

dr hab. inż. Szymon Firląg^{1*)}

ORCID: 0000-0002-6276-3666

dr inż. Agnieszka Kaliszuk-Wietecha¹⁾

ORCID: 0000-0003-2476-6951

inż. Martyna Sławińska¹⁾

Potencjał dekarbonizacji zabytkowej kamienicy w Warszawie

Decarbonisation potential of the historic building in Warsaw

DOI: 10.15199/33.2024.02.10

Streszczenie. Konieczność zmniejszenia udziału budownictwa w ogólnym zapotrzebowaniu na nieodnawialną energię pierwotną i minimalizacji emisji dwutlenku węgla na etapie eksploatacji budynków wymusza opracowanie planu termomodernizacji i dekarbonizacji budynków. Proces ten wymaga jednak szczególnego planowania w przypadku obiektów zabytkowych. W artykule przeprowadzono analizę stanu istniejącego i opracowano dwa warianty termomodernizacji jednej z przedwojennych, zabytkowych kamienic warszawskich przy ulicy Kopernika 23. Sprawdzono, jak zmiany w budynku mogą wpłynąć na jego efektywność energetyczną oraz emisję CO₂ i innych szkodliwych substancji, a także poprawę komfortu użytkownika budynków. Głównym założeniem było zmniejszenie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną oraz zminimalizowanie emisji CO₂. W przedstawionych propozycjach wzięto również pod uwagę architekturę budynku i jego otoczenie.

Słowa kluczowe: termomodernizacja; dekarbonizacja; charakterystyka energetyczna; obiekt zabytkowy.

Abstract. The need to reduce the share of construction in the overall demand for non-renewable primary energy and to minimize carbon dioxide emissions during the operation stage of buildings requires the development of a plan for renovation and decarbonization of buildings. However, this process requires special planning for historic buildings. The article analyzes the existing state and develops two variants of renovation of one of Warsaw's pre-war historic apartment buildings at 23 Kopernika St. It examines how changes to the building can affect its energy efficiency and emissions of CO₂ and other pollutants, as well as improve indoor comfort. The main goal was to reduce the demand for non-renewable primary energy and minimize CO₂ emissions. The proposed solutions also took into account buildings architecture and surroundings.

Keywords: renovation; decarbonization; energy performance; historic building.

Budownictwo jest jednym z najistotniejszych sektorów gospodarki z punktu widzenia walki z ociepleniem klimatu oraz zanieczyszczeniem środowiska. Budynki odpowiadają bowiem za ponad 42% zużycia energii oraz ponad 33% emisji dwutlenku węgla w Unii Europejskiej [1]. Z szacunków Krajowej Agencji Poszanowania Energii wynika, że końcowe zużycie energii w krajowych zasobach budowlanych można ograniczyć w opłacalny kosztowo sposób aż o 75% [1]. Szczególnie jednak istotny jest fakt, że Polska jako państwo członkowskie Unii Europejskiej musi spełnić wymagania dekarbonizacyjne, zapisane w przepisach unijnych [2, 3]. Będą one wkrótce zaimplementowane do naszych przepisów prawnych, czego przykładem jest „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego m.st. Warszawy” [4], a dekarbonizacja jest

ściśle związana ze zmniejszeniem zapotrzebowania budynków na energię ze źródeł kopalnych. To zaś można osiągnąć przez poprawianie efektywności energetycznej budynków. Proces ten wymaga jednak szczególnego planowania. W przypadku budynków o słabej izolacyjności termicznej oraz niesprawnych systemach instalacyjnych i nieefektywnych źródłach ciepła, zasilanych nieodnawialnymi paliwami kopalnymi, najlepiej przeprowadzić kompleksową i głęboką termomodernizację. Przynosi to korzyści ekonomiczne, poprawę komfortu użytkownika, a także zmniejszenie szkodliwego wpływu na środowisko. Kompleksowa modernizacja energetyczna budynków obejmuje ograniczenie strat ciepła przez przegrody zewnętrzne oraz poprawę efektywności energetycznej systemów technicznych. W przypadku obiektów zabytkowych ich wartość historyczna wymusza, aby w procesie termomodernizacji zastosować działania często nietypowe [5]. Jednocześnie w przypadku

dużych miast ważne jest, aby planowane procesy termomodernizacyjne były skalowalne i możliwe do powielenia. Te problemy stanowiły punkt wyjścia do wykonania analizy możliwości przeprowadzenia termomodernizacji budynków zabytkowych na przykładzie jednej z przedwojennych, zabytkowych kamienic warszawskich przy ulicy Kopernika 23 (fotografia 1). Rozważono dwa



