

Natalia RZESZOWSKA (orcid id: 0000-0002-8941-7800)

Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

TERMOMODERNIZACJA BUDYNKU SZKOŁY PUBLICZNEJ W CELU OBNIŻENIA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ PIERWOTNĄ OBIEKTU

W wyniku nowelizacji przepisów prawa związanych z efektywnością energetyczną obiektów budowlanych zdecydowana większość budynków musi zostać zmodernizowana w celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię pierwotną. Szczególne zadanie stoi przed zarządcami i właścicielami budynków użyteczności publicznej, gdyż współczynniki EP dla tej grupy obiektów ustalono jako najniższe. Celem badań było określenie efektywnego sposobu na obniżenie zapotrzebowania na energię pierwotną obiektu, a następnie prezentacja termomodernizacji, której efektem jest obiekt spełniający aktualne wytyczne określone w Warunkach Technicznych dla budynków nowo wznoszonych po 2017 roku. Wartości EU, EP, EK zostały oszacowane na podstawie dokumentacji technicznej poszczególnych urządzeń oraz dostępnej literatury.

Słowa kluczowe: budynki użyteczności publicznej, szkoła, efektywność energetyczna, OZE, energia pierwotna, termomodernizacja

WPROWADZENIE

Budynek jest efektem procesu inwestycyjnego, który łączy w sobie rozwiązania architektoniczne, konstrukcyjne i instalacyjne, tworząc w ten sposób obiekt oddziałujący na środowisko naturalne. W wyniku optymalnego zastosowania rozwiązań technicznych wewnątrz bryły budynku tworzy się mikrośrodowisko spełniające potrzeby i oczekiwania użytkowników [1]. Te rozwiązania powinny nie tylko skupiać się na komforcie ludzi korzystających z obiektu budowlanego, ale również na jego wysokiej efektywności energetycznej idącej w parze z minimalizacją oddziaływania na środowisko.

W artykule na przykładzie budynku szkoły publicznej w Słubicach omówiono zagadnienie termomodernizacji budynków użyteczności publicznej, której efektem jest budynek dostosowany do aktualnie obowiązujących Warunków Technicznych określonych dla obiektów nowo wznoszonych. W kolejnych punktach przedstawiono propozycję działań, których celem jest obniżenie zapotrzebowania na energię całego obiektu, a tym samym poprawa wartości parametrów odpowiadających za efektywność energetyczną budynku.

1. PODSTAWY PRAWNE

Z dniem 1 stycznia 2014 r. w wyniku nowelizacji Warunków Technicznych budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody

użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych - również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie wymagań minimalnych [2]. Wymagania minimalne dla budynku projektowanego są następujące:

- **Wymagania całościowe:** Zapewnienie odpowiedniego poziomu wskaźnika EP [kWh/(m²·rok)], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną
- **Wymagania szczegółowe:** Przegrody i wyposażenie techniczne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej

W przypadku budynków podlegających przebudowie wymagania minimalne uznaje się za spełnione, jeśli budynek spełnia jedynie wymagania szczegółowe [2]. Poważne zadanie stoi przed zarządcami i właścicielami budynków użyteczności publicznej, gdyż współczynniki EP dla tej grupy obiektów ustalono jako najniższe. Ponadto w myśl dyrektywy 2012/27/UE [3] wszystkie budynki użyteczności publicznej powinny prezentować możliwości nowoczesnych technologii i systemów, które znacząco obniżają energochłonność obiektów, generując przy tym niższe koszty eksploatacyjne [4].

