

8

OCENA EFEKTÓW EKOLOGICZNYCH TERMOIZOLACJI BUDYNKÓW

8.1 WPROWADZENIE

Poprawa efektywności energetycznej w krajach europejskich jest jednym z głównych celów strategicznych. Również w Polsce jest ona wymieniona na pierwszym miejscu listy priorytetów "Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku" przyjętej przez rząd w 2009 roku. Powszechnie przyjmuje się, że poprawa efektywności energetycznej może znacząco przyczynić się do osiągnięcia celu w postaci gospodarki niskoemisyjnej oraz walki ze zmianami klimatycznymi. Uważa się, że emisje związane z przemianami energetycznymi stanowią niemal 80% całkowitej emisji gazów cieplarnianych [15].

W 2012 roku Unia Europejska przyjęła Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej, którą postrzega się, jako istotny czynnik wpływający na powodzenie realizacji unijnej strategii energetycznej na rok 2020 [12]. W dokumencie wskazano środki, pozwalające stworzyć odpowiednie warunki do poprawy efektywności energetycznej również po tym terminie. Ponadto Dyrektywa określa zasady, na jakich powinien funkcjonować rynek energii tak, aby wyeliminować m.in. wszelkie nieprawidłowości ograniczające efektywność dostaw. W Polsce opublikowano dwa dokumenty odnoszące się, między innymi, do efektywności energetycznej: Polityka klimatyczna Polski oraz Polityka Ekologiczna Państwa w latach 2009-2012 z perspektywą do roku 2016. Polityka klimatyczna Polski, zawiera strategię redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020 w sektorze bytowym. Polityka Ekologiczna Państwa odnosi się do możliwości redukcji emisji gazów cieplarnianych, a jako inwestycję mającą istotny wpływ na zmniejszenie tej emisji, upatruje przede wszystkim termomodernizację budynków [15, 16], głównie w zakresie poprawy izolacyjności cieplnej zewnętrznych ścian budynków [5]. Wynika to przede wszystkim z wysokiego współczynnika zapotrzebowania na energię pierwotną tego sektora w Polsce i Europie sięgającego aż 40% oraz całkowitej emisji gazów cieplarnianych na poziomie 36% [8].

Celem niniejszego artykułu, w kontekście podanych faktów, jest przedstawienie metody oceny efektów ekologicznych przedsięwzięcia związanego z termoizolacją budynku z uwzględnieniem oceny wrażliwości wybranych zmiennych.

8.2 METODOLOGIA OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO

Do oceny oddziaływania na środowisko w całym cyklu życia wykorzystano metodologię opisaną w serii norm międzynarodowych ISO-14040 [14]. Ocena cyklu życia

(LCA) jest funkcjonalnym narzędziem do oceny aspektów środowiskowych i potencjalnych skutków oddziaływania na środowisko produktów i usług w całym cyklu ich istnienia [5, 6, 13]. LCA umożliwia również perspektywiczną ocenę produktów lub usług "od kołyski do grobu" [2]. Obecnie wiele przedsiębiorstw oraz naukowców wykorzystują tę metodę do oceny ekologiczności produktów przemysłowych. Ocenę cyklu życia można wykorzystać do [4, 9, 17]:

- porównania oddziaływania na środowisko różnych produktów;
- optymalizacji procesów produkcyjnych (usługowych) z uwzględnieniem aspektów ekologicznych;
- porównania oddziaływania na środowisko różnych surowców i substancji;
- oceny aspektów środowiskowych istotnych procesów transportowych;
- promocji produktów i procesów przyjaznych dla środowiska;
- sprawozdawczości i certyfikacji środowiskowej (system EMAS II, certyfikacja wyrobów, deklaracja środowiskowa produktu);
- optymalizacja środowiskowa projektowanej linii produktów.

LCA zasadniczo składa się z czterech głównych elementów [10, 11]:

- cel i zakres badań;
- inwentaryzacja cyklu życia (LCI) - gromadzenie danych przepływów materiałowo-energetycznych systemu wyrobu;
- ocena wpływu cyklu życia (LCIA) - analiza danych w kontekście ich oddziaływania na różne kategorie środowiskowe;
- interpretacja - analiza wyników w kontekście celu i zakresu badań.

