

prof. dr hab. inż. Edyta Plebankiewicz^{1*)}

ORCID: 0000-0003-0892-5027

dr inż. Patrycja Karcińska¹⁾

ORCID: 0000-0002-2217-5587

mgr inż. Jakub Grącki¹⁾

ORCID: 0000-0002-5236-5584

Costs of implementing the assumptions of a long-term building renovation strategy

Koszty wdrożenia założeń długoterminowej strategii renowacji budynków

DOI: 10.15199/33.2025.10.17

Abstract. The aim of the article is to analyze the costs of implementing the assumptions of a long-term building renovation strategy in Poland based on two representative buildings that will require thermal modernization works to meet future energy boundary conditions. The analysis included two multi-family residential buildings made using large-panel technology, erected in the 70s and 80s of the last century. In both cases, consistent design assumptions were adopted, and then the non-renewable primary energy demand (EP) indicator was calculated, which for a four-story building was 215 kWh/(m²·year), while for a ten-story building it was 271 kWh/(m²·year). The use of mechanical ventilation with heat recovery is a cheaper option than a heat pump or photovoltaic panels, and at the same time allows for a significant improvement in the EP value, guaranteeing savings on heating bills of up to 30 – 40%. The unit costs of renovation were also analyzed in the critical periods of 2027, 2035, 2045 and 2050. The article also provides three examples of effective thermal modernization of historic buildings.

Keywords: long-term renovation strategies; energy efficiency; climate neutrality.

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę kosztów wdrożenia założeń długoterminowej strategii renowacji budynków w Polsce na podstawie dwóch wielorodzinnych budynków mieszkalnych wykonanych w technologii wielkopłytywowej, wzniesionych w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku, które będą wymagały przeprowadzenia prac termomodernizacyjnych, aby spełnić przyszłe graniczne warunki energetyczne. W obu przypadkach przyjęto spójne założenia projektowe, a następnie przeprowadzono obliczenia wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP), który w przypadku budynku czteropiętrowego wyniósł 215 kWh/(m²·rok), natomiast dziesięciopiętrowego 271 kWh/(m²·rok). Zastosowanie wentylacji mechanicznej z rekuperacją jest tańszą opcją niż pompa ciepła oraz panele fotowoltaiczne, a jednocześnie pozwala na zdecydowaną poprawę wartości EP, gwarantując oszczędności na rachunkach za ogrzewanie nawet do 30 – 40%. Przeanalizowano również koszty jednostkowe przeprowadzenia renowacji w latach 2027, 2035, 2045 i 2050. W artykule podano również trzy przykłady efektywnych termomodernizacji obiektów zabytkowych.

Słowa kluczowe: długoterminowe strategie renowacji; efektywność energetyczna; neutralność klimatyczna.

One of the key elements in achieving the European Union's (EU) decarbonization targets is the energy renovation of buildings [1]. Recognizing the significance of this challenge, the European Commission has implemented numerous initiatives aimed at improving the energy performance of buildings across Member States. In accordance with the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), all EU Member States have established independent systems for energy performance certification, supported by control and verification mechanisms. However, current assessment and certification practices across the EU face multiple challenges. The revised Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings [2] has significant potential to enhance energy efficiency within the building sector, including through actions designed to accelerate the rate of building renovation.

Jednym z kluczowych elementów osiągnięcia celów dekarbonizacji Unii Europejskiej (UE) jest renowacja energetyczna budynków [1]. Z tego powodu, Komisja Europejska wdrożyła liczne inicjatywy mające na celu poprawę efektywności energetycznej budynków w państwach członkowskich UE. Zgodnie z Dyrektywą w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD), wszystkie państwa członkowskie UE ustanowiły niezależne systemy certyfikacji charakterystyki energetycznej, wspierane przez niezależne mechanizmy kontroli i weryfikacji. Obecne praktyki i narzędzia oceny oraz certyfikacji efektywności energetycznej w całej UE napotykają jednak liczne wyzwania. Zmieniona Dyrektywa (UE) 2024/1275 Parlamentu Europejskiego i Rady z 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [2] ma na celu zwiększenie efektywności energetycznej budynków w UE, w tym przez działania mające na celu przyspieszenie tempa ich renowacji.

W obliczu pojawiających się wyzwań, zwiększa się zainteresowanie dekarbonizacją i poprawą efektywności energetycznej budynków w UE. W literaturze można znaleźć różne modele renowacji [3, 4]. Jednym z projektów promujących koncepcję renowacji budynków jest ALDREN (*ALliance for De-*

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

^{*)} Correspondence address: edyta.plebankiewicz@pk.edu.pl

In light of emerging challenges, there is a growing interest in both decarbonization and energy efficiency improvements in the European building stock. The literature presents various renovation models [3, 4]. One initiative promoting the concept of deep renovation is the ALDREN project (Alliance for Deep Renovation in Buildings Implementing the European Common Voluntary Certification Scheme). The authors describe it as a European Common Voluntary Certification Scheme aimed at promoting deep renovations towards the nearly zero-energy building (NZEB) standard for existing buildings. This protocol is currently being implemented in 15 demonstration buildings located in five European countries: France, Italy, Spain, Slovakia, and the United Kingdom [5].

Improving energy efficiency and increasing the share of energy-efficient buildings across EU Member States are inseparable from well-planned building maintenance strategies. Numerous researchers have addressed maintenance-related issues, focusing on topics such as maintenance prioritization methods [6], corrective actions in facility management [7], decision-making guidance for maintenance planning [8], procedures and success factors in maintenance management [9], as well as the development of advanced models applied in building maintenance processes, including multi-criteria decision-making models proposed in [10], and cost estimation models for building maintenance [11]. The study in [12] highlights the necessity of sustainable maintenance strategies due to significant challenges associated with the upkeep of heritage buildings, such as infrequent maintenance, limited repairs, and insufficient funding.

