

prof. dr hab. inż. Jerzy Z. Piotrowski<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-8479-1406

prof. dr hab. inż. Anatolij Pavlenko<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0002-8103-2578

dr hab. inż. Łukasz J. Orman, prof. PŚk<sup>3)</sup>

ORCID: 0000-0002-2221-1824

dr inż. Anna Stepien<sup>3)</sup>

ORCID: 0000-0001-7937-8804

mgr inż. Anita Ciosek<sup>3)\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-5315-7058

# Characteristics of thermal modernization works and their impact on residential buildings in the 21st century

## Charakterystyka robót termomodernizacyjnych i ich wpływ na obiekty mieszkalne w XXI wieku

DOI: 10.15199/33.2024.09.11

**Abstract.** The subject of the article was focused on aspects of energy-saving construction, and the main determinant was the heat transfer coefficient  $U$ , which determines the ability of heat energy to pass through building partitions. The scope of the article included conducting research for an existing two-story building before thermal modernization and after thermal modernization works in order to determine the economic and ecological benefits resulting from the works carried out. Thermal modernization works included: insulating external partitions with graphite polystyrene with a thermal conductivity coefficient of  $\lambda = 0.30 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  and a layer thickness of 20 cm, replacing the coal boiler with a dual-function gas boiler with a hot water heater utility water, replacement of cast iron radiators with three-plate steel radiators and a ladder radiator in the bathroom, replacement of wooden double-glazed windows with a heat transfer coefficient  $U_w = 2.60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  with wooden-aluminum windows with a heat transfer coefficient  $U_w = 0.95 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  with a two-chamber glass unit.

**Keywords:** thermal modernization; energy-efficient construction; passive construction.

**Streszczenie.** Tematyka artykułu dotyczy budownictwa energooszczędnego, a głównym wyznacznikiem jest współczynnik przenikania ciepła  $U$ , który określa zdolność przenikania energii cieplnej przez przegrody budowlane. Przeprowadzono badania istniejącego budynku dwukondygnacyjnego przed termomodernizacją oraz po wykonaniu robót termomodernizacyjnych w celu określenia korzyści ekonomicznych i ekologicznych, wynikających z przeprowadzonych robót. Prace termomodernizacyjne obejmowały: docieplenie przegród zewnętrznych styropianem grafitowym o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,30 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  i grubości warstwy 20 cm, wymianę kotła węglowego na kocioł gazowy dwufunkcyjny z podgrzewaczem ciepłej wody użytkowej, wymianę grzejników żeliwnych na grzejniki trójpłytkowe stalowe oraz grzejnik drabinkowy w łazience, wymianę okien drewnianych dwuszybowych o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  na okna drewniano-aluminiowe o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  z dwukomorowym pakietem szyb.

**Słowa kluczowe:** termomodernizacja; budownictwo energooszczędne; budownictwo pasywne.

The 21st century is crucial in terms of searching for solutions that help improve the balance, thermal comfort and optimize heat exchange through building partitions, including glazed facades (passive construction). The subject matter is part of the subject of sustainable construction and optimization of the construction process in terms of technology and construction. The work within this article includes conducting tests of an existing two-story building in Krakow before and after thermal modernization works in order to determine the economic benefits resulting from the works carried out. The current requirements set by the European Union force member states to adapt to the principles of sustainable economy and

Wiek XXI jest kluczowy pod względem poszukiwania rozwiązań sprzyjających poprawie bilansu cieplnego budynku i optymalizacji wymiany ciepła przez przegrody budowlane, w tym fasady oszklone. Wpisuje się to w tematykę budownictwa zrównoważonego i optymalizację procesu budowlanego pod względem technologiczno-konstrukcyjnym. Prace zaprezentowane w artykule obejmują badania istniejącego budynku dwukondygnacyjnego w Krakowie przed termomodernizacją oraz po wykonaniu robót termomodernizacyjnych w celu określenia korzyści ekonomicznych, wynikających z przeprowadzonych robót.

Obecne wymagania stawiane przez Unię Europejską wymagają na krajach członkowskich dostosowanie się do zasad zrównoważonej gospodarki i zrównoważonego budownictwa. Komisja Europejska zakłada, że do 2050 r. Europa będzie pierwszym kontynentem neutralnym klimatycznie, ale nie da się tego osiągnąć bez gwałtownego przyspieszenia termomodernizacji i wprowadzania rozwiązań budownictwa pasywne-

<sup>1)</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki

<sup>2)</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury

<sup>3)</sup> Politechnika Świętokrzyska, Szkoła Doktorska

\*) Correspondence address: aciosek@tukielce.pl

sustainable construction. According to the European Union, over 130 million buildings in Europe are responsible for 40% of energy consumption and 36% of greenhouse gas emissions - according to analysts from the Industry Analysis Center (CAB). The European Commission assumes that by 2050 Europe will be the first climate-neutral continent, but this cannot be achieved without a rapid acceleration of thermal modernization and the introduction of passive construction solutions and modification of existing solutions. As part of the

go oraz modyfikacji już istniejących. W 2020 r. w ramach Europejskiego Zielonego Ładu, Komisja Europejska (KE) przygotowała Falę Renowacji, która ma na celu podwojenie tempa remontów budynków w Europie. Do 2030 r. zaplanowano do renowacji 35 mln budynków. Na rzecz Fali Renowacji, Komisja Europejska opublikowała w 2020 r. strategię, aby poprawić charakterystykę energetyczną budynków. Ponadto KE zamierza zwiększyć wskaźniki renowacji dwukrotnie w ciągu najbliższych 10 lat w celu poprawy charakterystyki energetycz-

