

## 4

# KORZYŚCI EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE WYNIKAJĄCE ZE ZMIAN NORMOWYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZENIKANIA CIEPŁA W BUDYNKACH

### 4.1 WPROWADZENIE

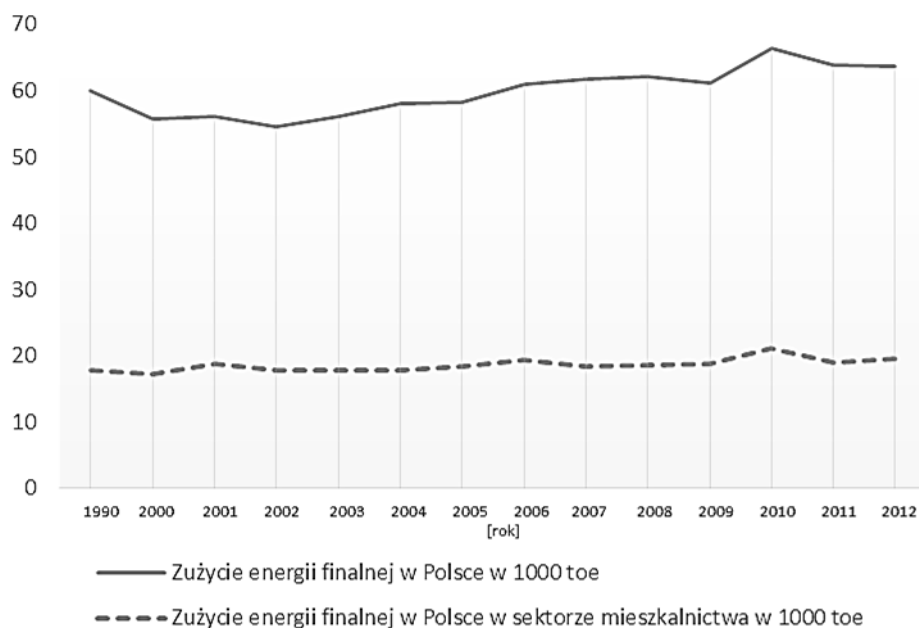
Rozwój gospodarczy w oparciu o paradygmat zrównoważonego rozwoju jest jednym z podstawowych celów, do którego dąży Unia Europejska. W państwach unijnych duży nacisk kładzie się na zmniejszenie oddziaływania na środowisko, w tym między innymi na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery [3]. Osiem lat temu (styczeń 2007 r.) Komisja Europejska zaproponowała tak zwany pakiet klimatyczno-energetyczny, który został przyjęty przez Parlament Europejski w 2008 roku. Pakiet ten zobowiązuje wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej do [1], [10], [22]:

- zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych przynajmniej o 20% w 2020 r. w porównaniu do bazowego 1990 r. i 30% zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w 2020 r. w UE w przypadku, gdyby uzyskano światowe porozumienie co do redukcji gazów cieplarnianych;
- zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii końcowej do 20% w 2020 r., w tym 10% udziału biopaliw w zużyciu paliw pędnych (Polsce zaproponowano niższe o 5 punktów procentowych wymagania – 15%) [12];
- zwiększenia efektywności wykorzystania energii o 20% do 2020 r. w porównaniu do prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię.

W styczniu 2014 roku Komisja Europejska zaproponowała kolejny, „nowy” pakiet klimatyczno-energetyczny 2030. Zakład się w nim dwa główne cele: obniżenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) do 2030 roku o 40 proc. poniżej poziomu z 1990 r., oraz w dziedzinie produkcji energii ze źródeł odnawialnych wzrost udziału tej energii, w ogólnym bilansie energii finalnej, do poziomu co najmniej 27% [2].

Zużycie energii finalnej w Polsce było zdecydowanie na niższym poziomie przed akcesją w struktury Unii Europejskiej (przed 2004 rokiem) niż w ciągu ostatniej dekady (rys. 4.1). Od roku 2006 do 2010 zużycie energii finalnej stale rosło. W roku 2010 przypada najwyższa wartości zużycia tej energii. Wynikało to przede wszystkim z istotnego zwiększenia tempa rozwoju gospodarczego kraju. W sektorze

mieszkaniowym, gdzie wg krzywej McKinseya należy upatrywać najniższych kosztów poprawy efektywności energetycznej [11], zużycie energii finalnej również posiada tendencję wzrostową z najwyższą wartością przypadającą w 2010 roku. Udział procentowy zużycia energii finalnej w sektorze mieszkalnictwa w stosunku do wartości zużycia energii finalnej we wszystkich sektorach gospodarki kształtuje się na poziomie około 30% (rys. 4.1).



