujący dodatkowo wyposażenie każdego mieszkania w indywidualny system centralnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła (usprawnienie U2A). Założono, że nie ulega zmianie wielkość powietrza strumienia wentylacyjnego i sprawność odzysku ciepła jest na tym samym poziomie. W efekcie zauważono, że rozwiązanie z zastosowaniem wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, w każdym pokoju i kuchni danego lokalu mieszkalnego (wariant W3 z usprawnieniem U2B), jest tańsze jedynie o 3,1% od wariantu W2 zawierającego usprawnienie U2A (centralna wentylacja w każdym lokalu mieszkalnym).

Montaż centralnej instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła oznacza, że w każdym mieszkaniu znajdują się: centralny rekuperator podsufitowy o wymaganej wydajności; sterownik; skrzynki rozdzielcze ssawne i nawiewne; ścienna czerpnia i wyrzutnia; przewody wentylacyjne oraz anemostaty odpowiadające wielkości danego mieszkania. Zwiększa to całkowite koszty robót modernizacyjnych, jak wynika z porównania wskaźników jednostkowych w wariantcie W1 ze wskaźni-

carried out in stages, depending on the available financial resources. The scope of construction work determined on this basis can be carried out in stages, depending on the available financial resources. Thermal modernization of a building should be carried out in parallel with the modernization of ventilation and heating systems to increase safety of use. In this case, heating devices will be adapted to the reduced heating demand of the building and individual rooms. The basic principle of any comprehensive thermal modernization is to adapt the heating system in the building to the new demand for heating. The objective of any energy retrofitting initiative should be to bring the heating system into line with the requirements of the Building Code. This includes provision of automatic regulation the circuits to assure the system responds to fluctuations of external and internal environmental conditions. After improving the thermal insulation of building partitions, the property manager should be required to ask the heat supplier to reduce the so-called contracted power.

The result of the analysis was estimating the retrofit cost rate per 1 m² of heated area and per unit of saved energy. The first would be useful in rough estimates of similar projects. The second helps answer the question on the level of costs to achieve the desired energy efficiency. Knowing the energy rates and charges, it will be possible to estimate the financial effect of thermal modernization measures. Although such information is provided by an energy audit, the managers/building owners are reluctant to commission one in the name of ill-defined savings. Not all retrofit projects are planned to use public support: whereas national or EU funds demand that energy audit is prepared to define a rational scope of works, smaller investors tend to decide without analyzing details – and figures provided in this work can help them make more informed decisions.

Conclusions

1. The results of the calculations contribute to filling a research gap concerning the level of energy savings provided by retrofitting large-panel buildings (in particular, the most common OWT-67 system); the retrofit scope under analysis was a combination of measures most typical (envelope insulation) and less common in practice (replacement of ventilation system).

2. Analysis of the calculation results confirmed that the use of mechanical ventilation with heat recovery has a significant impact on reducing the building's heat consumption; this indicates the direction, and even the necessity, to consider measures related to the modernization of ventilation in individual buildings.

3. Additional analysis is required to determine the level of energy savings resulting from replacing doors and windows, the reduction in heat demand for hot water preparation, and the use of a heat pump powered by photovoltaics. This direction of research in the future may help to clarify the necessary measures to be taken to achieve the EnerPHit standard in the building.