## Required parameters for traditional, energy-efficient and passive houses

Wymagane parametry dotyczące domów tradycyjnych, energooszczędnych i pasywnych

Parameters/Parametry	Type of building/Rodzaj budynku		
	traditional (meeting current regulations)/tradycyjny (spełniający wymagania aktualnych przepisów)	energy-saving/energooszczędny	passive/pasywny
Thickness of the insulation layer of external partitions/Grubość warstwy izolacyjnej przegród zewnętrznych	about 12 cm/ok. 12 cm	over 20 cm/ponad 20 cm	over 30 cm/ponad 30 cm
Heat transfer coefficient U of external partitions [W/(m <sup>2</sup> ·K)]/Współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	< 30	< 20 (recommended < 15)/< 20 (zalecana < 15)	< 15 (recommended < 10)/< 15 (zalecana < 10)
Thickness of the insulating layer of the roof or flat roof [cm]/Grubość warstwy izolacyjnej dachu lub stropodachu [cm]	about 16 cm/ok. 16 cm	over 20 cm (recommended 30 cm)/ponad 20 cm (zalecana 30 cm)	over 30 cm (recommended 40 cm)/ponad 30 cm (zalecana 40 cm)
Window location/Usytuowanie okien	any/dowolne	mainly on the south elevation (protection against excessive sunlight in summer should be provided)/głównie na elewacji południowej (należy przewidzieć ochronę przed nadmiernym nasłonecznieniem latem)	the largest glazing should be planned on the south side (protection against excessive sunlight in summer should be provided, glazing on the north elevation should be avoided)/największe przeszklenia trzeba zaplanować na stronie południowej (należy przewidzieć ochronę przed nadmiernym nasłonecznieniem latem, unikać przeszkleń na elewacji północnej)
Heat transfer coefficient U of windows [W/(m <sup>2</sup> ·K)]/Współczynnik przenikania ciepła okien U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	≤ 1,8	≤ 1,2 (recommended 1,1 – 0,8)/≤ 1,2 (zalecane 1,1 – 0,8)	≤ 0,8
Building tightness n <sub>30</sub> [1/h]/Szczelność budynku n <sub>30</sub> [1/h]	not applicable/nie dotyczy	< 1,5	< 1,6
Factor A/V [1/m]/Współczynnik A/V [1/m]	not applicable (the building structure is expanded)/nie dotyczy (bryła budynku rozbudowana)	1,1 – 0,7 (the building's body is compact)/1,1 – 0,7 (bryła budynku zwarta)	minimal (the building's body is compact)/minimalne (bryła budynku zwarta)
Construction of balconies/Konstrukcja balkonów	traditional (slab connected to ceiling)/tradycyjna (płyta połączona ze stropem)	elements enabling continuous insulation of walls or balconies on your own structure/elementy umożliwiające ciągłą izolację ścian lub balkonów na własnej konstrukcji	balconies on their own structure (separated from the external wall)/balkony na własnej konstrukcji (oddzielone od ściany zewnętrznej)
Ventilation system/System wentylacji	natural (gravity)/naturalna (grawitacyjna)	hybrid or mechanical with heat recovery/hybradowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła	mechanical ventilation with heat recovery and ground heat exchanger/wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła i gruntowym wymiennikiem ciepła
Ventilation efficiency η [%]/Sprawność wentylacji η [%]	not applicable/nie dotyczy	≥ 70	≥ 75
Heating system/System ogrzewania	traditional/tradycyjny	low temperature/niskotemperaturowy	supply air heating/dogrzewanie powietrza nawiewnego
Using solar energy/Wykorzystanie energii słonecznej	does not occur/nie występuje	collectors in the domestic hot water system/kolektory w systemie c.w.u.	collectors in the domestic hot water and central heating systems/kolektory w systemie c.w.u. oraz c.o.
Heat demand – heating [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]/Zapotrzebowanie na ciepło – ogrzewanie [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]	90 – 120	< 70	< 15

European Green Deal in 2020, the European Commission prepared the Renovation Wave, which aims to double the pace of building renovation in Europe. By 2030, 35 million buildings are planned to be renovated. According to the Industry Analysis Centre, annual sales of windows in Europe will reach around 200 million windows, which is twice as much as today. In support of the Renovation Wave, the European Commission published a strategy in 2020 to improve the energy performance of buildings. The European Commission intends to increase renovation rates by two times over the next 10 years in order to improve the energy performance of buildings so that renovations contribute to greater energy efficiency and more efficient resource management. According to the European Commission, this will contribute to improving the quality of life of building users, reducing greenhouse gas emissions and increasing the scale of reuse and recycling of materials. The table below lists the required parameters for traditional, energy-efficient and passive houses [1].

## Methodology

The heat transfer coefficient  $U$  determines the ability of heat energy to pass through building partitions. The presented research methods concern insulation materials for structural walls. Other processes that support ecology in the building within the framework of sustainable considerations were external walls, boiler, radiators, window joinery. Below is a graph of the heat transfer coefficient  $U$  for walls over the years.

The annual primary energy demand indicator EP determines the annual demand of a building for non-renewable primary energy. In accordance with applicable standards, from January 2021, this indicator for single-family houses cannot exceed  $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ . This applies to new houses and modernized buildings. Thermal modernization of a building consists in improving the parameters of the building, as a result of which the demand for energy supplied for heating and heating utility water and heating the interior of the building is reduced. Thermal insulation materials for the modernization of the house were selected so that the value of the primary energy demand EP was close to the requirements for a new building. The modernized building is located in Krakow at ul. Górnickiego 41. It is a single-family, detached, two-story house. The usable area of the building is  $158.65 \text{ m}^2$ . The installations inside the building were made in 1997. The construction of the house was completed in 1998. The building was put into use in 2000.