**Rys. 4.1 Zużycie energii finalnej oraz energii w sektorze mieszkaniowym w Polsce w 1000 toe**

Źródło: [8]

Z racji wysokiego zużycia energii finalnej w sektorze mieszkalnictwa to właśnie tu upatruje się największej, ekonomicznie uzasadnionej, możliwości poprawy efektywności wykorzystania energii. Termomodernizacja istniejącej i termoizolacja nowej substancji budowlanej jest postrzegana jako przedsięwzięcia ekonomicznie uzasadnione. Stąd ciągła nowelizacja uregulowań prawnych w zakresie zmniejszania wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  różnych elementów budynku jest pożądana.

Celem artykułu jest sprawdzenie korzyści ekonomicznych i ekologicznych wynikających ze zmian wartości współczynnika przenikania ciepła w uregulowaniach prawnych w stosunku co do budowy nowych i renowacji budynków. Analiza zawiera obliczenia zapotrzebowania na energię budynku na bazie byłych, istniejących oraz zalecanych w przyszłości wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$ .

#### **4.2 ZMIANY WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZENIKANIA CIEPŁA RÓŻNYCH PRZEGRÓD W POLSCE**

Wartość normowego współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych  $U$  jest kluczowa, choć nie jedyna, dla przyszłego zapotrzebowania na energię budynku. Zmiany wartości tego współczynnika na bardziej efektywne energetycznie były

uwarunkowane światowymi kryzysami energetycznymi. Począwszy od 1973 roku, kiedy to państwa zrzeszone w OPEC zastosowały embargo wobec Stanów Zjednoczonych po wybuchu wojny izraelsko-arabskiej spowodowało to zawirowania na rynkach nośników energii, cena baryłki ropy wzrosła o 600%. Sytuacja paliwowo-energetyczna znalazła odzwierciedlenie w polskich uregulowaniach prawnych dotyczących poprawy efektywności energetycznej budynków. Zostały „poprawione” wymagania co do przegród poziomych – dachów i stropów, pozostałe wymagania pozostały bez zmian (tabela 4.1).

**Tabela 4.1 Normowe wartości maksymalnego współczynnika przenikania ciepła  $U$  różnego rodzaju przegród ogrzewanych pomieszczeń w Polsce w rysie historycznym dla referencyjnych obiektów mieszkalnych**

Rok wznoszenia budynku		od 1957	od 1964	od 1974	od 1982	od 1991	od 2002	od 2009	od 2014	od 2017
Dokument odniesienia		PN-57/B-02405	PN-64/B-03404	PN-74/B-03404	PN-82/B-02020	PN-91/B-02020	Dz. U. 2002 Nr 7 poz. 690	Dz. U. 2008 Nr 201 poz. 1238	Dz. U. 2013 poz. 926	Dz. U. 2013 poz. 926
Rodzaj przegrody	Jednostka									
Ściana zewnętrzna	[W/m <sup>2</sup> *K]	1,16-1,42 <sup>1</sup>	1,16-1,42 <sup>1</sup>	1,16-1,42 <sup>1</sup>	0,75	0,55-0,70 <sup>1</sup>	0,30-0,50 <sup>1</sup>	0,30	0,25	0,23
Dachy, stropodachy	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,87	0,87	0,70	0,45	0,30	0,30	0,25	0,20	0,18
Strop nad nieogrzewaną piwnicą	[W/m <sup>2</sup> *K]	1,16	1,16	1,16	1,16	0,60	0,60	0,45	0,25	0,25
Strop pod poddaszem	[W/m <sup>2</sup> *K]	1,04-1,16	1,04-1,16	0,93	0,40	0,30	0,30	0,25	0,20	0,18
Podłogi na gruncie	[W/m <sup>2</sup> *K]	-	-	-	-	-	-	0,45	0,30	0,30
Okna	[W/m <sup>2</sup> *K]	-	-	-	2,00-2,60 <sup>2</sup>	2,00-2,60 <sup>2</sup>	2,00-2,60 <sup>2</sup>	1,70-1,80 <sup>2</sup>	1,30	1,10
Drzwi	[W/m <sup>2</sup> *K]	-	-	-	2,60	2,60	2,60	2,60	1,70	1,50

Źródło: [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20].