kami wariantu W2 (o ok. 50%), ale jednocześnie może przyczynić się np. do uzyskania standardu EnerPHit. Stanowi to właściwy kierunek kompleksowych działań termomodernizacyjnych eksploatowanych budynków i zwiększa wartość nieruchomości, ponieważ obniża koszty jej utrzymania. Pamiętać należy, że podstawą każdej termomodernizacji budynku wielkopłytowego powinna być dogłębna analiza aktualnego stanu technicznego oraz dokumentacji projektowej zawierającej szczegółowe rozwiązania techniczne. Ustalony na tej podstawie zakres robót budowlanych można wykonywać etapami, w zależności od posiadanych środków finansowych. Termomodernizacja budynku powinna być realizowana kompleksowo z modernizacją systemu wentylacyjnego i grzewczego. Wówczas urządzenia grzewcze zostaną dostosowane do obniżonego zapotrzebowania na moc grzewczą budynku i jego poszczególnych pomieszczeń. Podstawową zasadą każdej kompleksowej termomodernizacji jest doprowadzenie systemu ogrzewania w budynku do wymagań Warunków Technicznych m.in. w zakresie automatycznej regulacji hydraulicznej obiegów grzewczych, co gwarantuje możliwość dostosowania pracy systemu grzewczego do zmieniających się warunków środowiska zewnętrznego i wewnętrznego w pomieszczeniach. Po poprawie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych i modernizacji instalacji zarządca nieruchomości powinien obligatoryjnie wystąpić do dostawcy ciepła z wnioskiem o obniżenie wielkości tzw. mocy zamawianej.

Efektem przyjętego zakresu badań było określenie wskaźnika kosztów termomodernizacji w odniesieniu do 1 m² powierzchni budynku o regulowanej temperaturze oraz do jednostki zaoszczędzonej energii. Pierwszy pozwoli wstępnie oszacować koszty inwestycji termomodernizacyjnej w przypadku innych budynków wykonanych w tej technologii. Drugi odpowie na pytanie o poziom kosztów inwestycyjnych, jakie należy ponieść, aby uzyskać odpowiednie efekty energetyczne. Znakając stawki i opłaty za energię, możliwe będzie orientacyjne określenie opłacalności działań termomodernizacyjnych. Mimo, że powszechnie wiadomo, że informacje w tym zakresie zawarte są w audycie energetycznym, to często nie jest on zlecany przez właściciela lub zarządcę w ramach tzw. oszczędności. Podejmowanie działań termomodernizacyjnych w przypadku, gdy spółdzielnia mieszkaniowa nie występuje o dofinansowywanie ze środków krajowych lub UE, nie zawsze jest poprzedzone wykonaniem audytu energetycznego, a zakres badań, obliczeń i wynikających z nich działań, jakie omówiono w artykule, jest pomocnym uzupełnieniem procesu przedprojektowego.

Wnioski

1. Przeprowadzone analizy i zaprezentowane wyniki obliczeń przyczyniły się do uzupełnienia luki badawczej, dotyczącej określenia poziomu oszczędności energii w eksploatowanych budynkach z elementów wielkopłytowych w systemie OWT-67, wynikających z połączenia typowych usprawnień termomodernizacyjnych (poprawa izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych) poszerzonych o zmianę systemu wentylacji pomieszczeń (z grawitacyjnej na mechaniczną), szczególnie w sytuacji braku audytu.

4. Further research on the OWT-67 system should take into account changes in ventilation air flow and the efficiency of specifically selected ventilation devices, which will make it possible to determine their impact on the building's energy performance indicators.

5. It seems reasonable to extend further research to include an analysis of the building's demand for non-renewable primary energy necessary for heating and ventilation. This is one of the components included in the methodology for determining the annual non-renewable primary energy demand index (EP). According to the applicable provisions contained in [13], the EP index is one of the basic criteria that must be met in terms of energy efficiency requirements for newly constructed buildings. It is also one of the parameters of a building's energy performance. It should be noted that the EP value depends, among other things, on the value of the non-renewable primary energy input factor (w_i), which can take very different values depending on the type of heat source, including the district heating system (DHS). Housing cooperatives do not always have an influence on the choice of heat source. This problem has already been noted in many scientific publications.

6. The assessment of thermal modernization measures should take into account in further research the issues of durability of the equipment and materials used in a comprehensively designed thermal modernization process in order to determine the achieved effects.