Analiza LCA kładzie duży nacisk na ocenę całego cyklu życia produktu, co potencjalnie może się przyczynić do podejmowania decyzji przy wyborze najlepszych dostępnych technologii i minimalizacji wpływu na środowisko budynków, poprzez ich odpowiednie projektowanie lub modernizację [18]. Często materiały budowlane, których faza produkcji związana jest z niskimi kosztami ekonomicznymi oraz niskim oddziaływaniem na środowisko, w fazie użytkowania budynku, mogą przyczynić się do zwiększenia kosztów użytkowania oraz wysokiego poziomu oddziaływania na środowisko. Przeciwnie, może się okazać, że jeśli weźmiemy pod uwagę materiały budowlane, o tym samym zastosowaniu, o znaczących emisjach zanieczyszczeń do środowiska, oraz wysokich kosztach ekonomicznych w fazie produkcji, mogą przyczynić się one do zmniejszenia kosztów użytkowania oraz poziomu oddziaływania na środowisko w fazie użytkowania budynku. Zważywszy na czasokres użytkowania budynku (zależny od konstrukcji i przeznaczenia - 50 ÷ 100 lat [3]), to drugie rozwiązanie z reguły wypada korzystniej w analizie LCA. Zasadnicze znaczenie dla ekologizacji budownictwa (zrównoważenia budownictwa) ma zastosowanie w kontekście oceny kosztów i korzyści ekonomicznych oraz środowiskowych przy określaniu najbardziej wydajnych ekologicznie technologii.

Analizie poddano standardowy budynek mieszkalny dwukondygnacyjny o powierzchni użytkowej 147,30m², powierzchni przegród zewnętrznych pionowych 183,55m² i kubaturze 407,17m³, w którym przyjęto: ławy fundamentowe żelbetowe;

ściany zewnętrzne jednowarstwowe, z bloczków betonu komórkowego (lub jako wariant zastosowano również pustaki ceramiczne); ściany wewnętrzne z bloczków betonu komórkowego; ściany działowe z cegły; strop gęsto żebrowy; schody wewnętrzne drewniane; więźba dachowa drewniana, płatwiowo-kleszczowa.

Jednostka funkcjonalna została określona dla materiałów termoizolacyjnych i wynosi 1m^3 wytworzonego materiału. Natomiast dla fazy energetycznej - użytkowej budynku przyjęto, jako jednostkę funkcjonalną 1 kWh wytworzonej energii z różnych źródeł ciepła.

Dane dla modelu LCA były pobrane z różnych źródeł. System wyrobu w zakresie analizowanych materiałów termoizolacyjnych (wełna mineralna oraz styropian EPS) był modelowany z biblioteki danych ETH-ESU zawartych w pakiecie oprogramowania SimaPro. Z bazy danych Buwal 250 modelowano system wyrobu dla źródeł pozyskania energii cieplnej w budynku. Natomiast modelowanie systemu wyrobu dla materiałów konstrukcyjnych było przeprowadzone w następujący sposób:

- pustak ceramiczny z biblioteki danych ETH-ESU,
- beton komórkowy, dane pobrane z poprzednich badań LCA wykonanych przez autorów, dane przepływów materiałowo-energetycznych opierają się o dane z polskich przedsiębiorstw produkujących ten materiał budowlany.

Do analizy wykorzystano program SimaPro (wersja 7.1) oraz zaimplementowaną w tym programie metodę oceny skutków środowiskowych eko wskaźnik 99. Metoda ta jest zorientowana na jedenaście różnych kategorii oddziaływania oraz identyfikację uszkodzeń w zdrowiu ludzkim, jakości ekosystemów oraz uszczuplenia zasobów surowcowych (trzy kategorie szkód). Ostatecznie, te trzy grupy można zsumować i przedstawić jeden wynik, w postaci Punktów [Pt] [7]. Metoda ta była i jest często wykorzystywana do analizy skutków ekologicznych różnych wyrobów w tym wyrobów budowlanych [1, 5].