<sup>1</sup> Odpowiednia wartość współczynnika przenikania ciepła zależna od rodzaju budynku (produkcyjne, budynki użyteczności publicznej, budynki jednorodzinne, budynki wielorodzinne i zamieszkania zbiorowego) i/lub rodzaju przegrody (jednowarstwowa, wielowarstwowa)

<sup>2</sup> Odpowiednia wartość współczynnika przenikania ciepła zależna od rodzaju strefy klimatycznej

W latach 1979-1982 nastąpił kolejny kryzys energetyczny, który był skutkiem rewolucji irańskiej. Ceny nośników energii gwałtownie wzrosły. Znalazło to odbicie w bardziej restrykcyjnych przepisach dotyczących przegród zewnętrznych w Polsce, określono dodatkowo parametry okien i drzwi, które dotychczas nie posiadały wyartykułowanych maksymalnych wartości współczynnika przenikania ciepła (tabela 4.1). Najbardziej zwiększono wymagania dla stropu pod poddaszem, maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła została zmniejszona o 57%.

Kolejne zmiany wartości współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych w Polsce uległy modyfikacji przy okazji kolejnego kryzysu jakim była wojna w Zatoce Perskiej (1990 rok). Do wzrostu wymagań w 1991 roku doszło również z powodu urynkowania cen ciepła i surowców energetycznych w Polsce. Największe zmiany dotyczyły stropu nad nieogrzewaną piwnicą oraz ścian zewnętrznych (tabela 4.1).

Kolejne lata od 1999 roku na rynku ropy naftowej przynosiły dalsze podwyżki cen tego surowca. Jednak kolejne zmiany wartości współczynnika przenikania ciepła, nie były spowodowane jedynie droższą ropą naftową, ale miały również inne przyczyny. Pierwsza z nich to kandydowanie Polski w struktury Unii Europejskiej. Wiązało się to z implementacją ustawodawstwa unijnego do krajowego, co zdecydowanie przyczyniło się do poprawy wartości współczynników przenikania ciepła (tabela 4.1). Drugą przyczyną to stworzenie instrumentów finansowych umożliwiających obniżenie kosztów termoizolacji istniejących budynków. Kolejną przyczyną to wyższa świadomość ekologiczna właścicieli i zarządców budynków, bezpośrednio związana ze zmniejszeniem emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, które przyczynia się do zmniejszenia niekorzystnych zmian klimatu.

Kluczową dyrektywą, w aspekcie poprawy efektywności wykorzystania energii w sektorze budowlanym, była dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków EPBD („Energy Performance of Buildings Directive”) w powołana w 2002 roku, która miała zostać włączona do ustawodawstwa krajów członkowskich do 2006 roku. Miała ona na celu poprawę parametrów budynków za pomocą instrumentów informacyjnych i regulacyjnych. W 2010 roku dyrektywa ta została znowelizowana.

Nowa dyrektywa zobowiązała wszystkie państwa członkowskie UE do zmiany krajowych przepisów dotyczących charakterystyki energetycznej budynków do dnia 9 lipca 2012, natomiast od 9 lipca 2013 roku wszystkie wybudowane budynki musiały spełniać określone w dyrektywie normy dotyczące minimalnej charakterystyki energetycznej [7].

Obecnie ustawodawstwo polskie przewiduje również zmiany wartości współczynnika  $U$  w przyszłości, co ma zapewnić wznoszenie budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię (zgodnie z zapisem art. 9 dyrektywy 2010/31/UE).

W dalszej części artykułu zostanie zasymulowane zapotrzebowanie na energię domu jednorodzinnego, którego przegrody zewnętrzne będą spełniały wymagania współczynnika przenikania ciepła odpowiednio dla poszczególnych lat (patrz tabela 4.1). Symulacja ma na celu zobrazowanie różnicy zapotrzebowania na energię między poszczególnymi okresami, od roku 2009 do 2017. Różnice zapotrzebowania na energię budynku zostaną poddane ocenie ekonomicznej i środowiskowej [4], [5].