2. TERMOMODERNIZACJA OBIEKTÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Inwestycja związana z poprawą efektywności energetycznej obiektu wiąże się z przeprowadzeniem szczegółowej analizy zużycia energii, sprawności instalacji oraz potencjału oszczędności. W artykule [5] autorzy prezentują termomodernizację 10 greckich szkół, której głównym celem jest podniesienie ich klasy energetycznej do kategorii B lub wyższej. Poziom efektywności energetycznej w stanie istniejącym omawianych obiektów jest bardzo zróżnicowany - od klasy energetycznej C aż do bardzo niskiej G. Dzięki wprowadzeniu do budynków energii pozyskanej z OZE oraz zastąpieniu istniejącego wyposażenia instalacji oświetlenia bardziej efektywnym, m.in. żarówki typu LED, wszystkie budynki zrealizowały obrany cel. Przedstawione przedsięwzięcie potwierdza istotność twierdzenia, iż energia pozyskiwana z odnawialnych źródeł pozwala w znacznym stopniu podwyższyć efektywność energetyczną obiektu poprzez obniżenie zapotrzebowania na energię pierwotną. Baran i inni [6] poddali analizie termomodernizację trzech budynków uniwersyteckich w Rumunii. Tym razem planowane przedsięwzięcie obejmowało jedynie dodatkowe ocieplenie zewnętrznych przegród nieprzezroczystych budynku: ścian zewnętrznych, tarasu oraz podłogi na gruncie. Głównym celem proponowanych działań było dostosowanie obiektów do aktualnie obowiązujących krajowych wytycznych określających budynki „niemal zero-energetyczne” (nZEB). Oceny dokonano na podstawie wartości zapotrzebowania budynku na energię pierwotną (EP) na potrzeby ogrzewania oraz wbudowanego oświetlenia. W efekcie wszystkie omawiane budynki podwyższyły swoją efektywność energetyczną, natomiast tylko jeden z nich osiągnął wartość wskaźnika EP poniżej wartości

dopuszczalnej. Na podstawie powyższego artykułu dowiedziono, iż wyłączna inwestycja w osłonę zewnętrzną budynku często nie pozwoli znacząco obniżyć wartości wskaźnika EP. Zatem ponownie potwierdzone zostaje znaczenie modernizacji instalacji oraz zastosowania odnawialnych źródeł energii w procesie podwyższania efektywności energetycznej obiektów użyteczności publicznej.

Temat energooszczędności budynków istniejących jest coraz szerzej omawiany również w Polsce. Efekt realizacji przykładowego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego budynku szkoły został zaprezentowany m.in. w artykule [7], którego przedmiotem rozważań jest niepodpiwniczony, dwukondygnacyjny budynek szkoły podstawowej w Topólcie o powierzchni ogrzewanej 2449,23 m². Analiza pomija energię potrzebną do oświetlenia wbudowanego w budynku. Autorzy przedstawili przykład termomodernizacji obiektu obejmującej ocieplenie ścian budynku i stropodachu, wymianę stolarki otworowej, wykonanie kompleksowej modernizacji instalacji c.o., polegającej na montażu kotła na pelet z pełną automatyką pracy kotła, oraz poprawę sprawności wytwarzania i akumulacji ciepłej wody użytkowej [7]. W efekcie współczynniki przenikania ciepła przez przegrody osiągnęły niższe wartości niż maksymalne dla WT2019, a wskaźnik EP osiągnął wartość 18,94 kWh/m²rok (przed termomodernizacją - 428,80 kWh/m²rok). Realizacja tej inwestycji w skuteczny sposób dostosowuje parametry techniczne budynku do aktualnie obowiązujących, a tym samym poprawia charakterystykę energetyczną istniejącego budynku szkoły.

W następnym punkcie na przykładzie budynku szkoły publicznej omówiono zagadnienie termomodernizacji oraz zastosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach użyteczności publicznej. Efektem zaproponowanych ulepszeń jest obiekt, którego wartości parametrów odpowiedzialnych za efektywność energetyczną spełniają warunki określone dla nowo budowanych obiektów po 2017 roku.

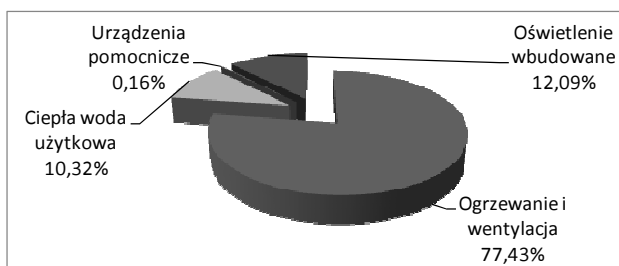
3. BUDYNEK SZKOŁY PRZED TERMOMODERNIZACJĄ

Przedmiotem badań jest budynek szkoły zlokalizowany w Słubicach w województwie lubuskim. Bryła obiektu została zbudowana na planie kilku prostokątów, budynek jest dwukondygnacyjny w większości podpiwniczony. Całkowita ogrzewana powierzchnia budynku wynosi 3224,12 m² [8]. Na działce oprócz istniejącego budynku znajdują się również boiska sportowe, bieżnia oraz tereny zielone.