Fot. 1. Fragment elewacji frontowej budynku przy ul. Kopernika 23 wraz z fragmentem budynku sąsiedniego

Photo 1. Section of the front elevation of the building at 23 Kopernika Street together with a section of the neighbouring building

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Łądowej

^{*)} Adres do korespondencji: sfirlag@nape.pl

warianty termomodernizacji, które nie tylko znacznie poprawiają parametry energetyczne budynku oraz minimalizują jego emisję CO₂, ale również poprawiają komfort użytkownika i dostosowują standardy użytkownika do dzisiejszych wymagań.

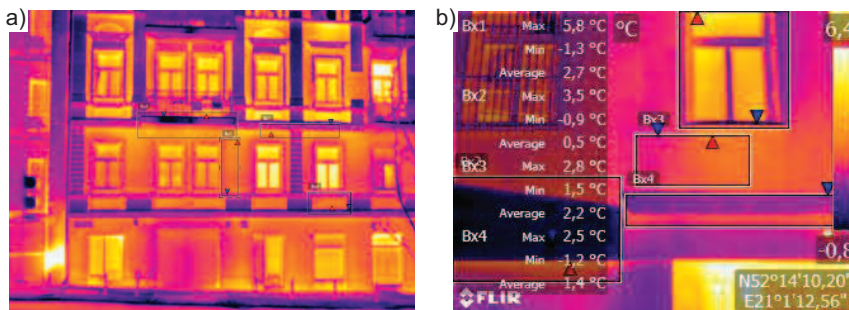
Ocena stanu budynku

Na potrzeby przeprowadzanej analizy wykonano ocenę termowizyjną budynku oraz podstawową ocenę wizualną, pozwalającą określić stan techniczny.

Metody i wyniki badań termowizyjnych. Tematyka diagnostyki termowizyjnej obiektów w kontekście dekarbonizacji była już poruszana w artykule [6]. Badania termowizyjne przeprowadzono kamerą termowizyjną wg normy PN-EN 13187 [7]. Wykonano je 2 marca 2022 r. w godzinach 18:50 – 20:10. Podczas pomiarów temperatura powietrza zewnętrznego wahała się od 1,5°C (18:50) do 1,3°C (20:10). W mieszkaniach była utrzymywana temperatura 21°C ± 2°C. Różnica temperatury między wewnętrzną a zewnętrzną stroną przegrody wynosiła więc ok. 20°C. Warunki te są optymalne do prowadzenia badań i pozwalają na uzyskanie miarodajnych wyników. Do analizy zdjęć termowizyjnych wykorzystano oprogramowanie Flir Tools. Na termogramach, na których występują różne materiały, przyjmowano emisyjność dominującej powierzchni otynkowanych ścian z wartością $\varepsilon \sim 0,93$.

Na podstawie badań stwierdzono, że obudowa zewnętrzna budynku jest niejednorodna i ma bardzo słabą izolacyjność termiczną. Obiekt jest nieocieplony i ma wiele mostków termicznych (przy płytach balkonowych, przy obrzeżach okiennych). Z punktu widzenia strat ciepła widoczna jest zmienna wartość gęstości strumienia ciepła wynikająca z niejednorodności przegrody i detali architektonicznych. Przykładowy termogram obu elewacji przedstawia fotografia 2.

Opis i ocena stanu technicznego budynku. Budynek przy ulicy Kopernika 23 w Warszawie jest czterokondygnacyjny, mieszkalno-użytkowy z częścią usługową na parterze, całko-



Fot. 2. Zdjęcia termowizyjne: a) frontowej elewacji budynku; b) tylnej elewacji budynku
Photo 2. Thermal images of: a) the front elevation of the building; b) the back elevation of the building

wicie podpiwniczony. Został wybudowany w latach 1894 – 1895. Przeszedł remont generalny w końcu lat trzydziestych XX w. Znajduje się w Gminnej Ewidencji Zabytków (GEZ), a jego elewacja frontowa jest pod opieką konserwatora.