#### 4.3 CHARAKTERYSTYKA BADANEGO BUDYNKU

Badaniu poddano dom jednorodzinny o powierzchni użytkowej  $p_u = 102,4 \text{ m}^2$ , zlokalizowany w II strefie klimatycznej w Polsce. Jest to nieduży dom, wolnostojący, z użytkowym poddaszem, zaprojektowany dla 4 osobowej rodziny, częściowo podpiwniczony. W piwnicy – kotłownia i pomieszczenie gospodarcze. Ściany konstrukcyjne o grubości 24 cm wykonano z silikatu, stropy – typu „TERIVA”, dach drewniany dwuspadowy, pokryty dachówką o kącie nachylenia 36 stopni. W budynku przewidziano wentylację naturalną.

Zgodnie z normą EN 15643-1:2010 ocena oddziaływania budynku na środowisko

powinna opierać się na różnych scenariuszach (wariantach) proponowanych rozwiązań technicznych i funkcjonalnych. Wariantowość konstrukcji ściany w badaniu będzie realizowana przez zastosowanie różnych rodzajów termoizolacji w zastosowaniu do ściany konstrukcyjnej wykonanej z silikatu. Dodatkowo przewidziano różne rodzaje źródeł ciepła, których zastosowanie ma istotny wpływ na dobór grubości termoizolacji.

Współczynniki przenikania ciepła  $U$  przegród zewnętrznych budynku jednorodzinnego zostały tak przyjęte (tabela 4.2) aby spełniać maksymalne normowe wartości współczynnika ( $U \leq U_{max}$ ).

**Tabela 4.2 Założone wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  różnego rodzaju przegród ogrzewanych pomieszczeń w analizowanym budynku jednorodzinym**

Rok obowiązywania normowego współczynnika przenikania ciepła		od 2009	od 2014	od 2017
Rodzaj przegrody	Jednostka			
Ściana zewnętrzna	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,29	0,25	0,23
Dachy, stropodachy	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,25	0,20	0,18
Strop nad nieogrzewaną piwnicą	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,44	0,25	0,25
Strop pod poddaszem	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,25	0,20	0,18
Podłogi na gruncie $U_0=1.08$ W/m <sup>2</sup> *K	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,44	0,30	0,30
Podłogi na gruncie $U_0=2.76$ W/m <sup>2</sup> *K	[W/m <sup>2</sup> *K]	0,44	0,30	0,30
Okna, drzwi	[W/m <sup>2</sup> *K]	1,65	1,30	1,10
Zapotrzebowanie na energię	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	<b>112,28</b>	<b>91,68</b>	<b>84,54</b>

Źródło: Opracowanie własne na z wykorzystaniem programu komputerowego CERTO

Zaproponowane wartości współczynników przenikania ciepła przegród konstrukcyjnych stanowiły podstawę do wyznaczenia zapotrzebowania na energię dla poszczególnych lat oraz analizowanego budynku z wykorzystaniem programu komputerowego CERTO. W tabeli 4.2 zestawiono również wyniki zapotrzebowania na energię na potrzeby centralnego ogrzewania. Pominięto konieczność wytworzenia energii cieplnej na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Jak wynika z tabeli 4.2 wartość zapotrzebowania na energię w roku 2017 będzie niższa od wymagań normowych stawianych dla analizowanego budynku w minionym 2014 roku.

#### 4.4 OCENA ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO WARIANTÓW TERMOMODERNIZACJI

Ocenę oddziaływania na środowisko przeprowadzono z wykorzystaniem analizy oceny cyklu życia (LCA). Metodologia analizy LCA ma na celu identyfikowanie aspektów środowiskowych wyrobów i ich potencjalnego wpływu na środowisko w całym cyklu życia [9]. Analizę tę zastosowano do oceny oddziaływania na środowisko materiałów termoizolacyjnych i zapotrzebowania na energię w kontekście wariantowości zastosowanych źródeł ciepła. Metodyka analizy cyklu życia została opisana w normach ISO 14040 oraz ISO 14044.

