

Klaudia URBAŃSKA

SKN BioEnergia, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny

Arkadiusz DYJAKON

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny

WPŁYW RODZAJU STOLARKI OKIENNEJ NA OPŁACALNOŚĆ INWESTYCJI W BUDOWNICTWIE ENERGOOSZCZĘDNYM

Wzrost zainteresowania zagadnieniami ochrony środowiska, ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery, a zwłaszcza poprawy efektywności energetycznej budynków doprowadziły do intensywnego rozwoju technologii materiałowej oraz rozwiązań konstrukcyjnych. Jedną z dynamicznie rozwijających się gałęzi przemysłu jest branża zajmująca się stolarką okienną. Niestety, nowe technologie wymagają często wysokich nakładów inwestycyjnych. W pracy przedstawiono zależność między rodzajem stolarki okiennej a efektem ekonomicznym i środowiskowym. Porównano różne typy i klasy stolarki okiennej w kontekście ich wpływu na współczynnik zapotrzebowania na energię pierwotną przez budynek oraz efektywność ekonomiczną. Wykazano, że na okres zwrotu inwestycji w stolarkę okienną wpływa nie tylko nakład inwestycyjny, ale również rodzaj źródła energii dla systemu grzewczego w budynku. Okres zwrotu inwestycji może wynieść od kilku do nawet kilkudziesięciu lat.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, budownictwo niskoenergetyczne, stolarka okienna, współczynnik przenikania ciepła

WPROWADZENIE

Obecnie jednym z głównych wyzwań szeroko rozumianej polityki energetycznej jest globalne zmniejszenie zapotrzebowania na energię. Wynika to z obserwowanego stopniowego wyczerpywania się łatwo dostępnych złóż paliw kopalnych przy jednoczesnym wysokim światowym przyroście naturalnym oraz konieczności ochrony środowiska i zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego większości państw. Wśród wielu możliwości poprawy wskaźnika wykorzystania energii pierwotnej można wymienić przede wszystkim zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym oraz poprawę efektywności energetycznej również w budownictwie mieszkaniowym. Państwa członkowskie Unii Europejskiej (UE) są do tego szczególnie zobligowane w świetle obowiązujących przepisów i dyrektyw unijnych, które zakładają zmniejszenie finalnego zużycia energii o 20% do końca 2020 roku w wyniku działań poprawiających efektywność energetyczną [1].

1. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA

Ustawa o efektywności energetycznej z 20 maja 2016 roku definiuje efektywność energetyczną (EE) jako stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego do ilości zużytej energii na dany proces lub urządzenie [2]. Natomiast Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 2013 roku określa wymagania dotyczące m.in. izolacyjności cieplnej związanej z oszczędnością energii, a zatem wymagania służące osiągnięciu wysokiej efektywności energetycznej budynków [3], tzw. Warunki Techniczne (WT). Istotnymi parametrami mającymi wpływ na EE budynku są współczynniki przenikania ciepła ścian i przegród specyficznych, tj. drzwi i okien.

Współczynnik przenikania ciepła U jest podstawowym parametrem pozwalającym określić straty ciepła przez przegrody w budynku. W przypadku stolarki okiennej współczynnik wpływa nie tylko na wysokość strat ciepła przez przegrodę, ale także na wielkość zysków ciepła przenikającego przez szyby. Im niższy współczynnik przenikania ciepła, tym mniejsze straty ciepła oraz zyski od promieniowania słonecznego. Ważne jest znalezienie równowagi, by uniknąć sytuacji przegrzewania budynków w lecie, ale także maksymalnie wykorzystać zyski ciepła w sezonie grzewczym. Istotną rolę odgrywają także powłoki niskoemisyjne pokrywające szkło, które w sposób selektywny przepuszczają promieniowanie ciepłe, pozwalając przez to uzyskać maksymalne zyski z promieniowania słonecznego przy jednocześnie ograniczaniu strat ciepłych.

