

dr inż. Beata Sadowska¹⁾
ORCID: 0000-0003-2866-3685
dr inż. Wiesław Sarosiek^{2)*}

Planowane i osiągnięte efekty energetyczne oraz ekologiczne termomodernizacji grupy budynków użyteczności publicznej

Planned and achieved energy and ecological effects of thermomodernization of a group of public buildings

DOI: 10.15199/33.2022.03.04

Streszczenie. W latach 2013 – 2015 przeprowadzono termomodernizację 24 budynków użyteczności publicznej. W artykule przedstawiono oszczędności energii i redukcję emisji CO₂ określone w audytach energetycznych oraz wyznaczone na podstawie monitoringu zużycia paliw i energii podczas eksploatacji budynków w 2020 r. Zwrócono uwagę na zróżnicowanie odchyleń efektów energetycznych i ekologicznych w przypadku zmiany źródła ciepła. Osiągnięto zmniejszenie zużycia energii o 37,7% ÷ 92,2%. Planowane i rzeczywiste efekty energetyczne różniły się o 29,5%, a rzeczywista redukcja CO₂ była większa od planowanej o 1,39%.

Słowa kluczowe: termomodernizacja; budynek użyteczności publicznej; oszczędności; energia; ekologia.

Abstract. In 2013–2015, thermal modernization was carried out in a group of 24 public buildings. The article presents energy savings and CO₂ emission reductions planned in energy audits and determined based on fuel and energy consumption monitoring during the operation of buildings in 2020. The attention was paid to the significant differentiation of the deviations of energy and ecological effects in the case of a change of the heat source. A reduction in energy consumption of between 37,7% and 92,2% was achieved. The planned and actual energy effects differed by 29,5%, and the actual reduction of CO₂ was higher than planned by 1,39%.

Keywords: thermomodernization; public building; savings; energy; ecology.

Obecnie priorytetem na całym świecie jest zwiększanie efektywności energetycznej sektora budowlanego, gdyż jest on odpowiedzialny za niemal 40% zużycia energii [12]. Mimo że działania legislacyjne i środki wdrażane w ciągu ostatnich 20 lat wpłynęły na zwiększenie energooszczędności zasobów budowlanych [7], to nadal wiele budynków (wg raportu JRC [5] prawie 75%) jest nieefektywnych energetycznie zgodnie z obowiązującymi standardami. Sektor budowlany odpowiada również za prawie 38% całkowitej globalnej emisji CO₂ związanej z energią [12], więc podejmowanie działań w tym sektorze ma kluczowe znaczenie dla realizacji celu, jakim jest osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r. Długoterminowe cele energetyczno-klimatyczne określone zostały w Długoterminowej Strategii

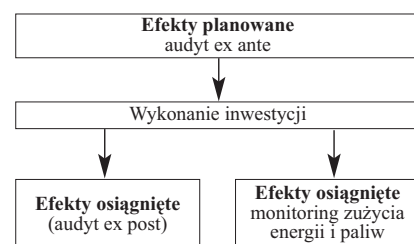
UE [3], a głównym narzędziem legislacyjnym i politycznym, które koncentruje się zarówno na nowych, jak i istniejących budynkach, jest dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (2010/31/EPBD) [2] znówelizowana w 2018 r.

W październiku 2020 r. Komisja Europejska uruchomiła falę renowacji [4], w celu podwojenia unijnego rocznego wskaźnika renowacji budynków, związanych z energią (obecny wskaźnik wynosi 1%) przez modernizację 35 mln budynków do 2030 r. Z [6, 9, 10, 13] wynika, iż głęboka termomodernizacja pozwala na zmniejszenie zużycia energii o 35 – 85%. Największe efekty uzyskuje się po wykonaniu termomodernizacyjnych prac budowlanych oraz wymianie instalacji c.o., c.w.u., oświetlenia i źródła ciepła.

Analizę potencjału termomodernizacji przedstawiono w dokumencie „Strategia modernizacji budynków: mapa drogowa 2050” [11]. Zespół ekspertów z Krajowej Agencji Poszanowania Energii (KAPE) i Narodowej Agencji Posza-

nowania Energii (NAPE) przygotował zestawienie kilkunastu budynków referencyjnych różnego przeznaczenia, w przypadku których, przy wykorzystaniu autorskiej metody, oszacował ekonomiczny i techniczny potencjał termomodernizacji przy różnych scenariuszach strategii jej przeprowadzania.