The building's ventilation system – gravity ventilation. The ventilation inlets are located on the ground floor in the boiler room, bathroom, kitchen and on the first floor in the wardrobe, bathroom and utility room. Dimensions of the ventilation duct inlets:  $14 \times 14 \text{ cm}$ . Dimensions of the ventilation ducts are  $14 \times$

nej budynków, aby renowacje przyczyniły się do większej efektywności energetycznej i oszczędniejszego gospodarowania zasobami oraz do poprawy jakości życia użytkowników budynków. Zmniejszy się również emisja gazów cieplarnianych i zwiększy skala ponownego użycia i recyklingu materiałów. W tabeli zestawiono wymagane parametry domów tradycyjnych, energooszczędnych i pasywnych [1].

## Termomodernizacja budynku

Współczynnik przenikania ciepła  $U$  określa zdolność przenikania energii cieplnej przez przegrody budowlane. Przeprowadzone badania dotyczą materiałów dociepleniowych zewnętrznych ścian konstrukcyjnych, a także wymiany kotła, grzejników i stolarki okiennej i ich wpływu na zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania. Przedstawiono współczynnik przenikania ciepła  $U$  ścian zewnętrznych na przestrzeni lat (rysunek 1).

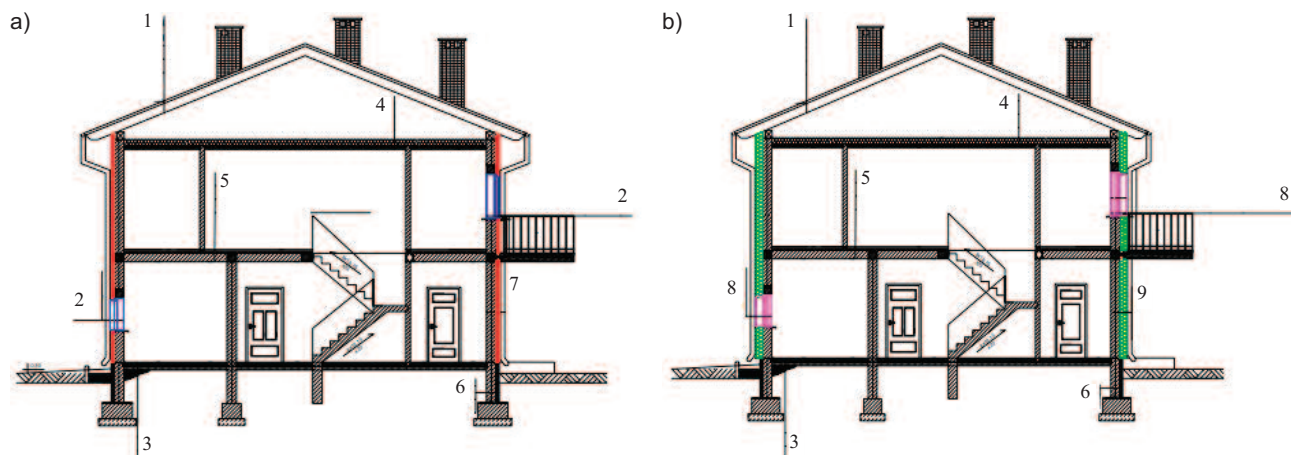
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP określa roczne zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną. Zgodnie z obowiązującymi normami od stycznia 2021 r. wskaźnik ten w przypadku domów jednorodzinnych nie może przekraczać  $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r})$ . Dotyczy to nowych domów oraz budynków modernizowanych. Termomodernizacja budynku polega na poprawie parametrów budynku, w wyniku którego następuje zmniejszenie zapotrzebowania na energię dostarczaną na potrzeby ogrzewania budynku i podgrzewania wody użytkowej.

Materiały termoizolacyjne do modernizacji domu zostały dobrane tak, aby wartość zapotrzebowania na energię pierwotną EP była przybliżona do wymagań dotyczących nowego budynku. Modernizowany budynek znajduje się w Krakowie przy ul. Górnickiego 41 (rysunek 2). Jest to dom jednorodzinny, wolnostojący, dwukondygnacyjny o powierzchni użytkowej  $158,65 \text{ m}^2$  wybudowany w 1998 r. Instalacje wewnątrz budynku wykonane zostały w 1997 r. Budynek oddano do użytkowania w 2000 r. System wentylacji w budynku to wentylacja grawitacyjna. Wloty wentylacyjne zostały zlokalizowane na parterze w kotłowni, łazience, kuchni oraz na piętrze w garderobie, łazience i w pomieszczeniu gospodarczym. Wymiary wlotów do kanałów wentylacyjnych wynoszą  $14 \times 14 \text{ cm}$ , kanałów wentylacyjnych  $14 \times 14 \text{ cm}$ . Kanały zostały wymurowane z cegły klinkierowej. W budynku zainstalowany jest kocioł węglowy o mocy  $20 \text{ kW}$ . Ciepła woda użytkowa jest ogrzewana za pomocą termy elektrycznej. W budynku zamontowane są grzejniki żeliwne. System centralnego ogrzewania wyposażony został w automatyczny zawór równoważący. Przewody centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej są izolowane materiałem izolacyjnym o grubości stanowiącej 50% wymaganej przez Rozporządze-



Fig.1. Changes in the heat transfer coefficient over the years for external walls [1, 2, 3]

Rys. 1. Zmiany współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych na przestrzeni lat [1, 2, 3]