W artykule poddano ocenie oddziaływanie na środowisko produkcji materiałów termoizolacyjnych budowlanych użytych do izolacji przegród zewnętrznych. Nie

uwzględniono wpływ na środowisko wymiany okien i drzwi. System wyrobu obejmuje fazę wytworzenia materiałów termoizolacyjnych wraz z fazą pozyskania surowców i energii do ich wytworzenia oraz fazę użytkowania (tzw. fazę energetyczną<sup>1</sup>). W systemie wyrobu nie uwzględniono fazy recyklingu po okresie użytkowania w odniesieniu do wszystkich materiałów. Jako jednostkę funkcjonalną dla materiałów termoizolacyjnych przyjęto 1 m<sup>3</sup> materiału. Natomiast dla fazy energetycznej cyklu istnienia budynku – przyjęto jako jednostkę funkcjonalną wytworzenie 1 kWh energii cieplnej w zależności od stosowanego źródła ciepła.

W artykule, do analizy wykorzystano program komputerowy SimaPro 7.1, który umożliwia skorzystanie z wielu procedur (metod) oceny, z których w powyższym opracowaniu wykorzystano procedurę IPCC 2001 GWP. Procedura IPCC 2001 GWP umożliwia prezentację wyników w odniesieniu do kilogramów ekwiwalentu CO<sub>2</sub> bez możliwości przeprowadzenia normalizacji i ważenia. Metoda ta zawiera listę czynników zmian klimatycznych IPCC rozważanych w czasookresie 20, 100 i 500 lat, w analizie wykorzystano procedurę IPCC 2001 GWP 100a, odnoszącą się do okresu 100 lat [21].

#### 4.5 OCENA EKONOMICZNA I EKOLOGICZNA

W punkcie tym zaproponowano metodologię oceny ekonomicznej i ekologicznej dla termoizolacji przegród w budynku. Produkcja termoizolacji związana jest z emisją zanieczyszczeń towarzyszących: pozyskiwaniu surowców, transportowi, produkcji, instalacji i unieszkodliwianiu. Natomiast zmniejszenie oddziaływania na środowisko fazy energetycznej budynku związane jest z wykonaniem termoizolacji lub termomodernizacji. Porównanie ze sobą tych dwóch elementów, tzn. fazy energetycznej budynku oraz fazy produkcji materiałów termoizolacyjnych, może dać odpowiedź na temat opłacalności ekonomicznej i ekologicznej przedsięwzięć z zakresu termoizolacji przegród budynku [6].

W analizie jako bazowy budynek przyjmuje się obiekt, w którym termoizolacje spełniają wymagania współczynnika przenikania ciepła na dzień dzisiejszy (od 2014 r.) – tabela 4.2. Ocenę ekonomiczną jak i ekologiczną wykonano dla wariantów termoizolacji wg wymagań w latach 2009 i 2017, biorąc pod uwagę różnice wartości współczynnika przenikania ciepła.

Dla termoizolacji przegród budowlanych, koszty ekonomiczne zależą od grubości dodatkowej warstwy termoizolacyjnej i kosztów użytego materiału termoizolacyjnego. Nie bierze się pod uwagę kosztów położenia termoizolacji, zakładając że koszty te nie zależą od grubości warstwy termoizolacyjnej (a są ponoszone zarówno przy mniejszej i większej grubości warstwy izolacji). Koszty ekonomiczne potrzebne do spełnienia odpowiednich wymagań, można więc wyznaczyć w następujący sposób:

$$P_0 = - \sum_j [K_m(j) \cdot d(j) \cdot p(j)] / p_u \quad [\text{PLN}/\text{m}^2], \quad (4.1)$$

<sup>1</sup> Faza energetyczna związana jest bezpośrednio ze współczynnikiem przewodzenia ciepła poszczególnych materiałów, co w konsekwencji pośrednio decyduje o zapotrzebowaniu budynku na energię cieplną

gdzie:

$j$  – numer rodzaju przegrody,

$K_m(j)$  – koszt 1 m<sup>3</sup> materiału termoizolacyjnego użytego do izolacji przegrody  $j$ -tego rodzaju [PLN/m<sup>3</sup>],

$d(j)$  – grubość dodatkowej warstwy termoizolacji na przegrodzie  $j$ -tego rodzaju [m],

$p(j)$  – pole powierzchni przegród  $j$ -tego rodzaju [m<sup>2</sup>],

$p_u$  – powierzchnia użytkowa budynku [m<sup>2</sup>].

W badanym budynku będą brane pod uwagę zmiany grubości termoizolacji dla 6 rodzajów przegród (tabela 4.3).