The EU, recognizing that energy-efficient building stock is essential to achieving decarbonization targets and improving quality of life, has established a legal framework encompassing both the Energy Performance of Buildings Directive and the Energy Efficiency Directive. Since 2014, all EU Member States have been obliged to develop a Long-Term Renovation Strategy (LTRS) every three years. These strategies are intended to support the transformation of national building stocks into highly energy-efficient and decarbonized ones by 2050, thereby contributing to the implementation of the objectives outlined in national energy and climate plans [13].

The evaluation of EU Member States' strategies for implementing the requirements of these directives — including the planning and execution of Long-Term Renovation Strategies — has been the subject of several studies [14 – 18]. Despite the recognition of the importance of developing and implementing LTRs, the existing literature still lacks precise definitions, indicators, and conceptual frameworks that would facilitate their formulation and practical application by EU Member States. General guidelines indicate that renovation plans must include at least: an overview of the national building stock by building type; a roadmap with national targets for 2030, 2040, and 2050 (including progress indicators); an overview of planned policies and measures, and; a summary of investment needs and financing sources.

ep RENovation in buildings Implementing the European Common Voluntary Certification Scheme). Autorzy opisują go jako Europejski Wspólny Dobrowolny System Certyfikacji, mający na celu promowanie głębokiej renowacji w celu uzyskania budynków istniejących o niemal zerowym zużyciu energii (NZEB). Protokół ten jest obecnie stosowany w piętnastu budynkach demonstracyjnych w pięciu krajach europejskich, a mianowicie we Francji, Włoszech, Hiszpanii, Słowacji i Wielkiej Brytanii [5].

Poprawa efektywności energetycznej oraz zwiększenie udziału budynków energooszczędnych w państwach członkowskich UE są nierozdzielnie związane ze strategiami utrzymania, które muszą być odpowiednio zaplanowane. Wielu naukowców podejmowało tematykę utrzymania budynków, koncentrując się m.in. na metodach priorytetyzacji utrzymania [6], działaniach naprawczych w zarządzaniu utrzymaniem budynków [7], dostarczaniu wytycznych dotyczących podejmowania decyzji w zakresie utrzymania [8], procedurach i czynnikach wpływających na sukces utrzymania [9] oraz wdrażaniu rozbudowanych modeli wykorzystywanych w procesach utrzymania budynków, takich jak model wielokryterialnego podejmowania decyzji opracowany w [10], a także na ocenie modeli szacowania kosztów utrzymania budynków [11]. W artykule [12] autorzy podkreślają potrzebę zrównoważonych strategii utrzymania z powodu ważnych problemów z utrzymaniem budynków zabytkowych, takich jak np. rzadka konserwacja, naprawy czy braki w finansowaniu.

UE uznała, że energooszczędne zasoby budowlane mają istotny wpływ na osiągnięcia celów dekarbonizacji oraz poprawę jakości życia i ustanowiła ramy prawne obejmujące Dyrektywę w sprawie charakterystyki energetycznej budynków oraz Dyrektywę w sprawie efektywności energetycznej. Od 2014 r. wszystkie państwa członkowskie UE są zobowiązane do opracowania co trzy lata Długoterminowej Strategii Renowacji. Strategie te mają wspierać przekształcanie krajowych zasobów budowlanych w energooszczędne i bezemisyjne do 2050 r., przyczyniając się do realizacji celów zawartych w Krajowych Planach Energetyczno-Klimatycznych państw członkowskich UE [13].

Ocena strategii państw członkowskich UE dotyczących wdrażania wymagań dyrektyw, w tym planowania i realizacji Długoterminowych Strategii Renowacji, została podjęta w badaniach takich jak [14 – 18]. Pomimo podkreślania znaczenia opracowania i wdrażania Długoterminowych Strategii Renowacji, literatura nadal nie dostarcza precyzyjnych definicji, wskaźników oraz ram koncepcyjnych, które ułatwiłyby formułowanie i praktyczne wdrażanie tych strategii przez państwa UE. Ogólne wytyczne wskazują, że plany renowacji muszą zawierać co najmniej: przegląd krajowego zasobu budowlanego wg różnych typów budynków; mapę drogową z krajowymi celami na lata 2030, 2040 i 2050 (w tym zestaw wskaźników postępu); przegląd planowanych polityk i środków oraz zestawienie potrzeb inwestycyjnych i źródeł finansowania na ich realizację.

Do 31 grudnia 2025 r. wszystkie państwa członkowskie UE zobowiązane są do przygotowania projektu Krajowego Planu Renowacji Budynków, który zostanie oceniony przez Komisję Europejską. Ostateczny plan musi zostać złożony do 31 grudnia 2026 r.

By 31 December 2025, all EU Member States are required to prepare draft National Building Renovation Plans, which will be evaluated by the European Commission. The final versions must be submitted by 31 December 2026, creating an urgent need for the proper development of these plans to ensure compliance with EU regulations and the achievement of long-term renovation goals.