Designations: 1 – carp roof tile on pine battens 6/6 cm spaced 30 cm apart; ventilation gap (counter battens) 3 cm; roofing felt; rafters 6/18 cm spaced 90 cm apart between 18 cm polystyrene; 2 – double-glazed wooden window  $U_w = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; 3 – concrete C16/20, 5 cm; polystyrene 5 cm; polyethylene foil; normal concrete 10 cm; sand bedding 20 cm; 4 – polystyrene 6 cm; roofing felt; gypsum plasterboard 1.2 cm; 5 – cement screed 5 cm; polystyrene boards 5 cm; DZ -3 ceiling; 6 – concrete blocks 25 cm; hot glue; polystyrene foam 7 cm; 7 – foamed cement plaster 2 cm; „Siporex” block 25 cm; polystyrene foam 8 cm; silicon plaster 0.5 cm; 8 – four-pane wooden-aluminium window  $U_w = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; 9 – foamed cement plaster 2 cm; „Siporex” block 25 cm; polystyrene foam 20 cm; silicon plaster 0.5 cm/Oznaczenia: 1 – dachówka karpiówka na łatach sosnowych 6/6 cm w rozstawie co 30 cm; szczelina wentylacyjna (kontrłaty) 3 cm; krokiew 6/18 cm w rozstawie co 90 cm między styropianem 18 cm; 2 – okno drewniane dwuszybowe  $U_w = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; 3 – beton C16/20, 5 cm; styropian 5 cm; folia polietylenowa; beton zwykły 10 cm; podsypka piaskowa 20 cm; 4 – styropian 6 cm; papa; płyta gipsowo-kartonowa 1,2 cm; 5 – wylewka cementowa 5 cm; płyty styropianowe 5 cm; strop DZ-3; 6 – bloczki betonowe 25 cm; papa na lepiku na gorąco; styropian 7 cm; 7 – tynk cementowo-wapienny 2 cm; pustak „Siporex” 25 cm; tynk silikatowy 0,5 cm; 8 – okno drewniano-aluminiowe czteroszybowe  $U_w = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; 9 – tynk cementowo-wapienny 2 cm; pustak „Siporex” 25 cm; styropian 20 cm; tynk silikatowy 0,5 cm

**Fig. 2. Cross-section of the house: a) before thermal modernization; b) after thermal modernization**

Rys. 2. Przekrój domu: a) przed termomodernizacją; b) po termomodernizacji

14 cm. The ducts are made of clinker brick. A 20 kW DEFRO coal-fired boiler is installed in the building. The domestic hot water is heated by an electric water heater. The building is equipped with cast iron radiators. The central heating system is equipped with an automatic balancing valve by Danfoss. The central heating and domestic hot water pipes are insulated with half the thickness of the insulation required by the Act „Regulation of the Minister of Infrastructure of 12 April 2002 on the technical conditions that buildings and their location should meet” [1, 4, 5, 6]. The building is equipped with cast iron radiators.

**Insulation of external partitions.** The building will be insulated using the light wet method. The old external insulation consisting of 8 cm thick polystyrene, a reinforcing layer and adhesive mortar will be removed and replaced with new insulation. The insulating material will be graphite polystyrene with a thermal conductivity coefficient of  $\lambda = 0,30 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  and a layer thickness of 20 cm. Then, a new reinforcing layer with thin-layer silicate plaster with a layer thickness of 5 mm will be made on the insulation.

**Replacing the boiler.** Currently, the building is equipped with a 20 kW DEFRO coal-fired boiler. The central heating pipes are insulated with half the thickness of the insulation required by the Act „Regulation of the Minister of Infrastructure of 12 April 2002 on the technical conditions that buildings and their location should meet” [2, 4, 5, 6]. Hot utility water is prepared using electricity. Hot utility water pipes are also insulated with half the thickness of the insulation required by the Act „Regulation of the Minister of Infrastructure of 12 April 2002 on the technical conditions that buildings and their location should meet” [2, 4, 5, 6]. Considering air pollution, the best solution will be to use a low-emission boiler. Due to the extensive gas network in Kraków, which is shown on a fragment of the city map in Figure 4 [28] showing the layout

nie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2, 4, 5, 6].

**Docieplenie przegród zewnętrznych.** Budynek zostanie ocieplony metodą lekką mokrą. Stara izolacja zewnętrzna składająca się ze styropianu grubości 8 cm, warstwy zbrojącej oraz zaprawy klejowej zostanie usunięta, a na jej miejsce ułożona nowa (rysunek 2). Materiałem izolacyjnym będzie styropian grafitowy o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,30 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  i grubości warstwy 20 cm. Następnie na izolacji wykonana zostanie nowa warstwa zbrojąca z cienkowarstwowym tynkiem silikatowym o grubości 5 mm.

**Wymiana kotła.** Obecnie budynek wyposażony jest w kocioł węglowy o mocy 20 kW. Przewody centralnego ogrzewania mają izolację o połowę cieńszą od wymaganej przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2, 4, 5, 6]. Ciepła woda użytkowa jest przygotowywana za pomocą energii elektrycznej. Przewody ciepłej wody użytkowej są również ocieplone izolacją o grubości 50% wymaganej przez Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych [2, 4, 5, 6]. Biorąc pod uwagę zanieczyszczenie powietrza, najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie kotła niskoemisyjnego. Ze względu na rozbudowaną sieć gazową w Krakowie, co przedstawia fragment mapy miasta na rysunku 3 [7], obrazujący rzut ul. Górnickiego oraz sąsiednich ulic, najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie kotła gazowego.

W przeciwieństwie do kotłów na paliwa stałe, kotły gazowe produkują sześćdziesięciokrotnie mniej gazowych zanieczyszczeń organicznych, a także 30 razy mniej pyłów [8, 9]. Najkorzystniejsze będzie zastosowanie kotła dwufunkcyjnego z podgrzewaczem ciepłej wody użytkowej, który sprawdzi się nawet

of the entire Górnickiego Street and the layout of the neighbouring streets, the best solution will be to use a gas boiler.

Unlike solid fuel boilers, gas boilers produce sixty times less gaseous organic pollutants and 30 times less dust [8, 9]. The most beneficial solution is to use a dual-function boiler with a domestic hot water heater, which will work well in a larger house with many water intake points. The device takes up a bit more space because the domestic hot water tank stores 150 liters of water, so the waiting time for it is short. If the rooms with access to water are far apart, it is possible to use a hot water circulation system to quickly heat it [10].

