

dr inż. Agnieszka Dziadosz<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-2258-4057

mgr inż. Ewelina Siejek<sup>1)</sup>

dr inż. Mariusz Rejment<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0001-8230-3627

# Użyteczność analizy LCCA do oceny efektywności ekonomicznej robót dociepleniowych ścian zewnętrznych budynku zabytkowego

## *The utility of LCCA analysis for the assessment of economic efficiency of thermal insulation works of the historic building external walls*

DOI: 10.15199/33.2022.10.05

**Streszczenie.** Celem artykułu jest ocena efektywności ekonomicznej trzech sposobów wykonania robót dociepleniowych ścian zabytkowego budynku wg analizy LCCA (ang. *Life Cycle Cost Analysis*) oraz metody wielokryterialnej PROMETHEE. Na podstawie uzyskanych wyników określono najkorzystniejsze rozwiązanie, potwierdzając wybór wariantu docieplenia ścian zewnętrznych, który w rzeczywistości został zrealizowany w przypadku zabytkowego budynku dworku w Skrzynkach k. Poznania. **Słowa kluczowe:** wielokryterialne podejmowanie decyzji; stopień zużycia technicznego; koszty w cyklu życia budynku.

**Abstract.** The aim of the article is to assess the economic efficiency of three ways of performing wall insulation works for a historic building based on the LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*) analysis and the PROMETHEE multi-criteria method. On the basis of the obtained results, the most favorable solution was determined, thus confirming the selection of the external wall insulation variant, which was in fact implemented for the historic manor house in Skrzynki near Poznań.

**Keywords:** multi-criteria decision making; degree of technical wear; life cycle costing.

Cykl życia budynku obejmuje projektowanie i planowanie inwestycji, budowę oraz jego utrzymanie aż po rozbiórkę i utylizację odpadów budowlanych. Każdy etap ma odmienne znaczenie dla użytkownika obiektu budowlanego w długim horyzoncie czasu użytkowania. Patrząc z perspektywy eksploatacji budynku uwaga użytkownika skupiona jest na identyfikacji koniecznych robót naprawczych i ich częstotliwości, mających na celu utrzymanie obiektu budowlanego, poprawę jego funkcjonalności i standardu użytkowania [1, 2]. Wszelkie działania naprawcze generują dodatkowe koszty, które stanowią istotny składnik kalkulacji kosztów obok samych kosztów realizacji budynku [3, 4].

Do kluczowych robót wykonywanych na etapie eksploatacji należy zakwalifikować termomodernizację budynku, której zakres jest uzależniony od jego stanu technicznego, obowiązują-

cych przepisów techniczno-budowlanych oraz od powierzchni docieplanych przegród zewnętrznych budynku [5 – 8]. Przeprowadzoną w artykule analizę ekonomiczną ograniczono do docieplenia ścian zewnętrznych budynku. Zaprezentowano możliwe sposoby ich docieplenia od strony wewnętrznej budynku oraz jedną z metod wspomagania decyzji pozwalającą na wycenę dodatkowych kosztów związanych z posiadaniem i użytkowaniem budynku oraz uwzględnienie ich we wspólnym rachunku, tj. LCCA.

### Docieplanie ścian obiektów zabytkowych

Termomodernizacja ma na celu zmniejszenie eksploatacyjnej energochłonności budynków w wyniku prowadzenia różnych działań, które obejmują podniesienie efektywności źródeł ciepła oraz zmniejszenie strat ciepła przez zwiększenie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych budynku (tj. ścian, dachu, podłogi na gruncie, stolarki okiennej). W artykule dokonano oceny efektywności ekonomicznej docieplenia ścian zewnętrznych od strony wewnętrznej budynku.

Determinantami poszukiwania odpowiednich metod naprawczych docieplenia ścian zewnętrznych było przeciekanie i przemarzanie ścian wielorodzinnych budynków mieszkalnych wykonanych w systemie wielkiej płyty. Problem ten stanowił asumpt do opracowania ogólnych wytycznych napraw, które z biegiem czasu, w wyniku stosowania coraz nowocześniejszych rozwiązań materiałowo-technologicznych, doprowadziły do opracowania zupełnie nowych metod naprawczych. Nowe metody polegają najczęściej na wykonaniu, na istniejącej ścianie zewnętrznej budynku, dodatkowej warstwy izolacji termicznej (tzw. docieplenia) odpowiednio zabezpieczonej przed działaniem czynników atmosferycznych [5 – 8]. Najlepsze, pod względem spełnienia przez przegrodę zewnętrzną budynku wymagań cieplno-wilgotnościowych oraz uzyskanych efektów użytkowych, jest docieplenie od strony zewnętrznej. W niektórych budynkach, szczególnie zabytkowych, będących pod ochroną konserwatorską, nie można jednak wykonać takiego docieplenia. Wówczas jedynym sposobem jest docieplenie ścian zewnętrznych od strony wewnętrznej budynku [8].