Stosowane są dwie metody weryfikacji zgodności uzyskanych efektów z zadeklarowanymi w umowie o dofinansowanie (rysunek 1). Monitorowanie zużycia energii lub paliwa w całym sezonie ogrzewczym lub kilku kolejnych sezonach i sprawdzenie, na ile uzyskane



Rys. 1. Sposoby potwierdzenia uzyskanych efektów termomodernizacji budynku

Fig. 1. Methods of confirming the obtained effects of thermomodernization of the building

¹⁾ Politechnika Białostocka; Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

²⁾ Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A. o/Białystok

^{*} Adres do korespondencji: wsarosiek@op.pl

efekty są zgodne z audytem energetycznym ex ante, jest bardziej sensowne, gdyż jesteśmy pewni uzyskanych efektów w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

W artykule przedstawiono wyniki monitoringu efektywności termomodernizacji grupy budynków użyteczności publicznej zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce z uwzględnieniem aspektu energetycznego i ekologicznego (redukcja emisji CO₂).

Opis budynków poddanych termomodernizacji

W latach 2012 – 2013 wykonano audyty energetyczne 24 budynków użyteczności publicznej [1], zlokalizowanych w dziewięciu gminach zrzeszonych w Stowarzyszeniu Gmin Górnej Narwi. Można je podzielić na trzy grupy, tj. budynki oświaty; służby zdrowia; kultury (jeden obiekt to budynek administracyjny). Wszystkie wzniesiono w technologii tradycyjnej lub tradycyjnej udoskonalonej, niektóre z wykorzystaniem elementów technologii wielkblokowej. W tabeli 1 zestawiono wybrane, istotne z punktu widzenia termomodernizacji, parametry omawianych budynków. Zakres prac wykonywanych w poszczególnych budynkach był różny i zależał od stanu technicznego budynku w momencie wykonywania audytu. W niektórych przypadkach przeprowadzono kompleksową termomodernizację obejmującą poprawę jakości termicznej struktury budynku, modernizację lub wymianę instalacji c.o. i c.w.u. oraz źródła ciepła, czasami z zamianą wykorzystywanego paliwa. W kilku, głównie mniejszych obiektach, wykonano wyłącznie wymianę instalacji c.o. oraz ewentualnie wymianę źródła ciepła.

Analiza efektów

Efekty energetyczne i ekologiczne termomodernizacji zostały wyznaczone na podstawie ilości rzeczywiście zużytego przez budynek paliwa lub energii. Bezpośredni pomiar energii Q_K dotyczył budynków zasilanych z miejskich systemów ciepłowniczych (MSC) i z sieci elektroenergetycznej. W przypadku pozostałych budynków (ze źródłami ciepła na gaz, olej opałowy, węgiel czy biomasę) ilość energii wyznaczano na podstawie ilości zużytego paliwa i war-

Tabela 1. Parametry charakteryzujące modernizowane budynki

Table 1. Parameters of modernized buildings

L.p.	Rok budowy	Kubatura [m ³]	Powierzchnia [m ²]	Zakres modernizacji	Moc cieplna [kW]		Rodzaj paliwa (źródło ciepła) c.o./c.w.u.	
					przed	po	przed	po
1	1984	9 745	3 045	instalacje	132	132	gaz	gaz
2	1937	3 647	1 148	docieplenie; instalacje	96	67	olej opałowy	olej opałowy
3	1930/81	3 561	1 026		144	72	gaz	gaz
4	1970	1 390	374		98	33	gaz	gaz
5	1980	3 711	1 108	docieplenie; instalacje; źródło ciepła	146	81	węgiel	ekogroszek
6	1975	7 955	2 482	docieplenie; instalacje	311	193	olej opałowy/energia elektryczna	olej opałowy/energia elektryczna
7	1930	3 248	1 100	docieplenie; instalacje	104	53	węgiel	węgiel
8	1925/75	610	229	docieplenie; instalacje; źródło ciepła	32	15	węgiel/energia elektryczna	węgiel/energia elektryczna
9	1995	10 889	3 757	docieplenie	215	185	olej opałowy	olej opałowy
10	1959	2 804	776	docieplenie; instalacje	124	62	olej opałowy/energia elektryczna	olej opałowy/energia elektryczna
11	1974	3 533	1 046		88	56	olej opałowy	olej opałowy
12	1974	3 129	955		72	45	olej opałowy	olej opałowy
13	1969	2 768	683		110	56	olej opałowy	olej opałowy
14	1937	2 744	753		140	65	gaz/energia elektryczna	gaz/energia elektryczna
15	1790	695	257		35	17	węgiel/energia elektryczna	olej/energia elektryczna
16	1972/83	14 123	4 093		399	219	MSC węzeł (20% gaz i 80% drewno)	MSC węzeł (20% gaz i 80% drewno)
17	1960	8 234	2 423	instalacje; docieplenie; źródło ciepła	307	188	gaz/energia elektryczna	gaz
18	1994	5 110	1 476	instalacje; docieplenie; źródło ciepła	169	80	olej opałowy	olej opałowy
19	1975	5 263	1 320	stolarka; instalacje	76	73	MSC węzeł (20% gaz i 80% drewno)	MSC węzeł (20% gaz i 80% drewno)
20	1975	737	230	instalacje; źródło ciepła	15	15	olej opałowy/energia elektryczna	biomasa/energia elektryczna
21	1954	1 064	260		21	21	olej opałowy/energia elektryczna	biomasa/energia elektryczna
22	1968	2 522	606		32	32	olej opałowy/energia elektryczna	biomasa/energia elektryczna
23	1970	21 853	7 275	ocieplenie; instalacje	587	403	gaz	gaz
24	1987	1 911	637	ocieplenie	68	40	gaz	gaz