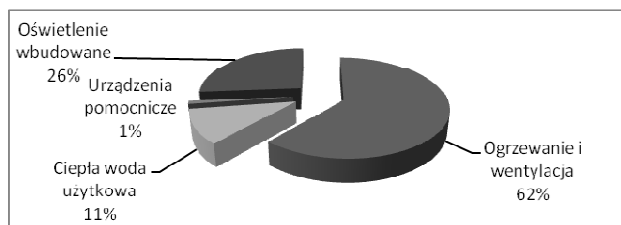
Na podstawie audytu szkoły z 2011 roku przeprowadzono analizę udziału zapotrzebowania na energię pierwotną oraz końcową przez poszczególne instalacje obiektu. Celem tej analizy było określenie najbardziej efektywnych ulepszeń modernizacyjnych (rys. 1).

Największy udział w zapotrzebowaniu na energię końcową ma energia potrzebna do ogrzania oraz wentylacji budynku, natomiast na drugim miejscu znajduje się ilość energii potrzebna do oświetlenia całego obiektu (rys. 2). W przypadku energii pierwotnej proporcje układają się podobnie, jednak procentowy udział energii do oświetlenia rośnie ponad 2-krotnie, gdy udział energii do ogrzania i wentylacji spada. W związku z tym instalacja oświetlenia wbudowanego wykazuje potencjał w zakresie oszczędności energii pierwotnej, a ponadto może skutecznie obniżyć

wartość wskaźnika EP dla całego budynku, który w sytuacji podnoszenia charakterystyki energetycznej jest wartością referencyjną.



Rys. 1. Udział poszczególnych instalacji w całkowitym zapotrzebowaniu na energię końcową (EK) (opracowanie własne na podstawie [8])



Rys. 2. Udział poszczególnych instalacji w całkowitym zapotrzebowaniu na energię pierwotną (EP) (opracowanie własne na podstawie [8])

W kolejnej części przedstawiono przykład inwestycji w modernizację instalacji oświetlenia oraz termomodernizację osłony budynku wraz z wymianą zewnętrznej stolarki otworowej, a następnie przeprowadzono analizę wybranych parametrów charakterystyki energetycznej. Wartości EU, EP, EK są wielkościami oszacowanymi na podstawie dokumentacji technicznej poszczególnych urządzeń oraz dostępnej literatury.

4. TERMOMODERNIZACJA BUDYNKU

Przedsięwzięcie termomodernizacyjne zostało podzielone na dwa etapy, z których każdy realizuje następujące ulepszenia:

ETAP 1: Modernizacja osłony budynku (tab. 1)

- Ocieplenie ścian zewnętrznych piwnic i przyziemia z cegły pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej (51 i 38 cm) styropianem XPS o grubości 10 cm i współczynniku $\lambda = 0,029 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zastosowanie izolacji przeciwwilgociowej w formie folii kubełkowej.
- Ocieplenie ścian zewnętrznych nadziemia z cegły pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej (51 i 38 cm) styropianem o grubości 15 cm i współczynniku $\lambda = 0,031 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Ocieplenie stropodachów opartych na stropie Akermana granulatem celulozowym o grubości 25 cm i i współczynnika $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Wymiana stolarki otworowej w całym obiekcie, zarówno okien, jak i drzwi zewnętrznych, w celu uzyskania współczynników przenikania ciepła zgodnych z wymaganiami WT2019.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na energię - etap 1 (opracowanie własne)

	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową						
Wartość [kWh/(m ² rok)]	56,45	–	15,23	–	–	71,68
Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową						
Wartość [kWh/(m ² rok)]	62,72	–	25,62	1,16	30,00	119,5
Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię pierwotną						
Wartość [kWh/(m ² rok)]	68,99	–	46,68	3,47	90,00	209,14

ETAP 2: Modernizacja oświetlenia wbudowanego (tab. 2)

- Oświetlenie boiska sportowego oraz boiska wielofunkcyjnego:
 - 10 x hybrydowe lampy LED zasilane przez panele fotowoltaiczne i turbiny wiatrowe, każda z opraw o mocy 48 W,
- Oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne budynku szkoły:
 - 2 x turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu ($\varnothing 1,8 \text{ m}$) i mocy znamionowej 1 kW,
 - 2 komplety paneli fotowoltaicznych o powierzchni 150 m² o mocy 27 kWp,
 - Zestaw akumulatorów gromadzących energię z paneli fotowoltaicznych oraz turbin wiatrowych dostosowanych do wydajności przyjętego układu.