2. PRZEGRODY SPECYFICZNE

W celu osiągnięcia Warunków Technicznych bardzo istotne jest zwrócenie uwagi na parametry techniczne i właściwości fizyczne wszystkich elementów mających wpływ na zapotrzebowanie energetyczne budynku. Jednym z nich są przegrody specyficzne. Producenci stolarki okiennej i drzwiowej oferują produkty o dużo lepszych współczynnikach przenikania ciepła niż te prawnie wymagane. Jednak lepsze parametry wiążą się ze znacznie wyższymi nakładami inwestycyjnymi, które niwelują późniejsze oszczędności. Z tego względu bardzo istotne jest osiągnięcie równowagi oraz optymalny dobór technologii i produktów.

Celem pracy jest analiza zastosowania trzech typów stolarki okiennej uwzględniająca ich wpływ na koszty eksploatacyjne (potencjalne oszczędności) oraz konieczne nakłady inwestycyjne.

3. METODYKA OBLICZEŃ

Symulację obliczeniową przeprowadzono dla budynku jednorodzinnego. Parametry budynku przedstawiono w tabeli 1. Zgodnie z [4], określono zapotrzebowanie na energię w budynku oraz obliczono wysokość strat ciepła przez przegrody zewnętrzne i wentylację, a także wewnętrzne zyski ciepła i zyski od promieniowa-

nia słonecznego. W efekcie określono wskaźniki zapotrzebowania na energię użytkową (EU), energię końcową (EK) i energię pierwotną (EP). Następnie na podstawie wskaźników zapotrzebowania na energię wyznaczono roczną ilość energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji w odniesieniu do 1 m² powierzchni [4].

Tabela 1. Parametry budynku

Parametr	Jednostka	Wartość
Powierzchnia brutto/użytkowa budynku	m ²	210/180
Kubatura netto/brutto	m ³	522/672
Powierzchnia okien	m ²	50,4
Liczba osób	–	5

Wyliczenie wyjściowego zapotrzebowania na energię pierwotną EP przeprowadzono przy założeniu standardowego parametru okien o współczynniku $U_w = 1,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ (wariant podstawowy), a następnie porównano wyniki uzyskane w obliczeniach przy założeniu okien dwukomorowych (wariant I), trzykomorowych (wariant II) oraz pasywnych (wariant III). Parametry okien zestawiono w tabeli 2. Wartości EP podano w tabeli 5.

Tabela 2. Parametry okien [5-8]

Warianty	Model okna	Współczynnik przenikania ciepła U_w [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]	Wymiary [m]		Cena [zł·szt ⁻¹]	
			Okna małe	Okna duże	Okna małe	Okna duże
Podstawowy	Avantgarde700	1,3	1,2x 1,5	2,1x 1,5	644	986
Wariant I	BluEvolution	0,84			814	1458
Wariant II	Adams Passiv Line Plus	0,7			986	1746
Wariant III	Iglo ENERGY	0,6			1096	1910

Tabela 3. Parametry paliw i energii elektrycznej

Parametr	Jednostka	Węgiel - ekogroszek	Olej opałowy	Gaz ziemny	Energia elektryczna
Wartość opałowa	MJ·kg ⁻¹	22,61	40,4	42,3	–
Gęstość paliwa	kg·m ⁻³	800	860	0,74	–
Sprawność systemu grzewczego	%	70	90	90	99
Koszt ciepła	gr·kWh ⁻¹	10,03	37,69	22	55

W następnym kroku porównano wielkość zapotrzebowania na energię pierwotną EP w zależności od rodzaju okna o tych samych wymiarach w stosunku do okna standardowego jednokomorowego. W efekcie obliczono koszty ogrzewania przy

zastosowaniu różnych źródeł ciepła i omówiono ich wpływ na opłacalność inwestycji. Ceny paliw wraz z ich parametrami zestawiono w tabeli 3.

Wyliczone wartości ΔEP posłużyły do wyliczenia poziomu oszczędności w zależności od zużycia źródła ciepła na cele energetyczne zgodnie ze wzorem:

$$K_U = \Delta EP \cdot C \cdot P \quad (1)$$

gdzie: K_U - koszty uniknięte (oszczędności z modernizacji) [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$], ΔEP - różnica współczynnika zapotrzebowania na energię pierwotną między budynkiem przed i po modernizacji [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$], C - koszt ciepła [$\text{gr} \cdot \text{kWh}^{-1}$], P - powierzchnia budynku [m^2].