The Long-Term Renovation Strategy for Buildings in Poland

The Long-Term Renovation Strategy for Buildings does not constitute a legal act and, therefore, does not impose a statutory obligation for its implementation. However, it serves as a strategic policy document that defines the directions and objectives of Poland's national energy policy in the field of building stock modernization. The strategy includes a recommended renovation scenario (Figure), developed on the basis of three modernization variants, under the assumption of achieving climate neutrality in the Polish building sector by 2050.

cumulative number of thermal renovation/
skumulowana liczba termomodernizacji

annual rate of thermal/roczne tempo modernizacji
%of total buildings/% budynków ogółem

Recommended scenario renovation based on [19]

Scenariusz renowacji rekomendowany na podstawie [19]

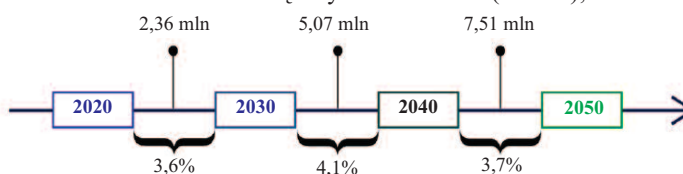
The recommended scenario assumes a rapid implementation of the first stage of thermal modernization for buildings with the lowest energy performance, carried out in parallel with the promotion of deep renovation in the coming years. The next phase involves the widespread adoption of high renovation standards across the national market. According to the plan: by 2027, all buildings with a primary energy indicator (EP) exceeding 330 kWh/(m²•year) are to be modernized. By 2035, this requirement extends to buildings with EP > 230 kWh/(m²•year), by 2045, all buildings are expected to achieve an EP level not higher than 150 kWh/(m²•year), by 2050, it is projected that: 65% of buildings will achieve an EP value ≤ 50 kWh/(m²•year), 22% will fall within the range of 50 – 90 kWh/(m²•year), and the remaining 13% – for which deep modernization will be technically or economically unfeasible – will remain within 90 – 150 kWh/(m²•year).

In Poland, there are over 15.2 million buildings with a total floor area of approximately 2,530,889,214 m² [19]. Table 1 presents the intermediate targets for implementing the recommended renovation scenario, including the number of thermal renovations and deep renovations carried out. These indicators were estimated by the Polish National Energy Conservation Agency (KAPE) based on a scenario analysis assuming an average renovation rate of 3.8%, as outlined in the document “Annex to Resolution No. 23/2022 of the Council of Ministers of 9 February 2022 – Long-Term Renovation

Długoterminowa Strategia Renowacji Budynków w Polsce

Długoterminowa Strategia Renowacji Budynków nie jest aktem prawnym, a zatem nie nakłada ustawowego obowiązku jej stosowania. Jest to jednak dokument strategiczny, który wyznacza kierunki i cele krajowej polityki energetycznej w obszarze modernizacji zasobów budowlanych. Strategia zawiera tzw. rekomendowany scenariusz renowacji (rysunek), opracowany na podstawie trzech wariantów modernizacji budynków przy założeniu osiągnięcia neutralności klimatycznej polskiego sektora budownictwa do 2050 r.

Rekomendowany scenariusz zakłada szybkie przeprowadzenie pierwszego etapu termomodernizacji budynków o najgorszej efektywności energetycznej, równoległe z popularyzacją głębokiej termomodernizacji w najbliższych latach. Kolejnym krokiem ma być upowszechnienie wysokiego standardu renowacji w skali całego rynku. Do 2027 r. zmodernizowane mają zostać wszystkie budynki o wskaźniku energii pierwotnej (EP) przekraczającym 330 kWh/(m²•rok), a do 2035 r. – budynki z EP większym niż 230 kWh/(m²•rok). W 2045 r. wszystkie budynki mają osiągnąć poziom EP nie większy niż 150 kWh/(m²•rok), natomiast do 2050 r. planu-



je się, że 65% budynków będzie charakteryzować się wskaźnikiem EP nieprzekraczającym 50 kWh/(m²•rok), 22% osiągnie poziom 50 – 90 kWh/(m²•rok), a pozostałe 13%, których głęboka termomodernizacja będzie niemożliwa z powodów technicznych lub ekonomicznych, znajdzie się w przedziale 90 – 150 kWh/(m²•rok).

W Polsce istnieje ponad 15,2 mln budynków o łącznej powierzchni ok. 2 530 889 214 m² [19]. Tabela 1 przedstawia cele pośrednie realizacji rekomendowanego scenariusza, z uwzględnieniem liczby przeprowadzonych termomodernizacji oraz głębokich termomodernizacji. Wskaźniki te zostały oszacowane przez Krajową Agencję Poszanowania Energii na podstawie analizy scenariusza przy założonym średnim tempie modernizacji wynoszącym 3,8%, na potrzeby dokumentu: „Załącznik do uchwały nr 23/2022 Rady Ministrów z 9 lutego 2022 r. Długoterminowa strategia renowacji budynków. Wspieranie renowacji krajowego zasobu budowlanego.

Termomodernizacja budynku to działania częściowe, takie jak wymiana systemów grzewczych, izolacji termicznej czy stolarki okiennej i drzwiowej, które poprawiają komfort oraz efektywność energetyczną, choć niekoniecznie prowadzą do znacznej redukcji zużycia energii. Głęboka termomodernizacja oznacza natomiast kompleksowy proces renowacji, którego celem jest znaczne ograniczenie zużycia energii przez zastosowanie zaawansowanej termoizolacji, odnawialnych źródeł energii oraz inteligentnych systemów zarządzania. Takie

Strategy: Supporting the Renovation of the National Building Stock.”

Thermal renovation refers to partial improvement measures, such as the replacement of heating systems, insulation, or window and door joinery, which enhance indoor comfort and energy efficiency, although they do not necessarily result in a substantial reduction in energy consumption. In contrast, a deep renovation represents a comprehensive modernization process aimed at achieving a significant reduction in energy demand through the application of advanced insulation systems, renewable energy technologies, and intelligent energy management systems. Such a holistic approach is essential for achieving climate neutrality in the EU building sector by 2050.