<sup>1)</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

<sup>2)</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: agnieszka.dziadosz@put.poznan.pl

## Charakterystyka docieplanego budynku

Analizie poddano kompleks dworkowy w technologii tradycyjnej znajdujący się w miejscowości Skrzynki k. Poznania, zbudowany w II połowie XIX w. (fotografie 1 i 2). W 1990 r., na mocy decyzji Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, obiekt wpisano do rejestru zabytków, obiekt wpisano do rejestru zabytków. Dworek ma 3 kondygnacje (z poddaszem użytkowym) i jest całkowicie podpiwniczony. W kolejnych latach rozbudowano budynek o część północno-wschodnią, która nawiązywała architektonicznie do wcześniej wybudowanej bryły głównej.



Fot. 1. Roboty dociepleniowe Fot. E. Siejek  
Photo 1. Thermal insulation works  
Photo E. Siejek



Fot. 2. Dwór w Skrzynkach po zakończeniu robót remontowych Fot.: E. Siejek  
Photo 2. The court in Skrzynki after the completion of restoration works  
Photo E. Siejek

Ocena stopnia zużycia i jego wpływu na stan techniczny budynku stanowi kluczowe kryterium wyboru robót remontowych i określenia ich zakresu rzeczowego [2, 4, 9 ÷ 12]. Głównym celem wykonanych w kolejnym etapie robót remontowych zabytkowego dworku była zmiana jego sposobu użytkowania wraz z przebudową i rozbudową (łącznie z dociepleniem ścian zewnętrznych) na potrzeby ośrodka szkoleniowo-konferencyjnego.

W przypadku wyboru docieplenia ścian od wewnątrz wykorzystywane są systemowe rozwiązania materiałowo-technologiczne, w których dąży się do: zapewnienia odpowiedniej izolacyjności termicznej przegrody oraz eliminacji kondensacji pary wodnej w przegrodzie i na jej powierzchni.

## Analiza porównawcza rozwiązań termomodernizacyjnych wg metody wielokryterialnej

W celu wskazania optymalnej metody docieplenia ścian od strony wewnętrznej analizowanego dworku wykorzystano metodę wielokryterialną PROMETHEE. Jej celem było uszeregowanie skończonego zbioru wariantów, który był oceniany za pomocą zestawu kryteriów. Preferencje decydenta określano za pomocą wag. Ponadto analiza wielokryterialna została wykorzystana do potwierdzenia zasadności wybranego rozwiązania materiałowego podczas robót remontowych, które zostały już wykonane.

Wybrane rozwiązania materiałowo-technologiczne porównywano pod względem:

- **ekonomicznym** – na etapie wykonywania robót remontowych oraz na etapie eksploatacji;
- **efektywności energetycznej**, uwzględniając: współczynnik przenikania ciepła przegrody –  $U$  [ $W/(m^2 \times K)$ ] oraz możliwość kondensacji pary wodnej wewnątrz docieplanej przegrody.

Wagi kryteriów:

- koszt wykonania docieplenia – destymulanta 40% (określony na podstawie kalkulacji kosztorysowej);
- efektywność termiczna – stymulanta 10% (współczynnik parametrów izolacyjnych został określony i przeanalizowany w kalkulatorze udostępnionym przez firmę Leca);
- kondensacja pary wodnej – destymulanta 10%;
- koszty eksploatacyjne – destymulanta 20%.

Pierwsza analiza przeprowadzona w programie PROMETHEE przedstawia macierz z uporządkowaną sumą wariantów, wynikającą z różnicy  $\Phi_{i+}$  i  $\Phi_{i-}$ . Z analizy wynika, że najlepszym rozwiązaniem okazał się wybór płyt Eurothane G, a następnie płyt styropiano-

wych (tabela 1). Ostatnim rozwiązaniem w klasyfikacji jest technologia z wykorzystaniem płyt Multipor. Warto nadmienić, że metoda ta szereguje warianty. Nie były analizowane wartości, o ile jeden wariant jest gorszy lub lepszy od drugiego.