7. The proposed scope of research on energy efficiency and the adopted procedure can be used to fill the research gap, which is the preliminary determination of projected energy savings, the level of changes in the building's energy indicators of building energy indicators, and the estimation of cost indicators in multi-family buildings in use, in cases where no energy audit of the building is performed. Such a scope of research can also be applied to buildings constructed using other large-panel systems, e.g., W-70 or Wk-70.

Received: 27.10.2025.

Revised: 04.12.2025

Published: 26.01.2026

2. Analiza wyników obliczeń potwierdziła, że zastosowanie nawiewno-wywiewnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła ma istotny wpływ na zmniejszenie zużycia ciepła w eksploatowanym budynku, co wskazuje spółdzielniom mieszkaniowym kierunek, a nawet konieczność rozważenia w poszczególnych budynkach działań związanych z modernizacją wentylacji.

3. Dodatkowych analiz wymaga określenie poziomu oszczędności energii z tytułu wymiany stolarki budowlanej, obniżenie zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody oraz zastosowanie pompy ciepła, której zasilanie jest wspomagane energią z instalacji fotowoltaicznej. Ten kierunek badań w przyszłości może uporządkować określenie koniecznych działań w kierunku uzyskania w budynku standardu EnerPHit.

4. W dalszych badaniach systemu OWT-67 należy uwzględnić zmianę strumienia powietrza wentylacyjnego i sprawności konkretnie dobieranych urządzeń wentylacyjnych, co umożliwi określenie ich wpływu na wskaźniki energetyczne budynku.

5. Wydaje się zasadne, aby dalsze badania rozszerzyć o analizę zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną niezbędną do ogrzewania i wentylacji. Jest to jedna ze składowych wchodząca w metodologię określania wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP). Zgodnie z obowiązującymi zapisami zawartymi w [13] wskaźnik EP jest jednym z podstawowych kryteriów, jakie należy spełnić w zakresie wymagań efektywności energetycznej nowo wznoszonych budynków. Jest to również jeden z parametrów charakterystyki energetycznej budynku. Należy mieć na uwadze, że wartość EP zależy m.in. od wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_p), który może przyjmować bardzo różne wartości w zależności od rodzaju źródła ciepła, w tym miejskiego systemu ciepłowniczego (MSC). Spółdzielnia mieszkaniowa nie zawsze ma wpływ na dobór rodzaju źródła ciepła. Problem ten został zauważony już w wielu publikacjach naukowych.

6. Ocena działań termomodernizacyjnych powinna uwzględniać w dalszych badaniach zagadnienia trwałości urządzeń i materiałów użytych w kompleksowo zaprojektowanym procesie termomodernizacji, w celu wyznaczenia osiąganych efektów.

7. Zaproponowany zakres badań dotyczący efektywności energetycznej i przyjęta procedura mogą być wykorzystane do uzupełnienia luki badawczej, jaką jest wstępne określenie prognozowanej oszczędności energii, poziomu zmian wskaźników energetycznych budynku oraz oszacowania wskaźników kosztowych w eksploatowanych budynkach wielorodzinnych, w przypadku gdy nie jest wykonywany audyt energetyczny budynku. Taki zakres badań można również zastosować w przypadku budynków zrealizowanych w innych systemach wielkopłytowych, np. W-70 czy Wk-70.

*Artykuł wpłynął do redakcji: 27.10.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 04.12.2025 r.
Opublikowano: 26.01.2026 r.*