8.3 EFEKTY EKOLOGICZNE TERMOIZOLACJI PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH PIONOWYCH BUDYNKU

Przy inwestycji polegającej na termoizolacji przegród zewnętrznych pionowych budynku, powstają efekty dla środowiska związane ze zwiększeniem jak i ze zmniejszeniem obciążenia środowiska. Koszty ekologiczne (zwiększenie obciążenia środowiska) związane są z materiałami termoizolacyjnymi. Natomiast zyski ekologiczne (zmniejszenie obciążenia środowiska) występują w wyniku zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania w fazie użytkowania budynku. Podsumowując, ekologiczne efekty O_s termoizolacji przegród zewnętrznych, przypadające na 1m^2 powierzchni przegrody, można wyznaczyć ze wzoru:

$$O_s = -d \cdot K_l + n \cdot \frac{p_u}{p} \cdot K_e \cdot (D_{Uo} - D_U) \quad [Pt/m^2] \quad (8.1)$$

gdzie:

d [m] – grubość warstwy termoizolacji;

K_l [Pt/m^3] – obciążenie środowiska w Pt przypadające na 1m^3 materiału termoizol.;

n – liczba lat użytkowania termoizolacji;

- p_u [m²] – powierzchnia użytkowa budynku;
 p [m²] – powierzchnia przegród zewnętrznych pionowych budynku;
 K_e [Pt/kWh] – obciążenie środowiska w Pt przypadające na jednostkę funkcjonalną 1kWh wytworzonej energii cieplnej w budynku;
 D_U (D_{Uo}) [kWh/m²rok] – zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, przy U ;
 U – współczynnik przenikania ciepła dla budynku z termoizolacją,
 U_o – współczynnik przenikania ciepła dla budynku bez termoizolacji przypadający na 1m² powierzchni użytkowej budynku.

Pierwszy składnik we wzorze (1) związany jest z kosztami, a drugi z zyskami ekologicznymi. Wartości niektórych danych związanych z oceną efektów ekologicznych termoizolacji mogą z różnych względów odbiegać od założonych. Zbadano, więc dodatkowo wrażliwość na zmiany:

- obciążenia środowiska K_l , generowanego przez badane materiały termoizolacyjne o $\pm 10\%$ (zastosowany materiał termoizolacyjny może mieć inne parametry niż założone, a w konsekwencji generować inne obciążenie środowiska w Pt, producenci materiałów termoizolacyjnych wnoszą różne obciążenie do środowiska – w uzależnieniu od zastosowanej technologii produkcji);
- obciążenia środowiska K_e , generowanego przy wytwarzaniu energii cieplnej w budynku o $\pm 10\%$ (zastosowany system ogrzewania może mieć inne parametry niż założone, a paliwo inną kaloryczność a także może posiadać różną wartość zanieczyszczeń).

8.4 OCENA EFEKTÓW EKOLOGICZNYCH TERMOIZOLACJI

W analizie rozpatrzono następujące warianty. Uwzględniono dwa rodzaje materiałów konstrukcyjnych przegrody:

- M1 beton komórkowy kl. 400kg/m³ ($U_o = 0,284$ W/m²K);
- M2 pustaki ceramiczne MAX ($U_o = 1,157$ W/m²K) i dwa rodzaje materiałów termoizolacyjnych:
 - I1 wełna mineralna ($\lambda = 0,039$ W/mK, $K_l = 8,108$ Pt/m³);
 - I2 styropian EPS ($\lambda = 0,004$ W/mK, $K_l = 4,205$ Pt/m³).

Wzięto pod uwagę dwa rodzaje źródeł ciepła:

- S1 kocioł węglowy ($K_e = 0,0193$ Pt/kWh);
- S1 kocioł gazowy kondensacyjny ($K_e = 0,0123$ Pt/kWh).

Dla badanego budynku powierzchnia użytkowa wynosi $p_u = 147,30$ m², a powierzchnia przegród zewnętrznych pionowych $p = 183,55$ m². Okres użytkowania termoizolacji przyjęto $n = 25$ lat. Grubość termoizolacji d dobierano tak, żeby przegrody z termoizolacją posiadały współczynnik przenikania ciepła $U = 0,25$ W/m²K, zgodnie z obecnie obowiązującymi w Polsce wymaganiami.

Wyznaczono zapotrzebowania na energię do ogrzewania dla budynku bez termoizolacji D_{Uo} i z termoizolacją D_U przegród zewnętrznych, zakładając umiejscowienie budynku w trzech różnych strefach klimatycznych w Polsce: strefa I, np. Koszalin (najcie-

plejsza); strefa III, np. Lublin; strefa V, np. Białystok (najzimniejsza). Wyniki zestawiono w tab. 8.1. Można zaobserwować, że w przypadku murów z pustaków ceramicznych MAX (M2), po wykonaniu termoizolacji zapotrzebowanie na energię do ogrzewania zmniejsza się o ponad 50%. Dla takiego samego budynku, ale wybudowanego w strefie V, zapotrzebowanie na energię do ogrzewania jest o ponad 15% większe niż w strefie I.