Zyski ekonomiczne, otrzymane w fazie użytkowania budynku, związane są ze zmniejszeniem zapotrzebowania na moc ciepłą budynku i kosztami wytworzenia ciepła. Można je wyznaczyć ze wzoru:

$$\sum_{i=1}^n P_i = (D_{Uo} - D_U) \cdot K_c \cdot S_n \quad [\text{PLN/m}^2], \quad (4.2)$$

gdzie:

$(D_{Uo} - D_U)$  – różnica w rocznym zapotrzebowaniu na moc ciepłą budynku, przypadającym na 1 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej [kWh/m<sup>2</sup>y],

$K_c$  – koszt wytwarzanego ciepła dla danego źródła ciepła i paliwa [PLN/kWh],

$S_n = \sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$  – skumulowany czynnik dyskontujący,

$n$  – liczba lat użytkowania termoizolacji,

$r$  – realna roczna stopa procentowa,

$s$  – realny roczny wzrost (w procentach) kosztów ogrzewania.

Zatem korzyści ekonomiczne z dodatkowej termoizolacji wynoszą:

$$NPV = \sum_{i=0}^n P_i \quad [\text{PLN/m}^2]. \quad (4.3)$$

Można też wyznaczyć zdyskontowany okres zwrotu jako najkrótszy okres  $[0, T]$ , dla którego wartość bieżąca netto  $NPV$  wszystkich przepływów  $P_i$  z tego okresu jest nieujemna. Porównując kilka wariantów inwestycji, ze względu na ten wskaźnik, za lepszą uważa się inwestycję, która ma mniejszą wartość  $T$ .

Biorąc pod uwagę względy ekologiczne, „koszty” związane są z dodatkowym zwiększeniem obciążenia środowiska, a „zyski” ze zmniejszeniem obciążenia środowiska. Korzyści ekologiczne można więc określić w następujący sposób:

$$NPV_E = \sum_{i=0}^n E_i \quad [\text{kg CO}_2\text{-eq/m}^2], \quad (4.4)$$

gdzie:

$E_i < 0$  – wielkość zwiększenia obciążenia środowiska w roku  $(t_{i-1}, t_i)$ ,

$E_i > 0$  – wielkość zmniejszenia obciążenia środowiska w roku  $(t_{i-1}, t_i)$ .

Ze względów ekologicznych, koszty  $E_0$  [kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>] (zwiększenie obciążenia środowiska) związane są z produkcją materiału termoizolacyjnego. Zależą one od

rodzaju materiału termoizolacyjnego i grubości dodatkowej warstwy termoizolacyjnej. Można je wyznaczyć analogicznie jak ze wzoru (1), gdzie zamiast  $K_m(j)$  bierze się  $K_l(j)$  – wynik analizy LCA dla 1 m<sup>3</sup> materiału termoizolacyjnego użytego do izolacji przegrody  $j$ -tego rodzaju [kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>].

Zyski ekologiczne (zmniejszenie obciążenia środowiska) występują w fazie użytkowania budynku, z powodu zmniejszenia zużycia energii potrzebnej do ogrzewania budynku. Wpływ na dochody ekologiczne ma przede wszystkim używane źródło ciepła:

$$\sum_{i=1}^n E_i = (D_{Uo} - D_U) \cdot K_e \cdot n \quad [\text{kg CO}_2\text{-eq/m}^2], \quad (4.5)$$

gdzie:

$K_e$  – wynik LCA uzyskania 1 kWh energii cieplnej dla danego źródła ciepła [kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh].

Podobnie jak przy ocenie ekonomicznej, można też wprowadzić ekologiczny okres zwrotu jako najkrótszy okres  $[0, T_E]$ , dla którego ekologiczna wartość wszystkich przepływów  $E_i$  z tego okresu jest nieujemna. Jeżeli  $NPV_E < 0$ , to ekologiczny okres zwrotu  $T_E$  nie istnieje (inwestycja powoduje zwiększenie obciążenia środowiska). Porównując kilka wariantów inwestycji, ze względu na ten wskaźnik, za lepszą uważa się inwestycję, która ma mniejszą wartość  $T_E$ .