Na podstawie analizy wizualnej stwierdzono, że wschodnia ściana budynku nie ma uszkodzeń, a jej stan można określić jako dobry. Kamienica nie ma rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury. Budynek nie jest dostosowany do potrzeb osób z niepełnosprawnościami, nie został wyposażony w windy, a wejście znajduje się od strony ulicy o dużym spadku terenu. Stan instalacji w budynku oceniono jako niezadowolający. Budynek ma wentylację grawitacyjną. Wszystkie ściany zewnętrzne, z wyjątkiem frontowej, są w złym stanie technicznym i nie mają izolacji termicznej. Zostały wykonane z cegły pełnej obustronnie otynkowanej. Wartość ich współczynnika przenikania ciepła przekracza obecne wymagania Warunków Technicznych (tabela 1). Badania termowizyjne potwierdziły występowanie licznych mostków cieplnych. Okna i drzwi (o zróżnic-

wanym okresie użytkowania) przyczyniają się do znacznych strat ciepła, ze względu na ich parametry techniczne i szczelności wynikające m.in. ze zużycia. Podłoga na gruncie również nie została ocieplona. Obliczenia współczynników przenikania ciepła wykonano zgodnie z normami [8, 9], a zestawienie parametrów wraz z porównaniem z obecnie wymaganymi wartościami wynikającymi z warunków technicznych [10] zestawiono w tabeli 1. Ze względu na ograniczoną objętość artykułu pominięto szczegółowe informacje dotyczące grubości warstw w przypadku poszczególnych przegród.

Warianty termomodernizacji

Planując proces termomodernizacyjny budynków zabytkowych, należy pamiętać, że nie jest on typowy. Proponowane przedsięwzięcia termomodernizacyjne muszą być przedyskutowane każdorazowo z konserwatorem zabytków, który trzyma pieczę nad budynkiem. Wszystkie strony procesu budowlanego muszą rozważyć podejmowane działania pod kątem ich wpływu na parametry cieplne budynku, a co

Tabela 1. Współczynnik przenikania ciepła przegród przed i po modernizacji wraz z wartościami obecnie wymaganymi

Table 1. Heat transfer coefficient of partitions with values currently required and after modernization

Przegroda	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m ² ·K)]	Wymagany WT 2021 współczynnik przenikania ciepła U [W/(m ² ·K)]	Współczynnik przenikania ciepła po modernizacji U [W/(m ² ·K)]
Ściana zewnętrzna frontowa	0,69	0,20	0,33
Ściana zewnętrzna boczna	0,69	0,20	0,16
Dach	0,46	0,15	0,14
Okna zewnętrzne	2,60	0,90	0,90
Drzwi zewnętrzne	2,60	1,40	1,4
Podłoga na gruncie	0,44	0,30	0,18

za tym idzie względy ekonomiczne i środowiskowe, na walory architektoniczne i historyczne oraz komfort użytkowników. Ograniczenia dotyczące procesu termomodernizacji mogą wynikać z konieczności zachowania zabytkowej elewacji, stosowania konkretnych materiałów, np. w przypadku stolarki okiennej lub konieczności zachowania wnętrza.

W przypadku omawianej kamienicy zaproponowano działania konieczne dotyczące poprawy paramentów przegród zewnętrznych i modernizacji systemu c.o. i c.w.u., rozwiązania wariantowe związane z nadbudową obiektu oraz wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii lub zwiększeniem powierzchni biologicznie czynnej.