tości opałowej zadeklarowanej przez dostawcę:

$$Q_K = B \cdot WO \text{ [GJ]} \quad (1)$$

gdzie:

B – ilość zużytego paliwa [m³; t];
WO – wartość opałowa zadeklarowana przez dostawcę [MJ/m³; MJ/kg].

Redukcję emisji CO₂ wyznaczono wg wzoru:

$$E_{CO_2} = Q_K \cdot WE \text{ [kg/GJ]} \quad (2)$$

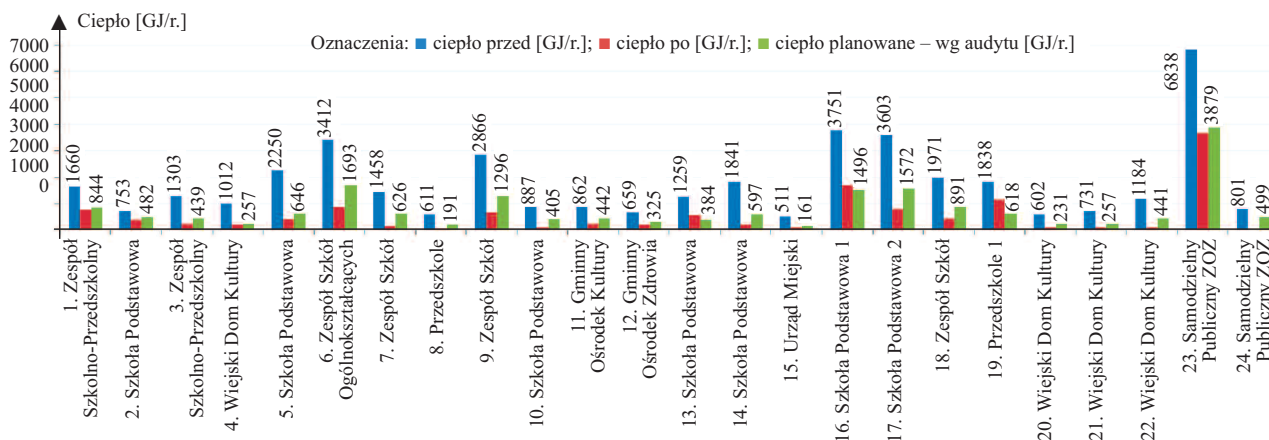
gdzie:

WE – wskaźnik emisji CO₂ [kg/GJ] na podstawie danych KOBIZE [8].

Na rysunkach 2 i 3 pokazano oszczędności energetyczne, które planowano oraz osiągnięto w konkretnym sezonie ogrzewczym, w wyniku przeprowadzo-

nej termomodernizacji. Ze względu na niewielkie (kilka %) rozbieżności w liczbie stopniodni pomiędzy sezonem obliczeniowym (audyt ex ante) oraz rzeczywistym (2020 r.) zrezygnowano z przeliczania. Tylko w przypadku trzech budynków nie udało się osiągnąć w warunkach eksploatacyjnych wyznaczonej w audytach energetycznych oszczędności energii (obiekty nr 13, 16 i 19). W pozostałych przypadkach przekroczono planowane oszczędności o ponad 20 punktów procentowych (budynki nr 6, 7, 8, 10, 11, 14, 17, 20, 21, 22).