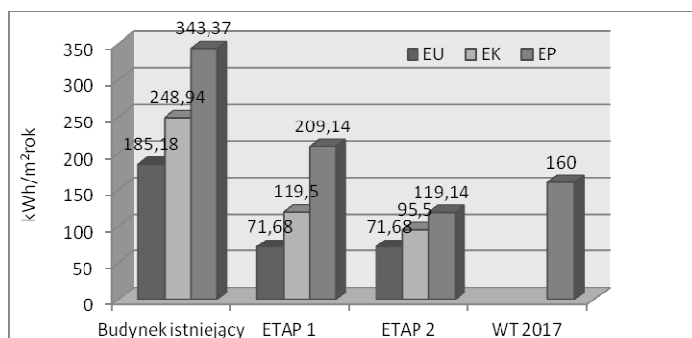
Tabela 2. Zapotrzebowanie na energię - etap 2 (opracowanie własne)

	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową						
Wartość [kWh/(m ² rok)]	56,45	–	15,23	–	–	71,68
Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową						
Wartość [kWh/(m ² rok)]	62,72	–	25,62	1,16	6,00	95,50
Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię pierwotną						
Wartość [kWh/(m ² rok)]	68,99	–	46,68	3,47	–	119,14

5. OSIĄGNIĘTE REZULTATY

Celem proponowanej termomodernizacji było dostosowanie budynku szkoły publicznej do aktualnie obowiązujących warunków technicznych WT2017 dla budynków nowo budowanych.

Pierwszy etap zakładał modernizację osłony budynku wraz z wymianą stolarki otworowej. W wyniku tych działań współczynniki przenikania przez przegrody spełniają wymagania szczegółowe zawarte w warunkach technicznych dla budynków wznoszonych po 2019 roku. Jednak wyznaczonym celem był obiekt spełniający wymagania całościowe, czyli związane bezpośrednio ze zużyciem energii pierwotnej. Poddajmy więc analizie wartość wskaźnika EP po pierwszym etapie prac modernizacyjnych. Realizacja pierwszego etapu obniża wskaźnik EU o ok. 110 kWh/m²rok, w związku z tym spada również wartość wskaźnika EP (rys. 3). Pomimo braku ingerencji w instalacje oraz źródła energii zapotrzebowanie na energię pierwotną spadło o 39%, co obniżyło wskaźnik EP do 209,14 kWh/m²rok. Taka wartość jest uwarunkowana podwyższeniem sprawności instalacji w budynku poprzez zwiększenie izolacyjności przegród, co obniża wartość wskaźnika EK, a w związku z tym również wskaźnika EP. Otrzymany wynik, choć nie realizuje obranego celu, przedstawia wpływ izolacyjności przegród budynku na ilość potrzebnej energii do jego prawidłowego funkcjonowania, która bezpośrednio oddziałuje na koszty eksploatacyjne obiektu.



Rys. 3. Wartości wskaźników EU, EK, EP dla kolejnych etapów (opracowanie własne)

Drugi etap inwestycji zakłada modernizację instalacji oświetlenia wbudowanego, obejmującą zastosowanie odnawialnych źródeł energii. W wyniku tych działań wskaźnik EU dla całego obiektu pozostał na tym samym poziomie, natomiast wskaźnik EK nieznacznie został obniżony. Jednak warto poddać analizie zapotrzebowanie budynku na energię końcową tylko do oświetlenia wbudowanego. Budynek istniejący potrzebuje 30 kWh/m²rok energii końcowej do oświetlenia całego obiektu, natomiast po realizacji etapu drugiego modernizacji zapotrzebowanie to wynosi 6 kWh/m²rok. Spadek wskaźnika EK o 80% niesie za sobą znaczne oszczędności energii i, co za tym idzie, zmniejsza koszty eksploatacyjne obiektu.

W tym przypadku ogromne znaczenie miała zmiana standardowych żarówek na oświetlenie typu LED, które cechuje znacznie większa wydajność przy jednoczesnym zachowaniu niskiego poboru mocy.