W rezultacie określono prosty okres zwrotu inwestycji w zależności od źródła energii w budynku. Obliczenia przeprowadzono zgodnie ze wzorem:

$$\text{SPBT} = \frac{K_I}{K_U} \quad (2)$$

gdzie: SPBT - prosty okres zwrotu inwestycji [lata], K_I - koszty inwestycyjne (koszt modernizacji) [zł], K_U - koszty uniknięte (oszczędności z modernizacji) [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$].

W celu określenia efektu środowiskowego wyliczono wielkość emisji unikniętej CO_2 w zależności od zastosowanego źródła ciepła oraz wariantu modernizacji. Wskaźniki emisji zostały przyjęte na podstawie danych udostępnionych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Wartości wskaźników emisji dla poszczególnych paliw oraz energii elektrycznej zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wskaźniki emisji i wartości opałowe dla wybranych źródeł energii [9, 10]

Rodzaj źródła energii	Wartość opałowa [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]	Wskaźnik emisji WE_{CO_2} [$\text{kg} \cdot \text{GJ}^{-1}$]
Węgiel - ekogroszek	22,61	94,73
Gaz ziemny	42,3	73,30
Olej opałowy	40,4	77,40
Energia elektryczna	—	229,28*

* wskaźnik emisji dla energii elektrycznej z uwzględnieniem strat wynosi $825,412 \text{ kgCO}_2 \cdot (\text{MWh})^{-1}$ [10]

Obliczenie wielkości emisji unikniętej przeprowadzono zgodnie ze wzorem:

$$E_{\text{CO}_2} = \text{WE}_{\text{CO}_2} \cdot \Delta EP \quad (3)$$

gdzie: E_{CO_2} - wielkość emisji w zależności od źródła ciepła [$\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$], WE_{CO_2} - wskaźnik emisji w zależności od źródła ciepła [$\text{kg} \cdot \text{GJ}^{-1}$].

4. WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie obliczeń charakterystyk energetycznych budynku obliczono współczynniki zapotrzebowania na energię pierwotną EP dla wszystkich wariantów. Wartości współczynników EP oraz wartości ΔEP odnoszącej się do wariantu podstawowego zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wartości współczynników EP i ΔEP dla budynku w zależności od zastosowanego rodzaju okna [opracowanie własne]

Warianty	EP [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]	ΔEP [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]
Podstawowy	96,6	0
Wariant I	80,9	15,7
Wariant II	76,3	20,4
Wariant III	72,9	23,6

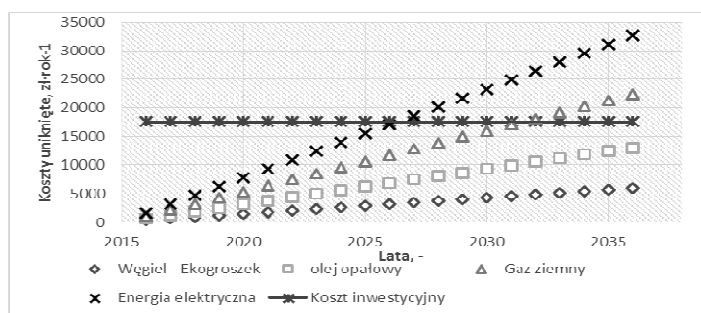
Z tabeli 5 wynika, że współczynnik przenikania ciepła U_w ma wpływ na współczynnik zapotrzebowania na energię pierwotną EP, co sprawia, że okna o niższym współczynniku U_w obniżają ilość strat ciepła w budynku. Koszty inwestycyjne oraz prosty okres zwrotu z inwestycji dla każdego z wariantów zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Koszty inwestycyjne oraz SPBT dla różnych wariantów w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne]