The water pressure and the air-flue gas system are controlled by the automation system. It informs the investor about incorrect operation of the device and about any failures. During a longer absence on frosty days, the user can turn on the installation's frost protection without having to heat the house. When the water temperature reaches 5°C, the burner will turn on, and at 30°C it will turn off automatically.

**Selection of gas boiler power according to PN-EN 12831 "Method of calculating the design heat load" [11]:**

- building volume:  $V = 424.85 \text{ m}^3$ ;
- averaged heat transfer coefficient: **assumed medium insulated building  $G = 0.90$** ;
- building located in climate zone III of Poland: **Zone III = -20°C**;
- temperature inside the building:  $T_w = 20^\circ\text{C}$ ;
- temperature outside the building:  $T_z = -20^\circ\text{C}$ ;
- building thermal power demand:  $Q = V \cdot G \cdot (T_w - T_z)$  [W];  $Q = 424.85 \cdot 0.90 \cdot (20 - (-20)) = 15294.6 \text{ W} = 15.29 \text{ kW}$ .

In the existing building, a De Dietrich MCR3 Plus 24T + SR 150W dual-function gas boiler with a domestic hot water heater will be installed. The power of this boiler ranges from 6.1 to 24.8 kW [14]. The seasonal energy efficiency of space heating is about 94% [14]. The energy efficiency of water heating is 82% [14]. A central domestic hot water heater – capacitive type SR 150W 150 l.

**Replacing radiators.** The building is equipped with cast iron radiators, which do not emit enough heat to properly heat individual rooms. When choosing radiators, attention should be paid to their power corresponding to the heat demand in the rooms and to the material they are made of, which will determine the method of heat transfer by the radiator in the future. The best solution is to use three-plate steel radiators due to the large amount of heat transferred to the room. The greater the



Fig. 3. Fragment of the map of the city of Kraków showing the projection of the entire Górnickiego Street and the projection of neighboring streets [12]

Rys. 3. Fragment mapy Krakowa obrazujący rzut całej ul. Górnickiego oraz sąsiednich ulic [12]

w większym domu z wieloma punktami poboru wody. Zbiornik na ciepłą wodę użytkową magazynuje 150 litrów wody, a zatem czas oczekiwania na nią jest krótki. W przypadku, gdy pomieszczenia, w których jest dostęp do wody, są od siebie w dużym stopniu oddalone, to istnieje możli-

wość zastosowania układu cyrkulacji ciepłej wody w celu szybkiego jej nagrzania [10].

Ciśnienie wody oraz układ powietrzno-spalinowy jest kontrolowany przez układ automatyki. Informuje on inwestora o nieprawidłowym działaniu urządzenia oraz o wszelkich awariach. Podczas długiej nieobecności w mroźne dni użytkownik ma możliwość włączenia ochrony instalacji przed zamarzaniem bez konieczności ogrzewania domu. W przypadku, gdy temperatura wody osiągnie 5°C, to palnik włączy się, a przy 30°C wyłączy automatycznie. Na rysunku 4 przedstawiono rodzaje źródeł ciepła stosowanych w sezonie grzewczym 2022/2023 w obszarach miejskim oraz wiejskim.

**Dobór mocy kotła gazowego wg PN-EN 12831 Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego** przeprowadzono z uwzględnieniem następujących parametrów [11]:

- kubatura budynku:  $V = 424,85 \text{ m}^3$ ;
- uśredniony współczynnik przenikania ciepła: **budynek średnio zaizolowany  $G = 0,90$** ;
- budynek zlokalizowany w III strefie klimatycznej Polski: **Strefa III = -20°C**;
- temperatura wewnątrz budynku:  $T_w = 20^\circ\text{C}$ ;
- temperatura na zewnątrz budynku:  $T_z = -20^\circ\text{C}$ ;
- zapotrzebowanie na moc cieplną budynku:  $Q = V \cdot G \cdot (T_w - T_z)$  [W];  $Q = 424,85 \cdot 0,90 \cdot (20 - (-20)) = 15294,6 \text{ W} = 15,29 \text{ kW}$ .

W istniejącym budynku zostanie zamontowany dwufunkcyjny kocioł gazowy o mocy 6,1 – 24,8 kW z podgrzewaczem ciepłej wody użytkowej [14]. Sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń wynosi ok. 94% [14], a efektywność energetyczna podgrzewania wody 82% [14].

**Wymiana grzejników.** Budynek wyposażony jest w grzejniki żeliwne, które nie oddają wystarczająco dużo ciepła, aby ogrzać odpowiednio poszczególne pomieszczenia. Przy wyborze grzejników należy zwrócić uwagę na ich moc odpowiednią do zapotrzebowania na ciepło w pomieszczeniach oraz na materiał, z jakiego są wykonane, co w przyszłości zdecyduje o sposobie przekazywania ciepła przez grzejnik. Najlepszym rozwiązaniem jest

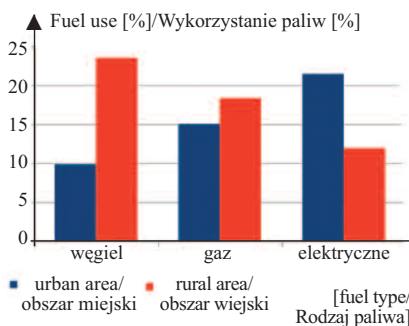


Fig. 4. Types of heat sources used in the 2022/2023 heating season [13]

Rys. 4. Rodzaje źródeł ciepła stosowanych w sezonie grzewczym 2022/2023 [13]

number of radiator plates, the higher the thermal comfort. Their advantage is a small water capacity and a better ratio of thermal power to size. Thanks to ribbed convection, heat exchange will increase by about 60%. They are characterized by high power, easy to keep clean and low purchase cost. Two-plate radiators emit less heat. This is because the heat is reflected by the first plate and does not reach the room, which means that the efficiency of the second plate is about 30% lower than the first [14]. In the bathroom, the best solution will be a ladder radiator, which takes up little space. They are powder coated, which is a result of resistance to increased humidity. Thanks to their construction, you can easily dry towels on them. Towel rail radiators are equipped with electric heaters, so you can use them all year round.