Modernizacja przegród zewnętrznych. Pierwszym działaniem powinno być ograniczenie strat ciepła przez przenikanie przez przegrody. Od strony dziedzińca (elewacja nie ma szczególnej wartości historycznej ani architektonicznej) zaproponowano wykonanie docieplenia zewnętrznego na ścianach materiałem izolacyjnym o oporze cieplnym $3,9 \text{ m}^2\text{K/W}$, jednowarstwowo na zakład z pokryciem tynkiem cienkowarstwowym. Ścianę frontową najlepiej docieplić od środka, aby nie zniszczyć elewacji zabytkowej. Do jej ocieplenia wybrano materiał izolacyjny o oporze cieplnym $1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ z paroizolacją wykończoną płytami gipsowo-kartonowymi. Przejście przez budynek należy ocieplić w taki sam sposób jak ściany od strony dziedzińca. Zaleca się także docieplić podłogę na gruncie i dach. W przypadku ocieplenia dachu wybrano materiał izolacyjny o grubości 35 cm i współczynniku przenikania ciepła $0,031 \text{ W/mK}$, a podłogi materiał izolacyjny grubości 10 cm i współczynniku przenikania ciepła $0,031 \text{ W/mK}$. Koncepcja termomodernizacji zakłada wykonanie nowej podłogi w budynku oraz podwyższenie go o jedną lekką kondygnację. Wykonanie nowej konstrukcji dachu pozwoli na umieszczenie w niej proponowanej grubości warstwy izolacji. Zaprojektowano także wymianę stolarki okiennej na nowoczesne okna o identycznych wymiarach, kształcie i podziale co poprzednie

o parametrach odpowiadających dzisiejszym wymaganiom [9]. W analogiczny sposób należy wymienić stolarkę drzwiową. Pozwoli to poprawić szczelność budynku bez zmiany jego wyglądu.

Wykorzystując różnicę wysokości budynków sąsiednich, zaproponowano dobudowanie piątej kondygnacji na podstawie dokumentacji konserwatorskiej z 2000 r. Działanie takie pozwoli na pozyskanie środków na sfinansowanie modernizacji oraz zrównanie wysokości budynku z budynkami sąsiednimi. Połączenie dachowa zostałaby podniesiona do wysokości połączenia dachowej budynku przy ulicy Kopernika 25. Dobudowana konstrukcja zostałaby wykonana z drewna (przy spełnieniu wymagań ochrony przeciwpożarowej), aby była lekka i nie obciążała zbyt mocno już istniejącej konstrukcji. Nowy dach miałby konstrukcję mansardową. Dodatkowa kondygnacja pozwoli na zwiększenie powierzchni o dodatkowe 200 m^2 . Wynajem lub sprzedaż tak dużej powierzchni użytkowej w bardzo dobrej lokalizacji pokryje większą część kosztów modernizacji obiektu. Przy średnim koszcie mieszkania w Warszawie na poziomie ok. 18 tys. zł za m^2 dałoby to przychód na poziomie ok. 3,6 mln zł, co przewyższa szacowane koszty modernizacji. Zestawienie otrzymanych wartości współczynników przenikania ciepła w przypadku zaproponowanych rozwiązań wraz z obecnymi wymaganiami przedstawiono w tabeli 1.

W obiektach zabytkowych, szczególnie docieplanych w sposób niestandardowy, należy również sprawdzić ryzyko wystąpienia kondensacji powierzchniowej sprzyjającej rozwojowi grzybów pleśniowych (przede wszystkim w miejscach połączeń konstrukcyjnych) oraz ryzyko narastającej w latach kondensacji międzywarstwowej. Sporządzone obliczenia dotyczące ścian zewnętrznej ocieplanej od wewnątrz wykazały, że nie występuje narastająca w czasie kondensacja wewnątrz ściany.

Modernizacja instalacji centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i wentylacji. Rozważono dwa rozwiązania:

1) **zastosowanie automatyki do sterowania instalacją** po odłączeniu budynku od sieci ciepłowniczej i zastosowaniu powietrznych pomp ciepła na potrzeby c.o. i c.w.u. Zaproponowano też zamontowanie paneli fotowoltaicznych w formie dachówek fotowoltaicznych na dachu, które posłużą na pokrycie zapotrzebowania na energię pomocniczą. Szczegółowe analizy dotyczące np. ilości wyprodukowanej energii nie zostały zawarte w artykule ze względu na jego ograniczoną długość. W przypadku wymiany źródła ciepła na pompy ciepła należy uwzględnić wymianę grzejników na dostosowane do niższych parametrów. To sprawia, że taka opcja jest skomplikowana technicznie w realizacji;

2) zastosowanie automatyki do sterowania instalacją, pozostawiając budynek podłączony do sieci ciepłowniczej.