Based on [20 – 21] and the reviewed Draft of the National Building Renovation Plan for Poland [19], the following potential triggers for initiating the renovation process can be identified:

- renovation due to the loss of durability of certain building components or technical installations;
- change of ownership, where the new owner plans to carry out refurbishment;
- change in the building's use, e.g., adapting an attic for residential purposes;
- reconstruction, extension, or superstructure of the building;
- repair of structural damage, such as roof defects, combined with the removal of asbestos-containing materials;
- elimination of technical defects resulting from construction or installation errors, e.g., delamination of thermal insulation layers;
- modernization of buildings and production lines in industrial or service facilities.

Case study

The conducted analysis considered two multi-family residential buildings constructed using large-panel (prefabricated concrete panels) technology. The first one is a four-story building erected in the 1970s, which underwent thermal modernization in the early 2000s. The second analyzed building is a ten-story block of flats from the 1980s, also built in large-panel technology, but not yet modernized.

In both cases, consistent design assumptions were adopted. The basements were classified as unheated zones, whereas all usable areas – including apartments, corridors, and stairwells – were classified as heated spaces. Transparent partitions (windows and doors) were assumed to have the following parameters: $U = 2.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for windows, $U = 3.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for doors. Based on these assumptions, the non-renewable EP was calculated as $215 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ for the four-story building and $271 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ for the ten-story building.

Table 1. Planned pace of building renovation in Poland [21]

Tabela 1. Planowane tempo renowacji budynków w Polsce [21]

Planning period/ Okres planowania	Total number of completed [million units/ Liczba zrealizowanych [mln sztuk]	
	thermal renovations during the given period/termomodernizacji ogółem w danym okresie	deep renovations during the given period/głębokich termomodernizacji w danym okresie
2021 – 2030	2,4	0,5
2031 – 2040	2,7	1,8
2041 – 2050	2,4	2,4

kompleksowe podejście jest kluczowe do osiągnięcia neutralności klimatycznej budownictwa w UE do 2050 r.

Na podstawie [20 – 21] oraz opiniowanego Projektu Krajowego Planu Renowacji Budynków w Polsce [19] można wskazać momenty inicjowania procesu renowacji:

- remont ze względu np. na utratę trwałości niektórych elementów budynku lub instalacji;
- zmiana właściciela na osobę planującą remont budynku;
- zmiana sposobu użytkowania budynku, np. adaptacja strychu na cele mieszkalne;
- przebudowa, rozbudowa lub nadbudowa budynku;
- naprawa uszkodzeń budowlanych, np. dachu, połączona z usunięciem wyrobów zawierających azbest;
- eliminacja wad technicznych powstałych na skutek błędów wykonawczych podczas realizacji robót, np. odspojenie warstwy ocieplenia;
- modernizacja budynków oraz linii produkcyjnych w obiektach przemysłowych lub usługowych.

Analizowane budynki mieszkalne

Analizie poddano dwa wielorodzinne budynki mieszkalne wykonane w technologii wielkopłytywowej. Pierwszy z nich to czteropiętrowy obiekt wzniesiony w latach siedemdziesiątych XX wieku, który został poddany termomodernizacji na początku pierwszej dekady XXI wieku. Drugi analizowany budynek to dziesięciopiętrowy blok mieszkalny z lat osiemdziesiątych XX w., wykonany również w technologii wielkopłytywowej, lecz dotychczas niepoddany termomodernizacji.

W obu przypadkach przyjęto spójne założenia projektowe, zgodnie z którymi piwnice uznano za strefy nieogrzewane, natomiast wszystkie przestrzenie użytkowe, w tym mieszkania, korytarze i klatki schodowe, sklasyfikowano jako pomieszczenia ogrzewane. Parametry przegród przezroczystych, tj. okien i drzwi, przyjęto odpowiednio: $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ w przypadku okien oraz $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ w przypadku drzwi. Na podstawie opisanych założeń przeprowadzono obliczenia wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP), który wyniósł: budynku czteropiętrowego $215 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, natomiast dziesięciopiętrowego $271 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

Dobór obiektów do analizy był uzasadniony ich reprezentatywnością w zasobach mieszkaniowych w Polsce. Pomimo planowanego zakończenia eksploatacji budynków wykonanych w technologii wielkiej płyty, stanowią one nadal dużą część budynków mieszkalnych. W związku z tym są one często poddawane zabiegom modernizacyjnym, których celem jest zarówno wydłużenie cyklu ich życia, jak i dostosowanie do zaostrzających się wymagań dotyczących efektywności energetycznej. Ze względu na brak zgody zarządców nieruchomości na ujawnienie szczegółowych danych identyfikacyjnych, nie podaliśmy informacji, które mogłyby umożliwić jednoznaczną identyfikację analizowanych obiektów.

The selection of these buildings was justified by their representativeness for the Polish residential stock. Despite the planned gradual phase-out of large-panel buildings, they still constitute a significant portion of the national housing stock. Consequently, they are frequently subjected to modernization efforts aimed at extending their service life and meeting increasingly stringent energy performance requirements. Due to the lack of consent from property administrators to disclose identifying data, the authors intentionally omitted specific details that could enable the exact identification of the analyzed buildings.

Given the planned introduction of building energy classes and potential restrictions resulting from their implementation, the authors conducted an analysis aimed at optimizing the scope of modernization necessary to meet future legal requirements. The adopted approach assumed minimal intervention, sufficient to improve the energy performance while limiting investment costs. The objective of the study was to identify the most cost-effective technical solutions that would enable the analyzed buildings to achieve the required level of energy performance consistent with the goals set forth in the LTRS (*Long Term Renovation Strategy*), while maintaining low implementation costs.