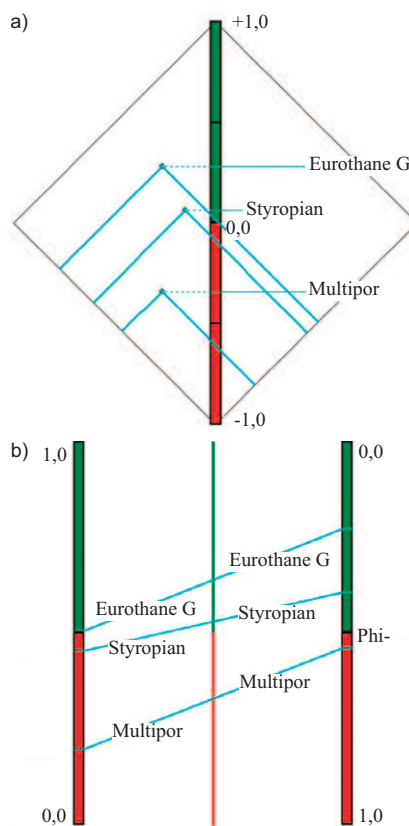
Tabela 1. Przepływy PROMETHEE

Opracowanie własne

Table 1. PROMETHEE flows Own elaboration

Ranking	Alternatywa	Phi	Phi+	Phi-
1	EUROTHANE G	0,2796	0,5071	0,2275
2	STYROPIAN	0,0617	0,4550	0,3933
3	MULTIPOR	-0,3412	0,1967	0,5379

Romb oraz ranking PROMETHEE (rysunek) przedstawia wyniki w sposób wizualny. Rezultaty są zbieżne z otrzymaną klasyfikacją w formie tabeli przepływów. W pierwszej klasyfikacji od góry pokazane są wartości dodatnie, a od dołu ujemne. W przypadku wszystkich analizowanych przypadków rzutowanie jest „czyste”, tzn., że obszary rzutowania nie przecinają się. W drugiej klasyfikacji obraz graficzny również wykazuje najlepsze rozwiązanie na samej górze.



Romb (a) i ranking (b) w metodzie PROMETHEE

Opracowanie własne

Rhombus (a) and ranking (b) in the PROMETHEE method Own elaboration

Jako optymalne docieplenie ścian w analizowanym budynku wskazano na technologię wykorzystującą płyty Eurothane G. Warto pamiętać, że w przypadku metod wielokryterialnych ważnym aspektem, wartym rozpatrzenia, jest rola decydenta (użytkownika/właściciela budynku), jego preferencje i doświadczenie.

## LCCA w praktyce

Metoda LCCA pozwala na identyfikację kosztów związanych z wyborem danego wariantu z perspektywy cyklu życia obiektu [1, 9]. W analizowanym przypadku uwzględniono koszty wykonania docieplenia ścian oraz koszty eks-

proportjonalna do redukcji kosztów utrzymania budynku. Przy obliczeniach efektywności ekonomicznej metod docieplenia uwzględniono zmianę wartości pieniądza w czasie, obliczając wartość obecną bazującą na technice dyskontowania. Na potrzeby analizy przyjęto stopę dyskontową równą 5%. Wielkość stopy dyskonta nie podlegała dalszej weryfikacji (tabela 2).

Przeprowadzona analiza kosztów eksploatacji zgodnie z metodą LCCA oraz analiza wielokryterialna pozwoliły na uszeregowanie wariantów wg preferencji decydenta, dodatkowo potwierdzając skuteczność wyboru płyt Eurothane G jako termoizolacji.

metry zostały spełnione przy najmniejszym koszcie wykonania oraz eksploatacji. Dodatkową korzyścią wynikającą z wyboru zastosowanego rozwiązania jest również oszczędność powierzchni użytkowej ze względu na małą grubość płyt.

## Literatura

- [1] Celińska M, Wiatr T. Budownictwo zrównoważone z przykładem analizy kosztów w ujęciu LCC. Przegląd Budowlany. 2018; 11: 45 – 50.
- [2] Dziadosz A, Meszek W. Selected aspects of determining of building facility deterioration for real estate valuation. Procedia Engineering. 2015; 122: 266 – 273.
- [3] Przesmycka A, Wieczorek D. Maintenance strategies. Periodic. Renovations and building modernisation in the aspect of the criterion of the

**Tabela 2. Analiza kosztów wykonania termoizolacji z płyt Eurothane G** *Opracowanie własne*  
*Table 2. Cost analysis of thermal insulation made of Eurothane G panels* *Own elaboration*