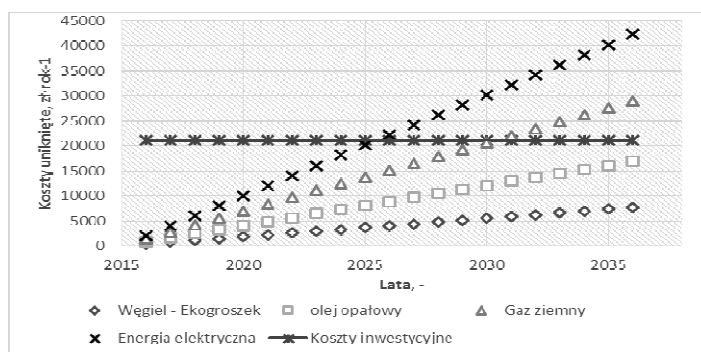
Warianty	Źródło ciepła	Koszty uniknięte [zł·rok ⁻¹]	Koszt inwestycyjny [zł]	SPBT [lata]
Wariant I	Węgiel - ekogroszek	283	17 532	62
	Gaz ziemny	621		29
	Olej opałowy	1063		17
	Energia elektryczna	1552		12
Wariant II	Węgiel - ekogroszek	367	21 096	58
	Gaz ziemny	806		27
	Olej opałowy	1381		16
	Energia elektryczna	2015		11
Wariant III	Węgiel - ekogroszek	427	23 234	55
	Gaz ziemny	937		24
	Olej opałowy	1605		15
	Energia elektryczna	2342		10

Porównanie wariantów pod względem nakładów inwestycyjnych oraz oszczędności w wyniku modernizacji przedstawiono na rysunkach 1-3. Na podstawie analizy wyników zawartych w tabeli 6 oraz rysunków 1-3 można stwierdzić, że zasto-

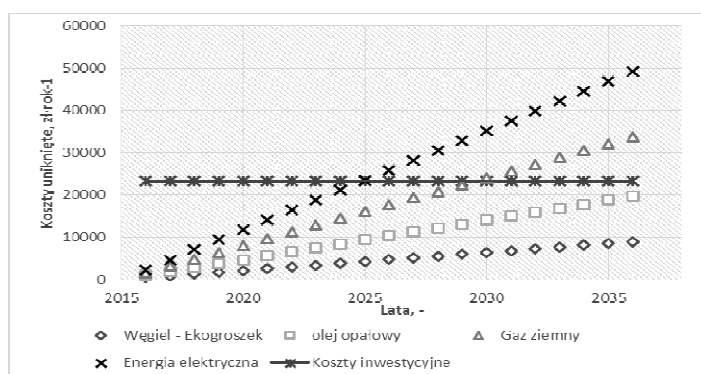
sowanie okien o niższym współczynniku przenikania ciepła wpływa na obniżenie kosztów eksploatacyjnych budynku. W konsekwencji okna energooszczędne, mimo wyższych nakładów inwestycyjnych, mają krótszy okres zwrotu od rozwiązań standardowych. Okres zwrotu, w zależności od zastosowanego rozwiązania i źródła ciepła w budynku, wynosi od 10 lat (dla źródła ciepła w postaci energii elektrycznej i wariantu III) do nawet 62 lat (dla źródła ciepła w postaci węgla i wariantu I).



Rys. 1. Nakłady inwestycyjne oraz koszty uniknięte dla wariantu I



Rys. 2. Nakłady inwestycyjne oraz koszty uniknięte dla wariantu II



Rys. 3. Nakłady inwestycyjne oraz koszty uniknięte dla wariantu III

Porównanie zaproponowanych wariantów wykazało, że najlepszym rozwiązaniem pod względem ekonomicznym są okna w wariantcie III, które mają korzystny stosunek między wysokością nakładów inwestycyjnych a kosztami eksploatacyjnymi budynku. Pomimo że różnica między wariantem II a III pod względem wysokości nakładów inwestycyjnych to 2138 zł na korzyść wariantu II, to okres zwrotu jest krótszy dla wariantu III.

Analiza wskaźnika emisji unikniętej CO₂ (tab. 7) wykazała, że największy efekt środowiskowy uzyskany jest dla energii elektrycznej jako czynnika grzewczego. Wynika to z niskiej sprawności wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach konwencjonalnych spalających węgiel, która w gospodarstwie domowym zamieniana jest ponownie na ciepło. Jest to nieefektywny sposób ogrzewania domu pod względem środowiskowym. Z kolei, najmniejszą wartość emisji unikniętej uzyskano dla gazu ziemnego (około trzy razy mniej w odniesieniu do energii elektrycznej), co związane jest z faktem, że gaz ziemny jest paliwem stosunkowo ekologicznym o niewielkiej emisji CO₂ do atmosfery. W przypadku oleju opałowego wskaźnik emisji unikniętej CO₂ jest nieznacznie wyższy od wskaźnika dla gazu ziemnego.