**Replacement of door and window joinery.** Wooden-aluminium windows have all the positive features of wooden windows, but they are not labor-intensive in terms of maintenance. Wooden-aluminium windows are more durable than wooden windows, which is why you have to spend a much larger amount of money on them. They will work best in a modernized building due to the low heat transfer coefficient  $U_w = 0.90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . The best way to improve the thermal insulation of wooden-aluminium windows is to use windows with an additional fourth pane. An aluminum frame with an additional pane is mounted on the outside. A solar-controlled blind is located between the fourth external pane and the three-pane package. Wooden-aluminium windows are glazed with two- or three-chamber packages. An additional thermal insulation layer and additional seals contribute to achieving a low heat transfer coefficient. A window with a two-chamber glazing unit allows to achieve a heat transfer coefficient of  $U_w = 0.90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  required for residential construction. The use of window sashes with a three-chamber glazing unit significantly affects the thermal insulation of wooden-aluminium windows. The heat transfer coefficient that they can achieve is  $U_w = 0.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , which makes it possible to use such window sashes in passive houses. In the case of using windows with a profile thickness of 90 mm with a two- or three-chamber glazing unit, the heat transfer coefficient  $U_w$  can drop below  $0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Aluminium overlays are highly resistant to atmospheric factors. They are protected using an electrochemical method, which involves the formation of an oxide layer of high hardness and high resistance to corrosion. During anodising, aluminium can retain its natural colour, or change its colour to olive, black, brown or resembling the appearance of stainless steel. Greater colour can be obtained by using a more expensive powder coating technology, for which polyester paints are used. Using this method, it is possible to obtain a smooth, metalized, aged surface, a fine or coarse structure effect, and wood-like patterns. [15 ÷ 19]

Advantages of wooden-aluminium windows [20]:

- very good parameters in terms of sound insulation and energy saving,
- profile stability due to the use of aluminium elements,
- possibility of obtaining various shapes,
- resistance to atmospheric factors.

zastosowanie **stalowych grzejników trzy płytowych** ze względu na dużą ilość ciepła przekazywanego do pomieszczenia. Im większa jest liczba płyt grzejnikowych, tym wyższy komfort cieplny. Zaletą ich jest mała pojemność wodna. Dzięki ożebrowanej konstrukcji zwiększy się wymiana ciepła o ok. 60%. Charakteryzują się dużą mocą, łatwością w utrzymaniu czystości oraz niskim kosztem zakupu. Grzejniki dwupłytowe przekazują mniejszą ilość ciepła od trzy płytowych. Dzieje się tak, ponieważ ciepło jest odbijane przez pierwszą płytę i nie trafia do pomieszczenia, co powoduje, że wydajność drugiej płyty jest ok. 30% mniejsza niż pierwszej [14].

Najlepszym rozwiązaniem w łazience będą **grzejniki drabinkowe**, które zajmują mało miejsca. Są lakierowane proszkowo, co zapewnia odporność na podwyższoną wilgotność. Grzejniki drabinkowe są wyposażone w elektryczne grzałki, dzięki czemu można z nich korzystać przez cały rok.

**Wymiana stolarki drzwiowej i okiennej.** Okna drewniano-aluminiowe są trwalsze od okien drewnianych. Najlepszym sposobem poprawy izolacyjności cieplnej okien drewniano-aluminiowych jest zastosowanie okien z dodatkową czwartą szybą. Po stronie zewnętrznej zamocowana jest rama z aluminium z dodatkową szybą. Pomiędzy czwartą zewnętrzną szybą a pakietem trzech szyb znajduje się żaluzja solarnie sterowana. Okna drewniano-aluminiowe szkli się dwu- lub trzykomorowymi pakietami. Uzupełniająca warstwa termoizolacyjna i dodatkowe uszczelki przyczyniają się do osiągnięcia niskiego współczynnika przenikania ciepła. Okno z dwukomorowym pakietem szyb ma współczynnik przenikania ciepła  $U_w = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , wymagany w budownictwie mieszkaniowym. Zastosowanie skrzydeł okiennych z trzykomorowym pakietem szyb wpływa znacznie na termoizolacyjność okien drewniano-aluminiowych. Współczynnik przenikania ciepła, jaki mogą osiągnąć, wynosi  $U_w = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , co powoduje możliwość stosowania takich skrzydeł okiennych w domach pasywnych. W przypadku zastosowania okien o grubości profilu 90 mm z dwu- lub trzykomorowym pakietem szyb współczynnik przenikania ciepła  $U_w$  może być mniejszy niż  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Nakładki aluminiowe mają dużą odporność na działanie czynników atmosferycznych. Zabezpiecza się je za pomocą metody elektrochemicznej, polegającej na tworzeniu warstwy tlenku o wysokiej twardości i dużej odporności na korozję. Aluminium podczas anodowania może zachować swój naturalny kolor lub zmienić barwę na oliwkową, czarną, brązową czy przypominającą wygląd stali nierdzewnej. Więcej kolorów można uzyskać przez zastosowanie technologii malowania proszkowego, do czego wykorzystywane są farby poliestrowe. Za pomocą tej metody jest możliwość uzyskania powierzchni gładkiej, metalizowanej, postarzanej, efektu drobnej lub grubej struktury oraz wzorów drewnopodobnych [15 ÷ 19].