#### 4.6 WYNIKI

W punkcie tym przedstawiono wyniki analizy korzyści ekonomicznych i ekologicznych dla budynku opisanego punkcie 3. W tabeli 4.3 podano wyznaczone grubości termoizolacji dla poszczególnych rodzajów przegród, dla których uzyskuje się współczynniki przenikania ciepła zgodnie z założonymi wartościami z tabeli 4.2.

Do termoizolacji przegród budowlanych (ściana zewnętrzna, podłoga na gruncie, strop nad nieogrzewaną piwnicą) zastosowano styropian dla którego  $\lambda = 0,045$  W/mK. Termoizolację dachów oraz stropów pod poddaszem wykonano z wykorzystaniem wełny mineralnej o wartości współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,042$  W/mK. Warstwy tych przegród ze względów konstrukcyjnych należy traktować jako niejednorodne składające się z 10% pola powierzchni z warstwy sosny (konstrukcja dachu), dla którego  $\lambda = 0,16$  W/mK oraz warstwy izolacji w pozostałych 90%. Ostatecznie współczynnik przewodzenia ciepła dla warstwy niejednorodnej przyjmuje wartość  $\lambda = 0,054$  W/mK.

**Tabela 4.3 Grubości zastosowanych materiałów termoizolacyjnych w [m]**

Rok obowiązywania normowego współczynnika przenikania ciepła	od 2009	od 2014	od 2017
Rodzaj przegrody			
Ściana zewnętrzna	0,13	0,16	0,18
Dachy, stropodachy(warstwa niejednorodna)	0,20	0,25	0,28
Strop nad nieogrzewaną piwnicą	0,07	0,15	0,15
Strop pod poddaszem(warstwa niejednorodna)	0,20	0,25	0,28
Podłogi na gruncie $U_0=1.08$ W/m <sup>2</sup> *K	0,06	0,09	0,09
Podłogi na gruncie $U_0=2.76$ W/m <sup>2</sup> *K	0,08	0,11	0,11

Źródło: Opracowanie własne



W tabeli 4.4 zestawiono koszty 1 m<sup>3</sup> i wyniki analizy LCA dla 1 m<sup>3</sup> zastosowanych materiałów termoizolacyjnych. Dla wełny mineralnej podano dodatkowo wartości uwzględniające to, że izolacja na przegrodach niejednorodnych zajmuje 90% powierzchni.

**Tabela 4.4 Koszty dla materiałów termoizolacyjnych**

Material termoizolacyjny	styropian	wełna mineralna
$K_m$ [PLN/m <sup>3</sup> ]	115,00	124,85/112,36
$K_l$ [kg CO <sub>2</sub> -eq/ m <sup>3</sup> ]	32,8	255,0/229,5

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli 4.5 zestawiono pola powierzchni przegród w budynku, dla których zastosowano warstwę termoizolacji.

**Tabela 4.5 Pola powierzchni przegród**

Rodzaj przegrody	Pole powierzchni w [m <sup>2</sup> ]
Ściana zewnętrzna	150,48
Dachy, stropodachy (warstwa niejednorodna)	38,75
Strop nad nieogrzewaną piwnicą	30,80
Strop pod poddaszem (warstwa niejednorodna)	42,66
Podłogi na gruncie $U_0=1.08$ W/m <sup>2</sup> *K	13,76
Podłogi na gruncie $U_0=2.76$ W/m <sup>2</sup> *K	36,66

Źródło: Opracowanie własne

Wyznaczono koszty ekonomiczne  $K_c$  wytwarzanego ciepła dla danego źródła ciepła i paliwa (w [PLN/kWh]) z uwzględnieniem ceny paliwa i sprawności systemu grzewczego. Przyjęto sprawności: S1 – 0,82, S2 – 0,94, S3 – 0,99. Przy pomocy programu SimaPro wyznaczono koszty ekologiczne  $K_e$  (w [kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh]) wytworzenia 1 kWh energii cieplnej w zależności od stosowanego źródła ciepła (tabela 4.6).