Tab. 8.1 Zapotrzebowania na energię do ogrzewania w budynku w kWh/m²rok

Strefa klim.	D _{Uo}		D _U
	M1	M2	
I	84,93	176,46	81,54
III	90,15	185,08	86,68
V	99,52	202,45	95,70

Źródło: opracowanie własne

Otrzymane efekty ekologiczne, w zależności od strefy klimatycznej, materiału konstrukcyjnego przegrody, materiału termoizolacyjnego i stosowanego źródła ciepła, przedstawiono w tab. 8.2.

Tab. 8.2 Efekty ekologiczne termoizolacji budynku w Pt/m²

Źródło ciepła		S1		S2	
Mat. termoizol.	Strefa klimat.	M1	M2	M1	M2
I1	I	1,159	35,765	0,683	22,434
	III	1,190	37,112	0,702	23,293
	V	1,325	40,346	0,789	25,354
I2	I	1,233	36,228	0,757	22,897
	III	1,264	37,575	0,776	23,756
	V	1,399	40,809	0,863	25,817

Źródło: opracowanie własne

Widać, że efekty ekologiczne we wszystkich wariantach są dodatnie (następuje zmniejszenie obciążenia środowiska), ale różnice są bardzo duże i zależą one istotnie od wszystkich czterech czynników branych pod uwagę. Największe zmniejszenia obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji uzyskano w wariantcie (M2-S1-I2-V), a najmniejsze w wariantcie (M1-S2-I1-I). Największy wpływ na efekty ekologiczne ma rodzaj materiału konstrukcyjnego przegrody, a dokładniej mówiąc współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych bez termoizolacji. Przegrody typu M2 mają dużo gorszy współczynnik przenikania ciepła od M1, stąd dużo większy efekt ekologiczny w wyniku wykonania termoizolacji. Istotny wpływ ma też rodzaj źródła ciepła używanego w budynku.

W dalszej części artykułu zbadano dodatkowo wrażliwość na zmiany obciążenia środowiska K_l generowanego przez badane materiały termoizolacyjne o $\pm 10\%$. Wyniki przedstawiono w tab. 8.3. Jak widać zmiany obciążenie środowiska generowanego przez

materiały termoizolacyjne, związane z kosztami ekologicznymi, nie mają większego wpływu na zmiany efektów ekologicznych.

**Tab. 8.3 Wrażliwość na zmiany obciążenia środowiska
o +10%/-10%, generowanego przez materiały termoizolacyjne**

Źródło ciepła		S1		S2	
Mat. termoizol.	Strefa klimat.	M1	M2	M1	M2
I1	I	-1,3%/+1,3%	-0,3%/+0,3%	-2,2%/+2,2%	-0,4%/+0,4%
	III	-1,3%/+1,3%	-0,3%/+0,3%	-2,1%/+2,1%	-0,4%/+0,4%
	V	-1,1%/+1,1%	-0,2%/+0,2%	-1,9%/+1,9%	-0,4%/+0,4%
I2	I	-0,6%/+0,6%	-0,1%/+0,1%	-1,1%/+1,1%	-0,2%/+0,2%
	III	-0,6%/+0,6%	-0,1%/+0,1%	-1,0%/+1,0%	-0,2%/+0,2%
	V	-0,6%/+0,6%	-0,1%/+0,1%	-0,9%/+0,9%	-0,2%/+0,2%

Źródło: opracowanie własne

Na koniec zbadano wrażliwość na zmiany obciążenia środowiska K_e generowanego przy wytwarzaniu energii cieplnej w budynku o $\pm 10\%$. Wyniki zawarto w tab. 8.4. Zmiany obciążenia środowiska, powstającego przy wytwarzaniu energii cieplnej w budynku, związane z zyskami ekologicznymi, istotnie wpływają na zmiany efektów ekologicznych. We wszystkich przypadkach, przy obciążeniu K_e większym o 10%, efekty ekologiczne powstałe w wyniku termoizolacji (zmniejszenie obciążenia środowiska) są większe o ponad 10%.