Zalety okien drewniano-aluminiowych [20]:

- bardzo dobre parametry pod względem dźwiękoszczelności i energooszczędności;
- stabilność profili przez zastosowanie elementów aluminiowych;
- możliwość uzyskania różnych kształtów;
- odporność na czynniki atmosferyczne.

The disadvantages of wooden-aluminium windows include [20]:

- no possibility of repair in case of scratches,
- dents high purchase cost.

In the existing building, double-glazed wooden windows with a heat transfer coefficient of  $U_w = 2.60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  are installed.

The currently required heat transfer coefficient of the joinery is  $U_w = 0.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . The lower the coefficient, the better the window parameters.

Due to the technical parameters, wooden-aluminium windows with a heat transfer coefficient of  $U_w = 0.90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  with a two-chamber glass package will be installed in the modernized house. Heat losses will then be much smaller, and consequently the demand for primary energy EP will decrease. Figure no. 5 [21] presents changes in the heat transfer coefficient for windows and doors over the years 1991 – 2024.

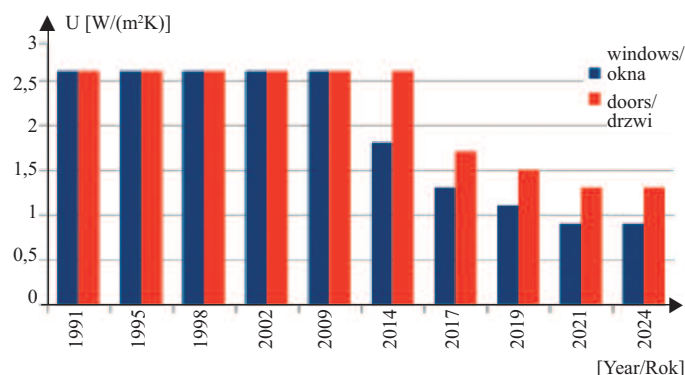


Fig. 5. Changes in the heat transfer coefficient for windows and doors in the years 1991 – 2024 [21]

Rys. 5. Zmiana współczynnika przenikania ciepła okien i drzwi w latach 1991 – 2024 [21]

## Results and conclusions

The scope of the article included conducting tests of an existing two-storey building in Krakow before thermal modernization and after thermal modernization works in order to determine the economic benefits resulting from the works carried out. The tests included two energy performance certificates before thermal modernization and after thermal modernization works [22 ÷ 29]. Energy performance certificates were prepared in the CERTO program. Thermal modernization works included: insulation of external partitions with graphite polystyrene with a thermal conductivity coefficient of  $\lambda = 0.30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  and a layer thickness of 20 cm, replacement of the coal-fired boiler with a De Dietrich MCR3 Plus 24T + SR 150W dual-function gas boiler with a domestic hot water heater, replacement of cast iron radiators with triple-pane steel radiators and a towel rail radiator in the bathroom, replacement of double-glazed wooden windows with a heat transfer coefficient of  $U_w = 2.60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  with wooden-aluminium windows with a heat transfer coefficient of  $U_w = 0.95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  with a two-chamber glass unit. Before the modernization, the following results were obtained from the conducted tests:

■ annual demand index for useful energy  $EU = 114.50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ ,

■ annual demand index for final energy  $EK = 201.50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ ,

■ annual demand index for primary energy  $EP = 224.90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ .

After the thermal modernization works, the following results were obtained from the conducted tests:

• annual demand index for useful energy  $EU = 73.85 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{year})$ ,

Do wad okien drewniano-aluminiowych zalicza się [20]:

- brak możliwości naprawy w przypadku zarysowań lub wgnieceń;

- wysoki koszt zakupu.

W istniejącym budynku zamontowane są okna drewniane dwuszybowe o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Obecnie wymagany współczynnik przenikania ciepła stolarki wynosi  $U_w = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Ze względu na parametry techniczne, w modernizowanym domu zostaną zamontowane okna

drewniano-aluminiowe o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  z dwukomorowym pakietem szyb. Straty ciepła będą wtedy dużo mniejsze, a co za tym idzie zapotrzebowanie na energię pierwotną EP zmniejszy się. Na rysunku 5 [21] przedstawiono zmianę współczynnika przenikania ciepła okien i drzwi na przestrzeni lat 1991 – 2024.

## Wyniki i wnioski

Zakres artykułu obejmował przeprowadzenie badań istniejącego budynku dwukondygnacyjnego w Krakowie przed termomodernizacją oraz po wykonaniu robót termomodernizacyjnych w celu określenia korzyści ekonomicznych, wynikających z przeprowadzonych robót. Badania obejmowały dwa świadectwa charakterystyki energetycznej przed termomodernizacją oraz po wykonaniu robót termomodernizacyjnych [22 ÷ 29]. Świadectwa te zostały wykonane w programie CERTO.

Prace termomodernizacyjne obejmowały: docieplenie przegród zewnętrznych styropianem grafitowym o współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  i grubości warstwy 20 cm; wymianę kotła węglowego na kocioł gazowy dwufunkcyjny z podgrzewaczem ciepłej wody użytkowej; wymianę grzejników żeliwnych na grzejniki trójplytowe stalowe oraz grzejnik drabinkowy w łazience; wymianę okien drewnianych dwuszybowych o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  na okna drewniano-aluminiowe z dwukomorowym pakietem szyb, o współczynniku przenikania ciepła  $U_w = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Przed przystąpieniem do termomodernizacji przeprowadzono badania, z których wynika, że:

■ wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową  $EU = 114,50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r})$ ;

■ wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową  $EK = 201,50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r})$ ;

■ wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną  $EP = 224,90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r})$ .

Po wykonaniu prac termomodernizacyjnych, na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- annual demand index for final energy EK = 105.97 kWh/(m<sup>2</sup>•year),

- annual demand index for primary energy EP = 119.82 kWh/(m<sup>2</sup>•year).