Tabela 7. **Wielkości emisji CO₂ w zależności od paliwa i zastosowanego rozwiązania**
[opracowanie własne]

Warianty	Paliwo	Wskaźnik emisji WE _{CO₂} [kg·GJ ⁻¹]	ΔEP [kWh·m ⁻² ·rok ⁻¹]	Wielkość emisji unikniętej E _{CO₂} [kg _{CO₂} ·m ⁻² ·rok ⁻¹]
Wariant I	Węgiel - ekogroszek	94,7	15,68	5,33
	Gaz ziemny	73,3		4,14
	Olej opałowy	77,4		4,39
	Energia elektryczna	229,28		12,94
Wariant II	Węgiel - ekogroszek	94,7	20,35	6,94
	Gaz ziemny	73,3		5,29
	Olej opałowy	77,4		5,70
	Energia elektryczna	229,28		16,80
Wariant III	Węgiel - ekogroszek	94,7	23,66	8,04
	Gaz ziemny	73,3		6,15
	Olej opałowy	77,4		6,62
	Energia elektryczna	229,28		19,53

Porównując zaproponowane warianty pod względem ekonomicznym i środowiskowym najlepszym rozwiązaniem są okna w wariantcie III w przypadku ogrzewania energią elektryczną. Takie rozwiązanie pozwala na osiągnięcie relatywnie krótkiego okresu zwrotu z inwestycji przy jednocześnie najwyższym wskaźniku unikniętej emisji CO₂ do atmosfery (niższego obciążenia środowiska).

WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy wynika, że zastosowanie okien o niższym współczynniku przenikania ciepła tylko nieznacznie wpływa na charakterystykę energetyczną budynku, co przekłada się na niski poziom oszczędności oraz długi okres zwrotu inwestycji. Stwierdzono, że inwestowanie w energooszczędną stolarkę okienną jest najbardziej opłacalne przy ogrzewaniu energią elektryczną. Dodatkowo, analiza wielkości emisji unikniętej wykazała największy potencjał ograniczenia CO₂ przy tym rozwiązaniu. Należy pamiętać, że każde działania sprzyjające zmniejszeniu zanieczyszczenia środowiska i redukcji emisji CO₂ przyczyniają się do ochrony środowiska i poprawy komfortu życia ludzi, co powinno być uwzględniane podczas procesu decyzyjnego o planowanych inwestycjach.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej.
- [2] Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej.
- [3] Rozporządzenie MTBiGM z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [4] Rozporządzenie MliR z dnia 27 lutego 2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.
- [5] http://oknacennik.pl/okna.php?ceny=dobroplast_avantgarde_7000
- [6] <http://oknacennik.pl/okna.php?ceny=bluevolution>
- [7] http://oknacennik.pl/okna.php?ceny=iglo_energy
- [8] http://oknacennik.pl/okna.php?ceny=passiv_line
- [9] http://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/monitorowanie_raportowanie_weryfikacja_emisji_w_eu_ets/WO_i_WE_do_stosowania_w_SHE_2016.pdf
- [10] http://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/wskazniki_emisyjnosci/160616_WSKAZNIKI_CO2.pdf

INFLUENCE OF THE WINDOW TYPE ON THE PROFITABILITY OF INVESTMENTS IN ENERGY-EFFICIENT BUILDING CONSTRUCTION

Increased interest in environmental protection issues, reduction of pollutants emission to the atmosphere, and in particular the improvement of the energy efficiency of buildings has led to the intensive development of material technology and constructional solutions. One of the fastest growing industries is the one engaged in providing new window technologies. Unfortunately, a new technologies are often related to very high investment costs. The paper shows the relationship between the type of the window and the economic and environmental effect. The main aim of the study is to compare the different types and classes of windows in the context of their impact on the primary energy demand ratio EP and economic efficiency. It was shown, that the payback period for the investment in windows depends on costs of windows as well as on the energy source of the heating system in the building. As a result, the investment payback period varies from few years until several decades.

Keywords: energetic efficiency, energy-efficient building construction, windows, heat transfer coefficient