**Tab. 8.4 Wrażliwość na zmiany obciążenia środowiska
o +10%/-10%, generowanego przy wytwarzaniu energii cieplnej**

Źródło ciepła		S1		S2	
Mat. termoizol.	Strefa klimat.	M1	M2	M1	M2
I1	I	+11,3%/ -11,4%	+10,3%/ -10,3%	+12,2%/ -12,3%	+10,4%/ -10,4%
	III	+11,3%/ -11,3%	+10,3%/ -10,3%	+12,3%/ -12,1%	+10,4%/ -10,4%
	V	+11,2%/ -11,2%	+10,2%/ -10,2%	+11,9%/ -12,0%	+10,4%/ -10,4%
I2	I	+10,6%/ -10,7%	+10,1%/ -10,1%	+11,0%/ -11,1%	+10,2%/ -10,2%
	III	+10,6%/ -10,7%	+10,1%/ -10,1%	+11,1%/ -11,0%	+10,2%/ -10,2%
	V	+10,6%/ -10,6%	+10,1%/ -10,1%	+10,9%/ -11,0%	+10,2%/ -10,2%

Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Zaproponowana metoda oceny efektów ekologicznych termoizolacji przegród zewnętrznych budynku uwzględnia obciążenie środowiska generowane przy wytwarzaniu materiałów termoizolacyjnych jak i przy wytwarzaniu energii cieplnej w budynku. W badaniach uwzględniono wariantowość ze względu na rodzaj przegrody zewnętrznej, stosowane źródło ciepła w budynku, rodzaj materiału termoizolacyjnego, a także strefę klimatyczną, w której znajduje się budynek. Dla każdego badanego wariantu uzyskano

pozytywny efekt - zmniejszenie obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji. Zmiany obciążenia środowiska związane z materiałami termoizolacyjnymi nie mają większego wpływu na końcowy efekt ekologiczny. Inaczej jest ze zmianą obciążenia środowiska związanego z wytwarzaniem energii cieplnej. W tym przypadku, obciążenie środowiska większe o 10 % spowoduje zwiększenie efektów ekologicznych (zmniejszenie obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji) o 10,1% - 12,3% w zależności od rozpatrywanego wariantu.

Stąd jednoznacznie można stwierdzić, że dobór odpowiedniego rodzaju paliwa stosowanego do źródła ciepła w budynku ma istotne znaczenie dla zmniejszenia oddziaływania na środowisko. Inwestycja termomodernizacyjna polega nie tylko na zastosowaniu na przegrodach zewnętrznych materiału termoizolacyjnego, ale również między innymi na zmianie źródła ciepła. Dokonując wyboru źródła ciepła należy stosować kryterium zapewniające minimalizację zmian składu chemicznego paliwa (np. paliwa gazowe).

LITERATURA

- 1 G.A. Blengini. „Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy.” *Building and Environment*, vol. 44, 2008, p. 319-330.
- 2 A. Brás, V. Gomes. „LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitation of school buildings.” *Energy and Buildings*, vol. 92, 2015, p. 1-9.
- 3 I.Z. Bribián, A.V. Capilla, A.A. Usón. „Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential.” *Building and Environment*, vol. 46 (5), 2011, p. 1133-1140.
- 4 P. Buttol, P. Masoni, A. Bonoli, S. Goldoni, V. Belladonna, C. Cavazzuti. „LCA of integrated MSW management systems: Case study of the Bologna District.” *Waste Management*, vol. 27 (8), 2007, p. 1059-1070.
- 5 R. Dylewski, J. Adamczyk. „The comparison of thermal insulation types of plaster with cement plaster.” *Journal of Cleaner Production*, vol. 83, 2014, p. 256-262.
- 6 M. Dzikuć, A. Piwowar. „Ecological and economic aspects of electric energy production using the biomass co-firing method: The case of Poland.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, 2016, p. 856-862.
- 7 M. Goedkoop, R. Spriensma. „The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment - Methodology Report.” *Pré Consultants B.V., Amersfoort*, The Netherlands, 2001.
- 8 J.C. Herrera, C.R. Chamorro, M.C. Martín. „Experimental analysis of performance, greenhouse gas emissions and economic parameters for two cooling systems in a public administration building.” *Energy and Buildings*, vol. 108, 2015, p. 145-155.