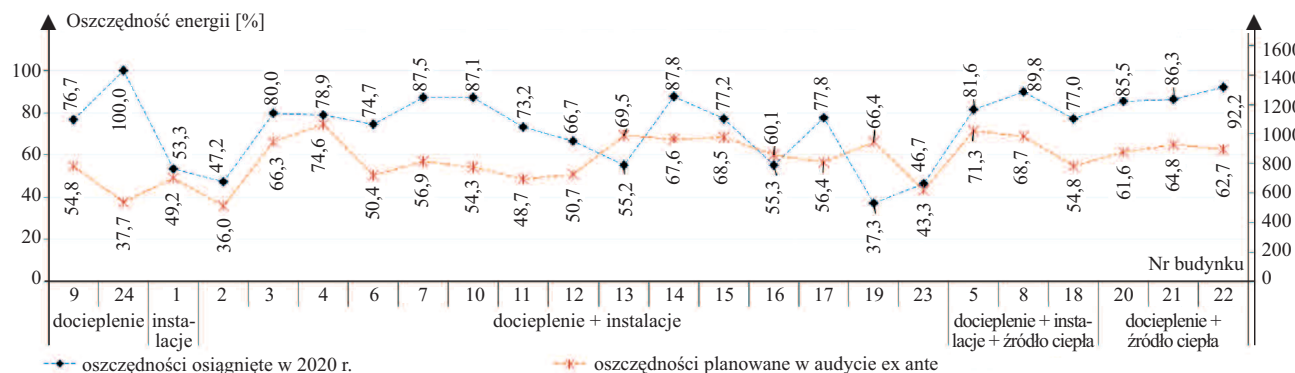
Podział obiektów w zależności od zakresu przeprowadzonej termomodernizacji przedstawiono na rysunku 3. Roz-



(budynki nr 23 i 24 zasilane są po modernizacji z jednego źródła ciepła, więc energia po modernizacji przypisana do budynku nr 23 zawiera również energię użytą przez budynek nr 24)

Rys. 2. Zapotrzebowanie na energię cieplną i jej rzeczywiste zużycie w analizowanych budynkach w 2020 r.

Fig. 2. Energy demand and its actual consumption in the analyzed buildings in 2020



Rys. 3. Planowane i osiągnięte oszczędności energii w zależności od zakresu termomodernizacji

Fig. 3. Planned and achieved energy savings divided according to the scope of the modernization

bieżności pomiędzy planowaną i osiągniętą oszczędnością energii (określane procentowo) nie mają jednoznacznego związku ani z zakresem przeprowadzonych inwestycji modernizacyjnych, ani z wiekiem budynku.

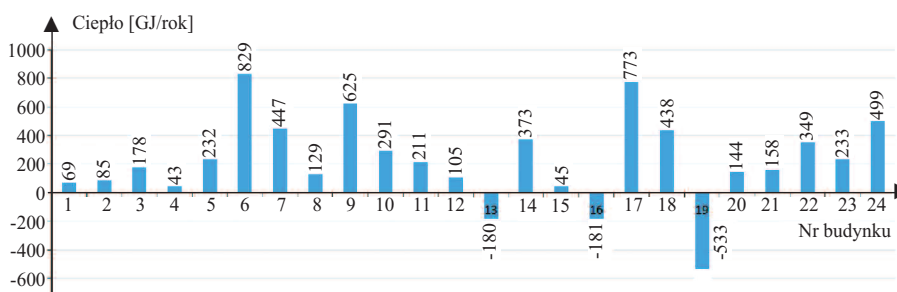
Planowane w audytach energetycznych ex ante (obliczeniowe) zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej w wyniku modernizacji rozpatrywanych budynków wynosiło $36 \div 74,6\%$, natomiast oszczędności energii obliczone na podstawie zużycia paliw oraz pomiaru energii podczas eksploatacji analizowanych budynków w 2020 r. to $37,3 \div 92,2\%$. (rysunek 3). Tak duże zmniejszenie zapotrzebowania na energię możliwe było w przypadku budynków o słabej charakterystyce energetycznej i w warunkach oszczędnej eksploatacji. Podobnie, wyłącznie wpływem eksploatacji, można tłumaczyć nieuzyskanie zaplanowanej oszczędności energii w przypad-

ku trzech budynków oświaty (obiekty nr 13, 16 i 19 – rysunki 2, 3 i 4).