W obu rozwiązaniach należy zaizolować wszystkie przewody w kotłowni. Obecnie są one tylko częściowo zaizolowane. Modernizacja przewiduje zastosowanie lepszego układu regulacji grzejników z zaworem termostatycznym o działaniu PI, z wbudowanym automatycznym regulatorem ciśnienia różnicowego, zapewniającym zarówno regulację temperatury, jak i automatyczne równoważenie instalacji. W celu modernizacji instalacji c.o. zaproponowano zastosowanie zaworów o automatycznej regulacji temperatury w celu poprawienia układu regulacji w węźle. W przypadku instalacji c.w.u. zaleca się zastosowanie termostatycznych baterii czepalnych, których zadaniem jest zmniejszenie zużycia ciepłej wody użytkowej oraz zaworów do równoważenia termicznego, regulujących temperaturę w każdym pionie instalacji bez względu na odległość. Również w celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię do systemów c.o. i c.w.u. zaproponowano rozliczenia indywidualne, które sprawiają, że mieszkańcy zwracają większą uwagę na ilość zużytej energii. Można też zastosować zasobnik c.w.u. w węźle cieplnym budynku w celu poprawy wydajności pracy systemów. W obu rozwiązaniach zakłada się wymianę wentylacji grawitacyjnej na nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła.

Architektura i otoczenie. Przewidziano dwie opcje pokrycia dachowego (rysunek 1) i nadbudowy budynku, na którą powinien wyrazić zgodę konserwator zabytków (podobna nadbudowa została już wykonana na sąsiednim obiekcie, również objętym nadzorem konserwatora): **W pierwszej opcji** dach zostałby pokryty panelami fotowoltaicznymi. Zaletami takiego rozwiązania są:

- ograniczona ingerencja w zabytkowy wygląd kamienicy;
- lekki i tani montaż w porównaniu z rozwiązaniem „dach+panele”;



Rys. 1. Wizualizacja dwóch propozycji nadbudowy budynku: a) dach pokryty panelami fotowoltaicznymi; b) dach zielony ekstensywny

Fig. 1. Visualization of two proposals for building extension: a) roof covered with photovoltaic panels; b) extensive green roof

- możliwość użycia energii wytworzonej przez panele na pokrycie zapotrzebowania na energię pomocniczą;

- możliwość wykorzystania nadmiaru prądu w lecie do zasilania pompy ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej lub do zasilania wind proponowanych do zainstalowania podczas modernizacji.

W drugiej opcji zaproponowano wykonanie zielonego dachu z rozchodników. Zalety takiego rozwiązania są następujące:

- zapobieganie przegrzewaniu się poddasza;
- poprawa estetyki oraz zmniejszenie zapylenia;
- zapobieganie poburzowym podtopieniom;
- retencja wody i opóźnianie spływu deszczówki z dachu.

Istnieje możliwość montażu zewnętrznej windy przy południowej klatce schodowej. Druga winda przy półokrągłej klatce schodowej jest trudna do wpassowania bez naruszenia dostępności światła i metrażu miesz-

kań. Z tego powodu windę można będzie wjechać tylko na jedną, ostatnią kondygnację. Poprawia to dostępność mieszkań przy klatce schodowej numer 1 dla osób z niepełnosprawnością. Proponowane rozwiązania są widoczne na rysunku 2.

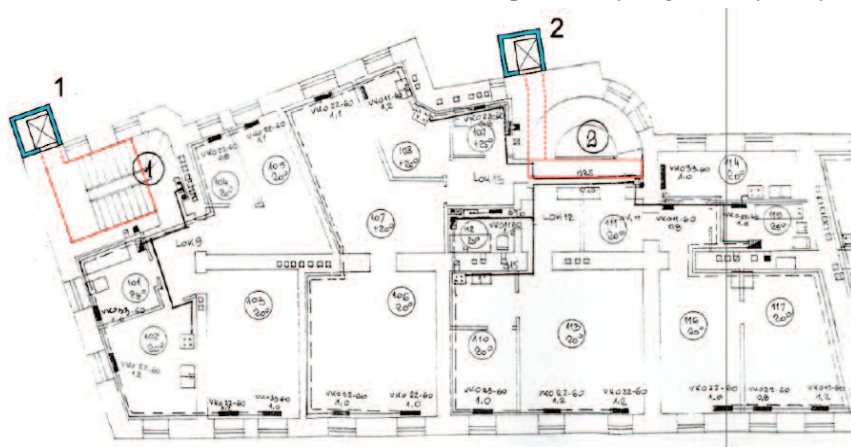
Istnieje możliwość wzniesienia dziedzińca przylegającego do ściany zachodniej na wysokość jednej kondygnacji w celu podwyższenia wartości obiektu, zwiększenia powierzchni biologicznie czynnej, stworzenia lepszej integracji oraz montażu wind. Takie działanie umożliwi też dostęp do bu-