- 9 C. Ingrao, A. Matarazzo, C. Tricase, M.T. Clasadonte, D. Huisigh. „Life Cycle Assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems.” *Journal of Cleaner Production*, vol. 92, 2015, p. 109-120.
- 10 ISO 14040:2006 International Standard Organization. Environmental management – Life cycle assessment – principles and framework.
- 11 ISO 14044:2006 International Standard Organization. Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines.
- 12 S.N. Murray, B.P. Walsh, D. Kelliher, D.T.J. O'Sullivan. „Multi-variable optimization of thermal energy efficiency retrofitting of buildings using static modelling and genetic algorithms – A case study.” *Building and Environment*, vol. 75, 2014, p. 98-107.
- 13 O. Ortiz, C. Bonnet, J.C. Bruno, F. Castells, „Sustainability based on LCM of residential dwellings: a case study in Catalonia, Spain.” *Building and Environment*, vol. 44, 2009, p. 584-594.
- 14 A. Piwowar, M. Dzikuć, J. Adamczyk. „Agricultural biogas plants in Poland - selected technological, market and environmental aspects.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, 2016, p. 69-74.
- 15 *Polityka Ekologiczna Państwa w latach 2009-2012 z perspektywą do roku 2016*, Warszawa: 2008, Pobrano z: https://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_11/8183a2c8-6f4d7e2cdf8c3572bdba0bc6.pdf [Dostęp: 21.03.2016].
- 16 *Polityka Klimatyczna Polski, Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020*, przyjęta przez Radę Ministrów dnia 04.11.2003r. Warszawa: Ministerstwo Środowiska, 2003.
- 17 E. Van der Harst, J. Potting, C. Kroeze. „Comparison of different methods to include recycling in LCAs of aluminium cans and disposable polystyrene cups.” *Waste Management*, vol. 48, 2016, p. 565-583.
- 18 I. Zabalza, A. Aranda, S. Scarpellini. „Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification.” *Building and Environment*, vol. 44, 2009, p. 2510-2520.

OCENA EFEKTÓW EKOLOGICZNYCH TERMOIZOLACJI BUDYNKÓW

Streszczenie: W Polsce i innych krajach europejskich jednym z celów strategicznych jest poprawa efektywności energetycznej. Celem artykułu jest przedstawienie metody oceny efektów ekologicznych przedsięwzięcia związanego z termoizolacją budynku z uwzględnieniem oceny wrażliwości wybranych zmiennych. Do oceny oddziaływania na środowisko wykorzystano metodologię oceny cyklu życia (LCA). Wzięto pod uwagę zarówno koszty ekologiczne (zwiększenie obciążenia środowiska) związane są z materiałami termoizolacyjnymi jak i zyski ekologiczne (zmniejszenie obciążenia środowiska) powstałe w wyniku zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania w fazie użytkowania budynku. Uwzględniono wariantowość ze względu na rodzaj przegrody zewnętrznej, stosowane źródło ciepła w budynku, rodzaj materiału termoizolacyjnego, a także strefę klimatyczną, w której znajduje się budynek. Dla każdego badanego wariantu uzyskano pozytywny efekt - zmniejszenie obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji.

Słowa kluczowe: ocena cyklu życia (LCA), termoizolacja budynku, efekty ekologiczne

THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BUILDING THERMAL INSULATION

Abstract: One of the strategic objectives in Poland and other European countries is to improve energy efficiency. This paper aims to present a method for evaluating environmental effects of the project associated with thermal insulation of the building including the assessment of sensitivity of selected variables. To evaluate the environmental impact the methodology of life cycle assessment (LCA) was used. Both the environmental costs (increased burden on the environment) related to thermal insulating materials and environmental gains (reduction of environmental load) resulting from the reduction of energy demand for heating in the use phase of the building, were taken into consideration. The options were included with regard to the type of the external wall, heat source used in the building, the type of thermal insulating material, and the climate zone in which the building is located. For each studied variant a positive effect was obtained - reducing the burden on the environment as a result of thermal insulation.

Key words: life cycle assessment (LCA), thermal insulation of the building, environmental effects

Dr Robert DYLEWSKI
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Matematyki, Informatyki
i Ekonometrii
ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra
e-mail: R.Dylewski@wmie.uz.zgora.pl

Dr inż. Janusz ADAMCZYK
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Ekonomii i Zarządzania
ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra
e-mail: : J.Adamczyk@wez.uz.zgora.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 27.04.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 08.05.2016