Na rysunku 5 pokazano oszczędności energetyczne uzyskane w 2020 r. w zależności od rodzaju paliw stosowanych w źródłach ciepła zmodernizowanych budynków. Zwraca uwagę niewielki, jak na krajowe standardy, udział węgla przy dużym udziale gazu sieciowego i oleju opałowego. Wyjaśnienia wymaga ujemny bilans oszczędności przypisany do energii elektrycznej. Wynika z faktu, że w jednym z obiektów (nr 10) podczas wykony-

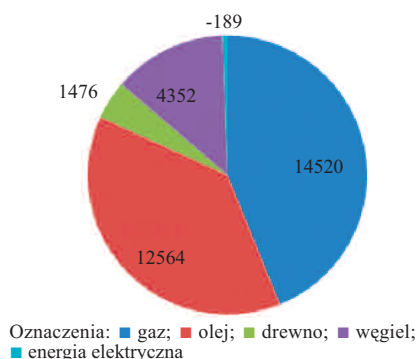
wania inwestycji zmieniono pierwotnie planowany kocioł olejowy na pompę ciepła z wymiennikiem gruntowym, co spowodowało zwiększenie efektu energetycznego na poziomie energii końcowej przy jednoczesnym zwiększeniu zużycia energii elektrycznej (napęd pompy ciepła).

Całkowita oszczędność energii spowodowana przeprowadzonymi pracami modernizacyjnymi w analizowanych 24 budynkach wyniosła 9,090 GWh/r., czyli 781,6 toe/r. Oznacza to, że w 2020 r. zaoszczędzono o 29,5% więcej energii



Rys. 4. Nadwyżka osiągniętego efektu energetycznego w poszczególnych budynkach

Fig. 4. The surplus of the achieved energy effect in individual buildings



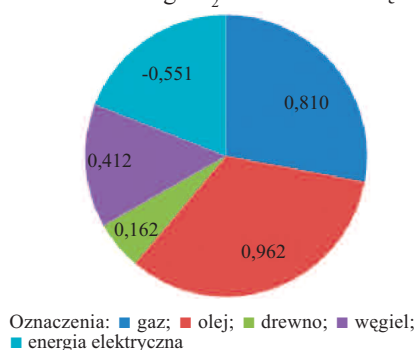
Rys. 5. Oszczędność energii cieplnej [GJ/rok] w grupie 24 budynków użyteczności publicznej w podziale na paliwa

Fig. 5. Energy savings [GJ/y] in the group of 24 public buildings, divided by fuel type

w porównaniu z ilością zaplanowaną podczas przygotowywania modernizacji.

Redukcję CO₂ wyznaczono, wykorzystując dane o poszczególnych paliwach i energii zużytych w 2020 r. i wskaźniki KOBiZE do obliczania emisji za 2014 r. (w przypadku takich wskaźników wyznaczono emisję w audytach energetycznych i te same wskaźniki zastosowano w przypadku emisji rzeczywistej w 2020 r.). Z rysunku 6 wynika, że **największą redukcję emisji CO₂ odnotowano w przypadku oleju opałowego**, co wynika z faktu, iż duża część zapotrzebowania na energię pokrywana jest z tego źródła i jednocześnie (w przypadku kilku budynków) nastąpiła zamiana tego paliwa na biomasę.

Sumaryczna redukcja emisji CO₂ wyznaczona na podstawie zużycia paliw oraz energii osiągnięta w 2020 r. w wyniku wykonania przedsięwzięć termomodernizacyjnych w analizowanej grupie budynków użyteczności publicznej wyniosła 1 795 MgCO₂. Jest to ilość więk-



Rys. 6. Redukcja emisji CO₂ [tys. ton/rok] w grupie 24 budynków użyteczności publicznej w podziale na paliwa

Fig. 6. Reduction of CO₂ emissions [1000 t/y] in the group of 24 public buildings, divided by fuel type

sza od zaplanowanej na podstawie audytów energetycznych ex ante o 1,39%.

Zwraca uwagę rozbieżność pomiędzy uzyskanymi efektami energetycznymi (oszczędność energii) i ekologicznymi (redukcja emisji CO₂). Wynika ona z tego, że „nie wykonano” zaplanowanej oszczędności energii elektrycznej (rysunek 5), która charakteryzuje się wysokimi wskaźnikami emisji CO₂, co przełożyło się na znaczny ujemny efekt redukcji CO₂ (rysunek 6). Dodatkowym powodem było nieuzyskanie planowanych efektów w dwóch obiektach zasilanych z MSC (80% paliwa to drewno), podczas gdy obliczenia przeprowadzono na podstawie rzeczywistych wskaźników emisji CO₂ w przypadku drewna, które są bardzo duże (większe niż węgla).