The prepared simulation of the impact of necessary thermal modernization measures was based on calculations of primary energy demand and associated costs for real buildings constructed in the 1970s and 1980s, which will require modernization to meet future energy performance thresholds.

By 2035, nearly all buildings will need to undergo renovation. An exception may be buildings such as the analyzed four-story block, characterized by a compact form and limited thermal bridging, which already underwent the first stage of renovation (insulation works) in the 2000s. In 2035, renovation works are planned for the ten-story building, including thermal insulation of all partitions and the replacement of window and door joinery.

In 2045, further modernization is planned for both analyzed buildings, to improve their energy performance in accordance with the assumptions of the LTRS: the four-story building will be equipped with a mechanical ventilation system with heat recovery; the ten-story building will use a water-to-water heat pump for space heating and domestic hot water.

The use of mechanical ventilation with heat recovery represents a more cost-effective solution compared to heat pumps or photovoltaic systems, while offering a significant improvement in EP values and ensuring heating cost reductions of 30 – 40%.

In the case of the ten-story building, a heat pump was proposed in consideration of the anticipated increase in the price of emission allowances, which may substantially affect heating costs (Table 2). The cost of emissions incurred by district heating companies is reflected in the heating tariff and ultimately transferred to end users.

In 2050, considering the potential benefits of improving the building's energy class – such as increased property value, lower operating costs, eligibility for subsidies, and access to more favorable financing conditions – as well as the risk of stricter energy performance regulations, it can be assumed that building managers will aim to achieve the highest possible

W związku z planowanym wprowadzeniem klas energetycznych budynków oraz możliwymi restrykcjami wynikającymi z ich stosowania, przeprowadziliśmy analizę mającą na celu optymalizację zakresu modernizacji niezbędnej do dostosowania analizowanych obiektów do przyszłych wymagań prawnych. Przyjęto założenie minimalnych ingerencji modernizacyjnych, które z punktu widzenia charakterystyki energetycznej oraz wartości wskaźnika energii pierwotnej umożliwią poprawę efektywności energetycznej budynku przy jednoczesnym ograniczeniu nakładów inwestycyjnych. Celem badania było wskazanie najkorzystniejszych rozwiązań technicznych pozwalających na osiągnięcie wymaganego poziomu efektywności energetycznej wybranych budynków zgodnego z planami zawartymi w LTRS (*Long Term Renovation Strategy*), przy możliwie niewielkich kosztach.

Przygotowana symulacja wpływu przeprowadzenia niezbędnej termomodernizacji bazuje na obliczeniach wartości EP oraz kosztów w budynkach rzeczywistych, które zostały wzniesione w latach siedemdziesiątych oraz osiemdziesiątych ubiegłego wieku i będą wymagały przeprowadzenia prac termomodernizacyjnych, aby spełnić przyszłe graniczne warunki energetyczne.

W 2035 r. już niemal wszystkie budynki będą musiały podlegać renowacji. Wyjątek stanowić mogą budynki takie jak badany czteropiętrowy blok wielorodzinny o kompaktowej formie z małą liczbą mostków termicznych, który podlegał już pierwszemu etapowi renowacji – został docieplony w latach 2000. W 2035 r. przewidziano prace renowacyjne bloku dziesięciopiętrowego dotyczące docieplenia wszystkich przegród, tj. ścian zewnętrznych, stropodachu oraz stropu nad nieogrzewaną piwnicą, a także wymiany stolarki okiennej i drzwiowej. Analizowany budynek, aby spełniał zakładany limit zapotrzebowania na EP $< 230 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, musi do 2035 r. przejść termomodernizację, chyba że dotychczas był już termomodernizowany, lub zgodnie z WT jest wybudowany po 2008 r.

W 2045 r. przewidziano modernizację obu przykładowych budynków ze względu na potrzebę polepszenia ich charakterystyki energetycznej zgodnie z założeniami LTRS. Zaplanowano zastosowanie wentylacji mechanicznej z rekuperacją w budynku czteropiętrowym oraz zastosowanie pompy ciepła woda-woda na potrzeby c.o. i c.w.u. w przypadku bloku dziesięciopiętrowego. Z naszych obliczeń wynika, że w celu uzyskania zakładanego zapotrzebowania na EP $< 150 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ należy zastosować w budynku OZE. Naszym celem było dostosowanie budynków do planowanych wymagań jak najmniejszym kosztem, dlatego też podjęto decyzję o wykonaniu różnych prac w obu budynkach. Niektóre scenariusze zostały odrzucone mimo spełniania kryterium EP, z powodu dużych kosztów.

Zastosowanie wentylacji mechanicznej z rekuperacją jest tańszą opcją niż pompa ciepła czy panele fotowoltaiczne, a jednocześnie pozwala na zdecydowaną poprawę wartości EP, gwarantując oszczędności na rachunkach za ogrzewanie nawet do 30 – 40%. W przypadku bloku dziesięciopiętrowego zaproponowano pompę ciepła, mając na uwadze wzrost cen uprawnień do emisji CO₂ w systemie handlu emisjami (ETS) mogący w znacznym stopniu przyczynić się do zwiększenia rachunków (tabela 2). Koszt emisji CO₂ ponoszony przez ciepłownię jest uwzględniany w taryfie ciepłowniczej i ostatecznie przenoszony na odbiorców.

Table 2. Prices of CO₂ emission allowances in ETS2 at constant prices from 2023 [euro/t] [22]Tabela 2. Ceny uprawnień do emisji CO₂ w ETS2 w cenach stałych z 2023 [euro/t] [22]

Prices of CO ₂ emission [euro/t]/Ceny uprawnień do emisji CO ₂ [euro/t]								
2027	2028	2029	2030	2035	2040	2045	2050	2055
30	50	55	55	140	290	430	490	520

energy class for their properties. Therefore, it has been assumed that photovoltaic (PV) panels will be installed in both buildings.