Thermal modernisation of single-family homes significantly improves the energy efficiency of buildings, which leads to lower heating and cooling costs. Investments in thermal modernisation lead to significant savings in energy bills, which can pay off within a few years. Modernisation of insulation and ventilation improves the comfort of residents by eliminating moisture problems inside the building. Increased energy efficiency contributes to the reduction of greenhouse gas emissions, which has a positive impact on the environment. Subsidy and credit programmes supporting thermal modernisation are key to encouraging homeowners to take action in this area. In the case of thermal modernisation, there is no one-size-fits-all solution – each situation requires an individual approach, taking into account the type of building, its location and local conditions. Increasing awareness of the benefits of thermal modernisation is key to encouraging more people to invest in the modernisation of their homes. Coordination of activities at the local and national level in the field of energy policy, urban planning and spatial planning is important for the effective implementation of thermal modernisation projects. To sum up, thermal modernisation of single-family houses brings numerous benefits, and its promotion should be an integral part of actions for sustainable development and environmental protection.

Received: 10.06.2024 r.  
Revised: 28.06.2024 r.  
Published: 23.09.2024 r.

- wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU = 73,85 kWh/(m<sup>2</sup>•r);

- wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK = 105,97 kWh/(m<sup>2</sup>•r);

- wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP = 119,82 kWh/(m<sup>2</sup>•r).

Termomodernizacja znacznie poprawia efektywność energetyczną budynków, co prowadzi do obniżenia kosztów ogrzewania i chłodzenia oraz poprawy komfortu życia mieszkańców. Zwiększona efektywność energetyczna przyczynia się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, co ma pozytywny wpływ na środowisko naturalne. Programy dotacyjne i kredytowe, wspierające termomodernizację oraz zwiększenie świadomości na temat korzyści płynących z termomodernizacji są kluczowe w zachęcaniu właścicieli domów do takiej inwestycji.

W przypadku termomodernizacji nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania. Każda sytuacja wymaga indywidualnego podejścia, uwzględniającego typ budynku, jego lokalizację oraz warunki lokalne. Termomodernizacja niesie ze sobą liczne korzyści, a jej promowanie powinno być integralną częścią działań na rzecz zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.

Wpłynął do redakcji: 10.06.2024 r.  
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 28.06.2024 r.  
Opublikowano: 23.09.2024 r.

## Literature

- [1] R1] <https://www.izolacje.com.pl/artikul/prawo-ekonomia-rynek/161882.jak-projektowac-siany-zewnetrzne-w-budynku-pasywnym#galimage-1> 08.05.2024 r.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Stan prawny na dzień 1 stycznia 2021 r.
- [3] Moschetti R, Brattebø H. Combining Life Cycle Environmental and Economic Assessments in Building Energy Renovation Projects *Energies*. 2017; 10(11): 1851.
- [4] Ustawa z 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów.
- [5] Dz.U. Poz. 1498 z 7 lipca 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o charakterystyce energetycznej budynków.
- [6] Ustawa z 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków.
- [7] <https://heatdecor.com/08.05.2024.r>
- [8] Cao Y, Yang J, Li J. Energy-Saving Research on Residential Gas Heating System in Cold Area Based on System Dynamics. *Int. J. Heat Technol.* 2020; 38.
- [9] Ulewicz M, Zhelykh V, Furdas Y, Kozak K. Assessment of the Economic Feasibility of Using Alternative Energy Sources in Ukraine. In *Proceedings of the EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*; Springer: Cham, Switzerland, 2021.
- [10] Bøhm B. Production and Distribution of Domestic Hot Water in Selected Danish Apartment Buildings and Institutions. *Analysis of Consumption, Energy Efficiency and the Significance for Energy Design Requirements of Buildings*. *Energy Convers. Manag.* 2013, 67
- [11] Norma PN-EN 12831 Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [12] [Geportal.gov.pl 27.07.2024 r.](https://geportal.gov.pl/27.07.2024.r)
- [13] <https://heatdecor.com/08.05.2024.r>
- [14] Witulska A, Trusewicz E, Laskowski P. 17 pytań o koszty budowy domu. *Czasopismo Murator*. Luty 2018.
- [15] Moutzakis A, Zoras S, Evagelopoulos V, Dimoudi A. Experimental Investigation of Thermal Bridges and Heat Transfer through Window Frame Elements at Achieving Energy Saving Energies. 2022; 15(14), 5055.
- [16] Inanici MN, Demirbilek FN. Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey. *Build. Environ.* 2000; 35: 41 – 52.
- [17] Persson ML, Roos A, Wall M. Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy Build.* 2006; 38: 181 – 188.
- [18] Skarving GCJ, Hviid CA, Svendsen S. Roadmap for improving roof and façade windows in nearly zero-energy houses in Europe. *Energy Build.* 2016; 116: 602 – 613.
- [19] Biserni C, Valdiserri P, D’Orazio D, Garai M. Energy Retrofitting Strategies and Economic Assessments: The Case Study of a Residential Complex Using Utility Bills Energies. 2018; 11(8): 2055.
- [20] Klimczak W. Okna drewniano-aluminiowe. *Czasopismo Murator*. Luty 2018.
- [21] <https://termomodernizacja.pl/08.05.2024.r>
- [22] Dz. U. Poz. 1498 z 7 lipca 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o charakterystyce energetycznej budynków.
- [23] Ustawa z 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków.
- [24] PN-B-03430: 1983 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
- [25] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe.
- [26] PN-B-02020:1991 Ochrona cieplna budynków – Wymagania i obliczenia.
- [27] PN-EN ISO 6946: 2008 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczeniowa.
- [28] PN-EN ISO 10077-1: 2007 Ciepłe właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – Obliczenie współczynnika przenikania ciepła – Część 1: Postanowienia ogólne.
- [29] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.