Jednak najważniejsze efekty ostatniego etapu przedsięwzięcia przedstawia wartość wskaźnika EP. Zapotrzebowanie na energię pierwotną całego obiektu, w porównaniu do stanu istniejącego, spadło o 224,23 kWh/m²rok, co obniża wskaźnik EP do poziomu 119,14 kWh/m²rok. Otrzymana wartość prowadzi do osiągnięcia obranego celu, a tym samym sprawia, iż omawiany budynek szkoły publicznej spełnia warunki techniczne dla budynków nowo wznoszonych wg WT2017. Ograniczenie zapotrzebowania na energię pierwotną całego obiektu aż o 65% osiągnięto w wyniku zastosowania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii: paneli fotowoltaicznych, turbin wiatrowych oraz samowystarczalnych hybrydowych reflektorów zewnętrznych. Ten przykład obrazuje zależność wartości wskaźnika EP od źródła pobieranej energii, wskazując tym samym kierunek inwestycji mających na celu poprawę efektywności energetycznej zarówno budynków istniejących, jak i nowo budowanych.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Prezentowane przedsięwzięcie przedstawia możliwości poprawy efektywności energetycznej budynku szkoły. Efektem przeprowadzanych działań jest obiekt w pełni spełniający wymagania całościowe dla obiektów nowo wznoszonych po 2017 roku. Ponadto zapotrzebowanie energii na potrzeby oświetlenia spadło o 80% w stosunku do stanu przed termomodernizacją. Projekt Dymkowskiego i Pawłowskiego [7] w swojej analizie pomija energię potrzebną do oświetlenia, jednak zakładając, że nie przekracza ona wartości maksymalnej wg WT2017, tj. 100 kWh/m²rok, wartość wskaźnika EP dla całego budynku wyniesie 118,94 kWh/m²rok. Wartość ta jest zbliżona do tej otrzymanej w wyniku termomodernizacji szkoły w Słubicach. Każde z tych dwóch przedsięwzięć obejmowało modernizację osłony budynku oraz modernizację wybranych instalacji. Można zatem wnioskować, że wyłączna inwestycja w bryłę obiektu nie pozwoli w znacznym stopniu obniżyć wartości wskaźnika EP. Istotność tego twierdzenia dodatkowo poświadcza artykuł [6], w którym prezentowana inwestycja w izolację termiczną budynku zapewniła tylko jednemu z trzech omawianych obiektów miano „niemal zeroenergetycznego”. Głównym czynnikiem mającym wpływ na energię pierwotną jest bowiem źródło energii, dlatego to modernizacja poszczególnych instalacji generuje największe korzyści na drodze do podwyższania efektywności obiektów użyteczności publicznej.

Zatem dróg do obniżenia zapotrzebowania na energię pierwotną przez budynki użyteczności publicznej jest wiele, natomiast każda z inwestycji wymaga solidnego projektu, nowoczesnych rozwiązań oraz wysokiej jakości wykonania. Tylko rzetelne podejście do energochłonności obiektów użyteczności publicznej pozwoli w pełni wykorzystać ich potencjał energetyczny.

LITERATURA

- [1] Lis P., Efektywność energetyczna w systemach budowlano-instalacyjnych, Materiały dydaktyczne, Częstochowa 2009.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. poz. 462 z późn. zm.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenie dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE, Dz.Urz. UE L 315 z 14.11.2012, s. 1, z późn. zm.
- [4] Poradnik w zakresie poprawy charakterystyki energetycznej budynków, Warszawa 2016.
- [5] Katsaprakakis D., Zidianakis G., Upgrading energy efficiency for school buildings in Greece, Procedia Environmental Sciences 2017, 38, 248-255.
- [6] Baran I., Dumitrescu L., Pescaru R.A., Thermal rehabilitation technology and the nearly zero-energy buildings. Romanian representative education buildings - case study, Procedia Technology 2016, 22, 358-364.
- [7] Dymkowski L., Pawłowski K., Analiza porównawcza parametrów techniczno-ekonomicznych budynku szkoły przed i po termomodernizacji, Budownictwo zrównoważone. Wybrane aspekty projektowe i wykonawcze, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2017.
- [8] Audyt energetyczny budynku dla przedsięwzięcia termomodernizacyjnego przewidzianego do realizacji w trybie Ustawy z dnia 21.11.2008.

THERMAL RENOVATION OF THE PUBLIC SCHOOL BUILDING TO REDUCE THE PRIMARY ENERGY DEMAND OF THE FACILITY

As a result of the amendment to the legislation related to energy efficiency of buildings, the vast majority of buildings must be retrofitted to reduce energy demand. Special task stands before the managers and owners of public buildings, since the EP indicator for this group of objects is determined as the lowest. The aim of the research was to determine the effective way to reduce the primary energy demand of the facility and then to present the thermal renovation. The result of this project is an object that meets the current guidelines set out in the Technical Conditions for New Buildings after 2017. The UE, FE, PE values are estimated on the basis of the technical documentation of each device and available literature.

Keywords: public buildings, school, energy efficiency, RES, primary energy, thermal renovation