Analiza obiektu po przeprowadzonej termorenowacji za pomocą płyt Eurothane G										
Lata		1	2	3	4	5 – 16	17	18	19	20
Nakłady inwestycyjne	717 225,66	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Wydatki eksploatacyjne	–	44 033,87	44 033,87	44 033,87	44 033,87	[...]	44 033,87	44 033,87	44 033,87	44 033,87
Skumulowane wydatki	717 225,66	761 259,53	805 293,40	849 327,27	893 361,14	[...]	1 465 801,45	1 509 835,32	1 553 869,19	1 597 903,06
Wskaźnik dyskonta 5%	–	0,9524	0,9070	0,8638	0,8227	[...]	0,4363	0,4155	0,3957	0,3769
Zdyskontowane wydatki	–	41 937,02	39 940,02	38 038,11	36 226,77	[...]	19 211,83	18 296,98	17 425,70	16 595,90
Zdyskontowane skumulowane wydatki	717 225,66	759 162,68	799 102,70	837 140,81	873 367,58	[...]	1 213 666,43	1 231 963,41	1 249 389,11	1 265 985,01

ploatacji budynku. Przeanalizowano wydatki związane z ogrzewaniem analizowanego obiektu przed termorenowacją oraz w każdej z analizowanych opcji. Analiza obejmowała cykl eksploatacji budynku wynoszący 20 lat. W dalszych badaniach należy zwiększyć horyzont czasowy.

### Dane budynku przed remontem:

- współczynnik przenikania ciepła ścian  $U = 1,33 [W/(m^2 \times K)]$ ;
- powierzchnia ogrzewana budynku  $P_b = 1 551,23 m^2$ ;
- prognozowana moc potrzebna do ogrzania budynku  $W = 223 kW$ ;
- prognozowane całkowite zużycie energii  $E = 651 516,6 kWh$ ;
- aktualna cena gazu ziemnego  $c = 3,09 zł/m^3$ .

Ceny ogrzewania w poszczególnych wariantach podane zostały na podstawie oszacowania i porównania współczynników przenikania ciepła ścian zewnętrznych przed dociepleniem. Przyjęto założenie, że redukcja współczynnika przenikania ciepła przegrody jest

## Podsumowanie

Dzięki wykorzystaniu dwóch różnych metod, wspomagających podejmowanie decyzji, przeprowadzona analiza dała dodatkowe argumenty potwierdzające zasadność wykonywania termoizolacji od strony wewnętrznej z wykorzystaniem płyt Eurothane G. Nie ma uniwersalnych rozwiązań i każde roboty dociepleniowe należy rozpatrywać indywidualnie w zgodzie z oczekiwaniami inwestora oraz stanem technicznym budynku. Niewątpliwie na uzyskane wyniki miały wpływ ustalone wagi kryteriów oceny, tj. głównie koszty związane z realizacją oraz z utrzymaniem budynku. Przeprowadzone w 2021 r. docieplenie ścian zewnętrznych od wewnątrz budynku zostało zrealizowane z wykorzystaniem płyt Eurothane G. Wybrana technologia zapobiega kondensacji pary wodnej w przegrodzie oraz poprawia współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej z  $U = 1,33 [W/(m^2 \times K)]$  do  $U = 0,32 [W/(m^2 \times K)]$ . Podane para-

whole life costs. Civil and Environmental Engineering Reports. 2021: 31(2).

- [4] Sobotka A, Linczowski K, Radziejowska A. Substitution of Building Components in Historic Buildings. Sustainability. 2021; 13 (16): 9211.
- [5] Harassek P. Ocieplenie od wewnątrz. Inżynier Budownictwa. 2012; 09 (98).
- [6] Orlik-Koźdoń B, Krause P, Steidl T. Projektowanie docieplenia ścian zewnętrznych od wewnątrz. Materiały Budowlane. 2015; 1: 27 – 30.
- [7] Rejment M, Dziadosz A. Nowoczesne rozwiązania w naprawach dociepleń. Builder. 2019; 23.
- [8] Rejment M, Dziadosz A. Przegląd metod dociepleń ścian zewnętrznych wykonywanych od strony wewnętrznej budynku. Builder. 2021; 25.
- [9] Zima K, Przesmycka A. Koncepcja zintegrowanej analizy kosztów i generowanego śladu węglowego w cyklu życia budynku. Przegląd Budowlany. 2021; 92: 42 – 48.
- [10] Nowogońska B, Mielczarek M. Renovation management method in neglected buildings. Sustainability. 2021; 13 (2): 929.
- [11] Konior J, Rejment M. Correlation between Defects and Technical Wear of Materials Used in Traditional Construction. Materials. 2021; <https://doi.org/10.3390/ma14102482>.
- [12] Plebankiewicz E, Leśniak A, Vitkova E, Hromadka V. Models for estimating costs of public buildings maintaining-review and assessment. Archives of Civil Engineering. 2022; 68 (1).

Przyjęto do druku: 19.09.2022 r.