The unit prices adopted in the analysis are expressed in PLN/m². The unit costs were estimated for the third quarter of 2024, based on data from Sekocenbud bulletins and current market prices of construction materials and products. It should be noted that the net values presented in Table 3 do not account for inflation, changes in the purchasing power of money over time, or potential financial support mechanisms, such as grants or subsidies for thermal modernization measures.

Table 3. Net Unit Costs of Achieving Threshold Primary Energy Demand Values [own calc.]

Tabela 3. Koszty jednostkowe netto osiągnięcia progowych wartości EP [obliczenia własne]

Year/ Rok	Introduced EP limits/ Wprowadzane limity EP	Building type/Blok wielorodzinny	
		multi-family four-story building/czteropiętrowy	multi-family ten-story building/ dziesięciopiętrowy
2027	EP < 330 kWh/m ² *rok	X	X
2035	EP < 230 kWh/m ² *rok	X	901,28 zł/m ²
2045	EP < 150 kWh/m ² *rok	467,24 zł/m ²	243,59 zł/m ²
2050	65% – EP ≤ 50 kWh/m ² *rok, 22% – EP ∈ (50 – 90) kWh/m ² *rok, 13% – EP ∈ (90, 150) kWh/m ² *rok	281,35 zł/m ²	154,27 zł/m ²

Improvement of energy efficiency in historic public utility buildings

Historic buildings face particular challenges in achieving the objectives of the LTRS, as the requirement to obtain heritage conservation approvals and various technical constraints often complicate the implementation of thermal modernization works [20]. Another key challenge is the preservation of the historical character and architectural integrity of heritage buildings. The following are three examples of heritage building renovations, where – in addition to enhancing the overall aesthetics – the primary goal was to improve energy efficiency.

The first example is the 16th-century Palace in Bukowiec (Photo 1), where, with a total renovation cost of PLN 25,000,000, the EP was successfully reduced from 779.58 to 47.63 kWh/(m²·year) [23]. The second example is the renovation of a tenement house dating from the turn of the 19th and 20th centuries – Plantonia Aparthotel in Kraków (Photo 2). For this building, the primary energy indicator before renovation was 250 kWh/(m²·year), and after the renovation it was reduced to 105 kWh/(m²·year) [25].

Biorąc pod uwagę potencjalne korzyści z podnoszenia klasy energetycznej budynku, tj. zwiększenie wartości nieruchomości, zmniejszenie rachunków za użytkowanie, możliwość uzyskania dotacji oraz dobrych warunków kredytowych, jak również ryzyko zaostrzenia prawa w kontekście efektywności energetycznej, przypuszczać można, że w 2050 r. zarządcy budynków będą dążyć do uzyskania jak najwyższej klasy nieruchomości. W obu budynkach przyjęto założenie o zastosowaniu paneli PV. W tabeli 3 przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz. Naszym zdaniem zamontowanie paneli PV w sposób najtańszy dla zarządców, zwiększy klasę energetyczną budynku.

Przyjęte w analizie ceny jednostkowe wyrażono w zł/m². Koszty jednostkowe oszacowano na III kwartał 2024 r. na podstawie danych zawartych w biuletynach Sekocenbud oraz aktualnych cen rynkowych materiałów i wyrobów budowlanych. Należy zaznaczyć, że wartości netto podane w tabeli 3 nie uwzględniają inflacji ani zmiany siły nabywczej pieniądza w czasie, a także nie zostały pomniejszone o możliwe formy wsparcia finansowego, takie jak dotacje lub dofinansowania na działania termomodernizacyjne. Ponadto wzięliśmy pod uwagę planowane limity zapotrzebowania na energię pierwotną bez uwzględnienia dodatkowych obostrzeń ustawodawcy, które nie są na chwilę obecną znane, a mogą zostać wprowadzone w przyszłości.

Poprawa efektywności energetycznej zabytkowych obiektów użyteczności publicznej

Szczególne trudności w realizacji celów LTRS napotykają obiekty zabytkowe, gdzie konieczność uzyskania zgód konserwatorskich oraz ograniczenia techniczne komplikują prowadzenie prac termomodernizacyjnych [19]. Kluczowym wyzwaniem jest również zachowanie historycznego charakteru budynków zabytkowych. W artykule przedstawiono trzy przykłady renowacji budynków zabytkowych, które miały na celu przede wszystkim poprawę efektywności energetycznej.

Pierwszym przykładem jest Pałac w Bukowcu z XVI wieku (fotografia 1), gdzie przy całkowitej wartości remontu 25 000 000 zł udało się uzyskać poprawę wskaźnika EP z 779,58 na 47,63 kWh/(m²·rok) [23]. Budynek ten, objęty ochroną konserwatorską jako zabytek oraz pomnik historii, stanowił szczególne wyzwanie pod względem doboru materiałów i technologii. Ze względu na ograniczenia dotyczące ingerencji w zabytkową tkankę architektoniczną, niemożliwe było zastosowanie typowych rozwiązań termoizolacyjnych. Zdecydowano się więc na użycie innowacyjnego tynku aerożelowego do izolacji ścian zewnętrznych, który łączy dużą efektywność energetyczną z minimalnym wpływem na wygląd elewacji. Dodatkowo odtworzono detale architektoniczne z przełomu XVIII i XIX w., co pozwoliło na zachowanie walorów estetycznych obiektu.