dynku od strony ulicy Ordynackiej przez alternatywne wejście, odpowiednie dla osób z ograniczoną mobilnością ze względu na mniejszy spadek terenu na tej ulicy.

Efekty termomodernizacji

Efektywność energetyczna. Na potrzeby analizy wykonano obliczenia zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną i jej wskaźniki w stanie istniejącym oraz po wykonaniu termomodernizacji dwóch opisanych wariantów zgodnie z rozporządzeniem [11] w programie Auditor OZC. Nadbudowa o jedną kondygnację pozwoliła na zwiększenie zysków bytowych oraz zysków od promieniowania. Mimo że powierzchnia strat ciepła przez przenikanie się zwiększyła, to docieplenie przegród pozwoliło na prawie dwukrotne ich zmniejszenie. Jednocześnie znacząco zmniejszeniu uległy straty ciepła na wentylacji. Oba warianty dają bardzo zbliżone wyniki poprawy efektywności energetycznej (tabela 2).

Należy podkreślić, że dzięki zaproponowanym rozwiązaniom nie udało się spełnić wymagań dotyczących



Rys. 2. Rzut budynku z lokalizacją dostawionych wind

Fig. 2. Building plan with location of added lifts

Tabela 2. Porównanie zapotrzebowania na energię

Table 2. Comparison of energy demand

Charakterystyka	Stan obecny [kWh/m ² rok]	I opcja [kWh/m ² rok]	II opcja [kWh/m ² rok]
Jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową	154,2	46,4	45,8
Jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową wraz z urządzeniami pomocniczymi	214,9	33,3	74,6
Jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną wraz z urządzeniami pomocniczymi	197,2	79,1	81,9
Jednostkowe graniczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla budynku wg WT 2021		65,0	

wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP. W pierwszej opcji modernizacji, pompy ciepła byłyby zasilane energią elektryczną pochodzącą z sieci elektroenergetycznej. Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_1 w przypadku sieci jest wysoki i wynosi 2,5 (w momencie przeprowadzania obliczeń). Wpływa to na duże wartości EP. W drugiej opcji budynek byłby nadal podłączony do sieci elektroenergetycznej, ale średni współczynnik w_1 wynosiłby jedynie ok 0,9.

Budynek nie jest w stanie wyprodukować takiej ilości zielonej energii, która mogłaby zaspokoić jego potrzeby. Do pełnego jego zdekarbonizowania potrzebne jest wsparcie zewnętrzne. Realnie możliwość zdekarbonizacji byłaby możliwa przy zmianie krajowego miksu energetycznego lub zdekarbonizacji sieci ciepłowniczej, co nie było obszarem tego opracowania.

Redukcja emisji. Budynek jest obecnie zasilany w ciepło sieciowe. W Polsce jest ono produkowane najczęściej z paliw kopalnych, przede wszystkim węgla kamiennego, a to powoduje dużą emisję CO₂. Energia elektryczna w budynku jest pozyskiwana z sieci elektrycznej. To również wpływa na emisję zarówno CO₂, jak i innych zanieczyszczeń. Całkowite zestawienie emisji zanieczyszczeń przedstawiono w tabeli 3.