Podsumowanie

■ Sprawdzenie efektów energetycznych oraz ekologicznych osiągniętych w wyniku modernizacji należy prowadzić na podstawie pomiaru zużytej energii (paliwa), ponieważ tylko w ten sposób można wykazać rzeczywiste eksploatacyjne walory energetyczne budynku. Audyt ex post nie uwzględnia specyfiki eksploatacji budynku, a więc jego wyniki są zawsze mniej lub bardziej odległe od stanu rzeczywistego.

■ Dobrze zaplanowana i przeprowadzona termomodernizacja umożliwia uzyskanie znacznej oszczędności energii oraz redukcję emisji CO₂.

■ Zmiana źródła ciepła pozwala znacznie zwiększyć zarówno oszczędności energetyczne, jak i redukcję emisji CO₂.

■ Zamieniając źródła ciepła z kotłami energetycznymi na pompy ciepła napędzane elektrycznie, trzeba pamiętać, że pomimo efektownej obniżki energii końcowej przyniesie to znaczny wzrost zużycia energii elektrycznej, co jest związane z niekorzystnym wpływem na uzyskiwany efekt ekologiczny.

■ W przypadku modernizacji obiektów ze źródłami ciepła opalanych biomasą wyznaczenie rzeczywistej emisji CO₂ wymaga bezwzględnie stosowania rzeczywistych wskaźników emisji (KOBiZE); dozwolone w handlu emisjami stosowanie zerowych wskaźników emisji CO₂ powoduje istotne przekłamanie wyników.

■ Należy zwracać uwagę na „nieprzekładalność” redukcji energii na redukcję

emisji (np. CO₂) w przypadku zamiany źródeł ciepła i stosowanych paliw oraz w przypadku stosowania pomp ciepła i źródeł opalanych biomasą.

Literatura

- [1] Audyty energetyczne 24 budynków użyteczności publicznej wykonane w białostockim Oddziale Nape S.A. w latach 2012 – 2013.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.
- [3] European Commission. 2018. „A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.”
- [4] European Commission. 2018. „A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives”. 14.10.2020.
- [5] Filippidou F., J. P. Jimenez Navarro. 2019. Achieving the cost-effective energy transformation of Europe’s buildings, EUR 29906 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-12394-1, DOI 10.2760/278207, JRC117739.
- [6] Fundacja WWF Polska (2020). Zeroemisyjna Polska 2050: 8; <https://www.wwf.pl/Zeroemisyjna-Polska> (dostęp: 29.12.2021).
- [7] Heim Dariusz. 2020. „Mechanizmy poprawy efektywności energetycznej budynków”. *Isolacje* 251 (11/12): 19 – 22.
- [8] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami: Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2011 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2014. Warszawa grudzień 2013.
- [9] Sadowska Beata. 2018. „Effects of deep thermal modernization and use of renewable energy in public buildings in north-eastern Poland”. *Engineering for Rural Development, Engineering for Rural Development*, 1870 – 1875. DOI: 10.22616/ER-Dev2018.17. N447.
- [10] Sarosiek Wiesław, Beata Sadowska. 2016. „Planowane i rzeczywiste efekty termomodernizacji budynków użyteczności publicznej w gminie Zbójna”. *Materiały Budowlane* 521 (1): 26 – 27. DOI 10.15199/33.2016.01.08.
- [11] Strategia modernizacji budownictwa: mapa drogowa 2050, praca zbiorowa zrealizowana przez pracowników: Instytutu Ekonomiki Środowiska (IES), Buildings Performance Institute Europe (BPIE), Narodowej Agencji Poszanowania Energii SA (NAPE), Krajowej Agencji Poszanowania Energii SA (KAPE) oraz PwC, <http://renowacja2050.pl/files/raport.pdf> (dostęp: 29.12.2021).
- [12] United Nations Environment Programme (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- [13] Węglarz Arkadiusz. „Kluczowe wyzwania stojące przed polskim budownictwem energooszczędnym w 2020 roku”. *Materiały Budowlane* 569 (1): 11 – 13.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr WZ/WB-IIL/5/2019 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Przyjęto do druku: 25.01.2022 r.