Zakres przeprowadzonych prac objął także wymianę stolarki okiennej na energooszczędną wersję historyczną oraz montaż grzewczej pompy ciepła z sondami o łącznej długości ponad 2300 m. Zastosowano również instalację fotowoltaiczną z magazynem energii, ogrzewanie podłogowe i grzejnikowe, a także energooszczędne źródła światła. Zainstalowano system



Photo 1. Palace in Bukowiec [24]
Fot. 1. Pałac w Bukowcu [24]



Photo 2. Plantonia Aparthotel, Krakow [25]
Fot. 2. Plantonia Aparthotel, Kraków [25]

The third example concerns the redevelopment of the historic building of the **Municipal and District Public Library** in Nowy Dwór Mazowiecki (Photo 3), which included an extension and the installation of new technical infrastructure necessary for the building's operation. As a result of the renovation works, the EP value decreased from 212.04 kWh/(m²•year) to 67.32 kWh/(m²•year) [26].

Conclusions

The conducted analysis confirms that the implementation of the Long-Term Renovation Strategy in Poland, although costly, is feasible and rational from the perspective of energy efficiency. The case study of two multi-family residential buildings demonstrated that even with moderate investment outlays, it is possible to achieve a significant reduction in non-renewable primary energy demand, resulting in tangible energy savings for building users.

The most cost-effective measure for improving the energy performance of buildings was found to be the installation of mechanical ventilation with heat recovery, which, compared to heat pumps or photovoltaic systems, offers a more favorable cost-to-benefit ratio. At the same time, considering the rising costs of CO₂ emissions, investments in technologies such as heat pumps or photovoltaic panels may prove economically viable in the long term.

zarządzania budynkiem oraz wprowadzono wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła w wybranych strefach budynku.

Drugim przykładem jest renowacja kamienicy Plantonia Aparthotel w Krakowie z przełomu XIX i XX w. (fotografia 2), której wartość EP przed renowacją wynosiła 250 kWh/(m²•rok), a po renowacji 105 kWh/(m²•rok) [24]. Zakres prac obejmował m.in. wymianę stolarki okiennej i drzwiowej, wymianę źródła ciepła na ogrzewanie miejskie, instalację wentylacji mechanicznej z rekuperatorem oraz instalację chłodzenia powietrza. Zgodnie z wytycznymi konserwatora zabytków została wyremontowana elewacja budynku wraz z odtworzeniem detali architektonicznych.

Trzeci przykład to **przebudowa zabytkowego budynku Miejskiej i Powiatowej Biblioteki Publicznej** w Nowym Dworze Mazowieckim z rozbudową i nową infrastrukturą techniczną niezbędną do funkcjonowania obiektu (fotografia 3). W wyniku działań renowacyjnych, wskaźnik EP z wartości 212,04 kWh/(m²•rok) zmniejszył się do 67,32 kWh/(m²•rok) [25]. Prace obejmowały m.in. ocieplenie przegród od wewnątrz, modernizację systemu grzewczego, wymianę stolarki oraz montaż systemu rekuperacji. Projekt uzyskał akceptację służb konserwatorskich po licznych konsultacjach i uzgodnieniach dokumentacji projektowej, które istotnie wydłużyły proces przygotowania inwestycji.



Photo 3. Public library in Nowy Dwór Mazowiecki [25]
Fot. 3. Biblioteka Publiczna w Nowym Dworze Mazowieckim [25]

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza potwierdza, że realizacja założeń Długoterminowej Strategii Renowacji Budynków w Polsce, choć kosztowna, jest możliwa i racjonalna z punktu widzenia efektywności energetycznej. Analiza dwóch wielorodzinnych budynków mieszkalnych wykazała, że nawet przy umiarkowanych nakładach inwestycyjnych możliwe jest znaczne zmniejszenie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, co przekłada się na realne oszczędności dla użytkowników budynków. Najbardziej efektywnym kosztowo rozwiązaniem, poprawiającym parametry energetyczne, okazało się zastosowanie wentylacji mechanicznej z rekuperacją, która w zestawieniu z pompą ciepła czy panelami fotowoltaicznymi zapewnia dobry stosunek kosztów do uzyskanych korzyści. Jednocześnie, przy zwiększających się kosztach emisji CO₂, inwestycje w technologie takie, jak np. pompy ciepła czy panele fotowoltaiczne mogą okazać się opłacalne w dłuższej perspektywie.

The presented examples of thermal modernization of historic buildings demonstrate that even in the case of structures under heritage protection, it is possible to achieve substantial improvements in energy efficiency without compromising their cultural and historical value. A well-planned renovation process can not only reduce energy consumption but also increase property value and enhance user comfort.

However, the implementation of the LTRS requires a consistent legislative framework, adequate financial support, and broad stakeholder education within the real estate and construction sectors. Ensuring regulatory stability and the availability of financing instruments will be crucial for supporting the renovation process. Moreover, the strategy must be adapted to the diversity of the national building stock, taking into account both technical and economic factors.

In conclusion, the effective implementation of the LTRS represents not only a technical and economic challenge, but also a major opportunity to transform the Polish construction sector toward low-emission performance, user comfort, and sustainable development.

Received: 27.06.2025

Revised: 18.08.2025

Published: 23.10.2025

Przykłady termomodernizacji obiektów zabytkowych udowadniają natomiast, że nawet w przypadku budynków o szczególnym statusie konserwatorskim możliwa jest znaczna poprawa efektywności energetycznej bez utraty ich wartości kulturowej. Dobrze zaplanowana renowacja może nie tylko zredukować zużycie energii, ale również zwiększyć wartość nieruchomości i poprawić komfort jej użytkowników.