Obie opcje modernizacji budynku pozwalają na ograniczenie wszystkich analizowanych emisji zanieczyszczeń. W pierwszym wariantcie emisja dwutlenku węgla została ograniczona o 40%, a w drugim o 44%. Z danych tych wynika, że obie opcje termomodernizacji pozwalają znacznie zmniejszyć emisję szkodliwych substancji. Atutem pierwszej opcji jest to, że panele fotowoltaiczne wytwarzają rocznie 101 136 kWh energii elektrycznej,

co pokrywa zapotrzebowanie na energię pomocniczą oraz część zapotrzebowania na zasilenie urządzeń w części wspólnej budynku, takich jak oświetlenie klatki schodowej czy dziedzińca. Atutem drugiego rozwiązania jest pozostawienie istniejącego źródła ciepła i wykonanie zielonego dachu, pozwalającego na retencję opadów.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono, że:

1) działania termomodernizacyjne analizowanego budynku pozwoliły ograniczyć emisję CO₂ o 40% w przypadku wariantu I i o 44% wariantu II. Redukcje te uwzględniają fakt planowanej nadbudowy budynku i zwiększenia jego powierzchni ogrzewanej. Wykonanie dodatkowej kondygnacji pozwala na łatwiejszą realizację planowanych usprawnień, takich jak wykonanie instalacji PV lub dachu zielonego i wprowadzenie wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła. W przypadku nowych przegród dużo łatwiej jest spełnić obowiązujące wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej;

2) biorąc pod uwagę koszty prac termomodernizacyjnych, a jednocześnie odpowiednie parametry wytrzymałościowe budynków historycznych, należy rozważyć możliwość ich nadbudowy. Szacowany całkowity koszt termomodernizacji z nadbudową wyniósł w 2023 r. 2,6 – 2,9 mln zł w zależności od wybranej opcji. Wariant z zielonym dachem jest tańszym rozwiązaniem. Koszt termomodernizacji mógłby w znacznym stopniu zostać pokryty ze sprzedaży dodatkowych 200 m² powierzchni użytkowej na dobudowanej kondygnacji;

3) pełna zdekarbonizacja budynków zabytkowych będzie możliwa tylko w przypadku zdekarbonizacji dostarczanych do nich nośników energii, takich jak ciepło sieciowe i energia elektrycz-

na. Potencjał produkcji energii z OZE na miejscu jest zazwyczaj ograniczony. Wnioski takie wynikają nie tylko z zaprezentowanej analizy, ale także z projektu Inżynierowie Nowej Generacji realizowanego we współpracy Politechniki Warszawskiej, Ambasady Królestwa Danii, Miasta Warszawa i firmy Danfoss. Celem projektu było opracowanie planów zdekarbonizacji wybranych budynków w Warszawie do 2050 r.

Literatura

[1] Raport końcowy „Wpływ na rynek pracy programu głębokiej modernizacji energetycznej budynków w Polsce, 17 stycznia 2012 r., Opracowano dla European Climate Foundation by The Center for Climate Change and Sustainable Energy Policy Central European University Budapeszt.

[2] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.

[3] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast), COM/2021/802 final.

[4] Uchwała nr LXII/1667/2018 Rady m.st. Warszawy z 1 marca 2018 r., Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta stołecznego Warszawy.

[5] Kaliszuk-Wietecha A, Muchorowska M. Fort Bema jako przykład potencjału termomodernizacyjnego zabytkowych budynków militarnych. Materiały Budowlane. 2023. DOI: 10.15199/33.2023.01.

[6] Firląg S, Kaliszuk-Wietecha A, Miszcuk A. Plan zdekarbonizacji budynków w Warszawie – badania termowizyjne. Materiały Budowlane. 2023. DOI: 10.15199/33.2023.02.

[7] PN-EN 13187 Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – metoda podczerwieni.

[8] PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

[9] PN-EN ISO 13370 Ciepłe właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.

[10] Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 15 kwietnia 2022 r., Dz.U. 2022 poz. 1225.

[11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2015 poz. 376) wraz późniejszymi zmianami.

Przyjęto do druku: 24.01.2024 r.

Tabela 3. Porównanie całkowitej emisji przed i po modernizacji

Table 3. Comparison of total emissions before and after retrofit

Stan budynku	SO ₂ [kg/rok]	NO ₂ [kg/rok]	CO [kg/rok]	CO ₂ [t/rok]	Pyły [kg/rok]
Stan obecny	207,4	166,6	21,7	122,6	4,78
I opcja termomodernizacji	194,5	92,0	2,3	73,1	3,07
II opcja termomodernizacji	132,7	90,7	9,4	68,1	2,71