Literature

- [1] Dmochowska A, Nędzyński K, Guzal J, współpraca z: Ostańska A, Życzynska A, Dyś G, Kowalski G, Zgorzelski B. Raport Polskiej Izby Budownictwa, pt. 10 milionów szans, czyli jak termomodernizować budynki z wielkiej płyty w Polsce. s. 1-60, PIB grudzień 2024. dostęp 3 sierpnia 2025 r.
- [2] Ostańska A, Życzynska A, Dyś G. Analysis of energy effects and costs thermomodernization of operating residential buildings in WBLŻ system. Analiza efektów energetycznych i kosztów termomodernizacji eksploatowanych obiektów mieszkalnych w systemie WBLŻ, s. 31-40. DOI: 10.15199/33.2025.07.05
- [3] Życzynska A, Dyś G. Efekty energetyczne i koszty termomodernizacji przykładowych rozwiązań technicznych dla wybranych budynków wykonanych w technologii wielkopłytowej. Opracowanie wykonane dla Polskiej Izby Budownictwa w Warszawie, sierpień 2024 r., recenzja ekspercka Ostańska A, maszynopis.
- [4] Ustawa Prawo budowlane 2025 z późn.zm. art. 1.
- [5] Ostańska A. Podstawy metodologii tworzenia programów rewitalizacji dużych osiedli mieszkaniowych wzniesionych w technologii przemysłowej na przykładzie osiedla im. St. Moniuszki w Lublinie, Politechnika Lubelska, Monografie Wydziału Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Vol. 1, Wydawnictwa Uczelniane Lublin 2009.
- [6] Szulc J, Runkiewicz L, Geryło R, Możaryn T, Piekarczyk A, Wójtowicz M, Lamenta A, Mazurek A, Sieczkowski J, Strąk A, Warsicka D, Wojnowski D, Zięba W. Informacja dotycząca awarii i katastrof budowlanych w obszarze budownictwa uprzemysłowionego. ITB 2018, opracowanie powstało na podstawie analiz i badań ITB prowadzonych w ramach pracy, pt.: „Ocena bezpieczeństwa i trwałość budynków wykonanych metodami uprzemysłowionymi.”
- [7] Runkiewicz L, Szulc J, Sieczkowski J. Uprzemysłowione budownictwo mieszkaniowe. Dawne i obecne wymagania oraz oczekiwania. Builder 2021/09.
- [8] Praca zbiorowa, Budownictwo wielkopłytowe – Raport o stanie technicznym, <https://budowlaneabc.gov.pl/>.
- [9] Ostańska A. Programowanie rewitalizacji osiedli mieszkaniowych z zastosowaniem modelu PEARS. Lublin: Polska Akademia Nauk, 2018. ISBN 978-83-939534-4-8.
- [10] Dmitruk M. Problemy budownictwa wielkopłytowego z lat siedemdziesiątych XX wieku sposoby ich rozwiązywania na przykładzie działań z Polski i innych krajów europejskich. TEKA Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr., OL PAN 2015/1.
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu (Dz.U. z 9.06.2022 r., poz. 1225 z późn. zm. Dz.U. z 9.11.2023 r., poz. 2442; Dz.U. z 29.03.2024 r., poz. 474; Dz. U. z 14.05.2024 r., poz. 726).
- [12] PN-EN ISO 6946:2008 – Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [13] PN-EN 12831: Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [14] PN-EN 14683:2008 – Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [15] PN-EN ISO 13789:2008 – Ciepłe właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania.
- [16] PN-EN ISO 13790:2009 – Energetyczne właściwości budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [17] PN-83/B-03430/Az3 2000 – Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
- [18] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 18.03.2015 r., poz. 376 z późn. zm.; Dz.U. z 4.01.2017 r., poz. 22; Dz.U. z 25.09.2019 r., poz. 1829; Dz.U. z 13.04.2023 r., poz. 697).
- [19] Specjalistyczne oprogramowanie dedykowane sporządzaniu bilansu energetycznego budynku, tj. programu Audytor OZC 7.0 Pro firmy San-kom Sp. z o.o. z Warszawy.
- [20] Węglarz A, Zaborowski M. Strategia termomodernizacji budynków w Polsce. Materiały Budowlane 2015. DOI: 10.15199/33.2015.01.01.
- [21] Robakiewicz M. Ocena efektów zrealizowanych termomodernizacji, Materiały Budowlane. 2007(1).
- [22] Życzynska A. Analiza zmienności charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku wielorodzinnego. <https://hdl.handle.net/20.500.14629/507> Lublin 2019.