Wdrażanie LTRS wymaga jednak konsekwentnego podejścia legislacyjnego, odpowiedniego wsparcia finansowego oraz edukacji interesariuszy rynku nieruchomości. Kluczowe znaczenie będzie miało zapewnienie stabilności regulacyjnej i dostępności instrumentów wspierających proces renowacji. Konieczne jest również dostosowanie strategii do różnorodności zasobów budowlanych, uwzględniającej zarówno potrzeby techniczne, jak i ekonomiczne. Skuteczna realizacja LTRS stanowi nie tylko wyzwanie techniczne i ekonomiczne, ale również ogromną szansę na transformację polskiego budownictwa w kierunku niskoemisyjności, komfortu i zrównoważonego rozwoju.

Artykuł wpłynął do redakcji: 27.06.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 18.08.2025 r.

Opublikowano: 23.10.2025 r.

Literature

- [1] Arbulu M, Oregi X, Rueda-Esteban M, Figueroa-Lopez A, López-Mesa B. Applicability of the European Union's Building Renovation Assessment Framework in Spain, *Environmental and Climate Technologies*. 2023. DOI: 10.2478/rtuct-2023-0029.
- [2] Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings.
- [3] Civiero P, Pascual J, Abella JA, Figueroa AB, Salom J, Pedra. Positive Energy District Renovation Model for Large Scale Actions, *Energies*. 2021. DOI: 10.3390/en14102833.
- [4] Passoni C, Caruso M, Felicioni L, Negro P. The evolution of sustainable renovation of existing buildings: from integrated seismic and environmental retrofitting strategies to a life cycle thinking approach, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22 (13), pp. 6327-6357. DOI: 10.1007/s10518-024-01991-0.
- [5] Salvalai G, Sesana MM, Grecchi M, Rivallant M. From the energy performance certificate to the building renovation passport, *Technologies Engineering Materials Architecture*. Vol. 5 No. 2., DOI: 10.30682/tema0502g.
- [6] Cardinal SM, Tosin CE, Pilz SE, Costella MF. Inspection Method for Building Maintenance Management in Higher Education Institutions. *J. Perform. Constr. Facil.* 2020. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001521.
- [7] Le ATH, Domingo N, Rasheed E, Parkl K. Maturity model of building maintenance management for New Zealand's state schools. *Build. Res. Inf.* 2021. DOI: 10.1080/09613218.2021.1961573.
- [8] Chang C, Huang S, Guo S. Setting a priority benchmark for building maintenance in Taiwan's national universities. *J. Arch. Plan. Res.* 2008; 25, 162 – 175.
- [9] Hauashdh A, Jailani J, Rahman IA, AL-Fadhali, N. Structural equation model for assessing factors affecting building maintenance success. *J. Build. Eng.* 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102680.
- [10] Besiktepe D, Ozbek ME, Atadero RA. Identification of the Criteria for Building Maintenance Decisions in Facility Management: First Step to Developing a Multi-Criteria Decision-Making Approach. *Buildings*. 2020. DOI: 10.3390/buildings10090166.
- [11] Plebankiewicz E, Leśniak A, Vitkova E, Hromadka V. Models for estimating costs of public buildings maintaining – Review and assessment. *Arch. Civ. Eng.* 2022. DOI: 10.24425/ace.2022.140171.

- [12] Norazman N, Salleh NM, Mohd Nashruddin SNA, Wan Ismail WN. Strategic planning of sustainable maintenance in heritage school buildings: Malaysia perspectives. *Int. J. Build. Pathol. Adapt.* 2023. DOI: 10.1108/IJBPA-04-2022-0060.
- [13] Beltrán-Velamán C, et al. Comparison of Frameworks for the Assessment of Decarbonisation of European National Building Stocks, *Environmental and Climate Technologies*. 2023. DOI: 10.2478/rtuct-2023-0037.
- [14] Maduta C, D'Agostino D, Tsemekidi-Tzeiranaki S, Castellazzi L, Melica G, Bertoldi P. Towards climate neutrality within the European Union: Assessment of the Energy Performance of Buildings Directive implementation in Member States, *Energy & Buildings*. 2023. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113716.
- [15] A Review of EU Member States' 2020 Long-Term Renovation Strategies, published in September 2020 by the Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- [16] Deep Renovation: Shifting From Exception to Standard Practice In EU Policy, published in November 2021 by the Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- [17] Jensen PA, Thuvander L, Femenias P, Visscher H. Sustainable building renovation – strategies and processes *Construction Management and Economics*. 2022. DOI: 10.1080/01446193.2022.2045717.
- [18] Commission Staff Working Document. Analysis of the national long-term renovation strategies; Brussels, 30.11.2022SWD (2022) 375 final.
- [19] Krajowy Plan Renowacji Budynków 2024 r., <https://www.kape.gov.pl/blog/aktualnosci-kape-1/krajowy-plan-renowacji-budynkow-730>.
- [20] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona); https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275.
- [21] Załącznik do uchwały nr 23/2022 Rady Ministrów z 9 lutego 2022 r. Długoterminowa strategia renowacji budynków. Wspieranie renowacji krajowego zasobu budowlanego, <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-02/PL%202020%20LTRS%20.pdf>.
- [22] Buk W, Izdebski M. Analiza wpływu ETS2 na koszty życia Polaków, Warszawa, czerwiec 2024; https://ets2koszty.pl/wp-content/uploads/2024/06/Analiza-wplywu-ETS2-na-koszty-zycia-Polakow_raport.pdf, z dn. 01.05.2025.
- [23] <https://falarenowacji.pl/aktualnosc/konkurs-renowacja-2025-laureaci/>, z 10.03.2025.
- [24] <https://www.jelonka.com/palac-bukowiec-po-remontcie-130648/foto/>, z 10.03.2025.
- [25] <https://falarenowacji.pl/renowacja/renowacja-5/>, z 10.03.2025.