**Tabela 4.6 Koszty ekonomiczne i ekologiczne wytworzenia 1 kWh energii cieplnej**

Źródło ciepła	k. na węgiel kamienny (S1)	k. na gaz ziemny (S2)	k. na energię elekt. (S3)
$K_c$ [PLN/kWh]	0,121	0,370	0,646
$K_e$ [kg CO <sub>2</sub> -eq/kWh]	0,371	0,219	1,080

Źródło: Opracowanie własne

**Tabela 4.7 Koszty, zyski i korzyści ekonomiczne oraz ekologiczne dla wariantu 2009-2014**

Źródło ciepła	(S1)	(S2)	(S3)
koszty ekonomiczne [PLN/m <sup>2</sup> ]	14,00	14,00	14,00
zyski ekonomiczne [PLN/m <sup>2</sup> ]	48,89	149,50	261,01
korzyści ekonomiczne $NPV$ [PLN/m <sup>2</sup> ]	34,89	135,50	247,01
okres zwrotu $T$ [lata]	7	2	2
koszty ekologiczne [kg CO <sub>2</sub> -eq /m <sup>2</sup> ]	11,8426	11,8426	11,8426
zyski ekologiczne [kg CO <sub>2</sub> -eq /m <sup>2</sup> ]	191,0650	112,7850	556,2000
korzyści ekologiczne $NPV_E$ [kg CO <sub>2</sub> -eq /m <sup>2</sup> ]	179,2224	100,9424	544,3574
okres zwrotu $T_E$ [lata]	2	3	1

Źródło: opracowanie własne

Wykorzystując metodologię wprowadzoną w p. 4.5. wyznaczono koszty, zyski

i korzyści ekonomiczne oraz ekologiczne wynikające z dodatkowej termoizolacji. Przyjęto okres użytkowania  $n = 25$  lat, a stopy procentowe  $r = 4\%$  i  $s = 2\%$ . W tabeli 4.7 zestawiono wyniki dla wariantu 2009-2014, tzn. sprawdzono jakie są korzyści ze zmiany wymagań z roku 2009 do wymagań z roku 2014 i w konsekwencji zmiany zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku z 112,8 kWh/(m<sup>2</sup>rok) na 91,68 kWh/(m<sup>2</sup>rok) (tabela 4.2). Wyznaczono też okresy zwrotu zarówno dla kosztów ekonomicznych jak i ekologicznych.

Wyniki zależą istotnie od stosowanego źródła ciepła. Najwyższe wartości korzyści ekonomicznych, wynikających z poprawy termoizolacji przegród budowlanych do warunków z 2014 roku, przypadają dla wariantu S3 ze względu na najwyższy koszt wytworzenia energii cieplnej (tabela 4.6). Produkcja energii elektrycznej w Polsce jest związana ze spalaniem przede wszystkim stałych paliw kopalnych co wiąże się z wysokim oddziaływaniem na środowisko. Stąd też zmniejszenie zapotrzebowania na energię cieplną do ogrzewania budynku w wyniku zwiększenia grubości termoizolacji przy stosowaniu kotła elektrycznego (S3) generuje najwyższe korzyści ekologiczne. Wartości kosztów ekologicznych dla wszystkich wariantów są niższe od wartości zysków ekologicznych, generowane są więc korzyści ekologiczne. Zwrot poniesionych kosztów ekonomicznych następuje stosunkowo szybko, po 2-7 latach, w zależności od stosowanego źródła ciepła. Podobnie, zwrot kosztów ekologicznych następuje jeszcze szybciej, po 1-3 latach. Można zatem stwierdzić, że nowelizacja przepisów w 2014 roku była uzasadniona ekonomicznie jak i ekologicznie.

W tabeli 4.8 przedstawiono wyniki dla wariantu 2017-2014, tzn. sprawdzono jakie są korzyści ze zmiany wymagań z roku 2014 do wymagań, które mają obowiązywać od roku 2017 i w konsekwencji zmiany zapotrzebowania na energię do ogrzewania z 91,68 kWh/(m<sup>2</sup> rok) na 84,54 kWh/(m<sup>2</sup> rok) (tabela 4.2).

**Tabela 4.8 Koszty, zyski i korzyści ekonomiczne oraz ekologiczne dla wariantu 2017-2014**

Źródło ciepła	(S1)	(S2)	(S3)
koszty ekonomiczne [PLN/m <sup>2</sup> ]	6,06	6,06	6,06
zyski ekonomiczne [PLN/m <sup>2</sup> ]	16,95	51,82	90,47
korzyści ekonomiczne $NPV$ [PLN/m <sup>2</sup> ]	10,89	45,76	84,41
okres zwrotu $T$ [lata]	8	3	2
koszty ekologiczne [kg CO <sub>2</sub> -eq /m <sup>2</sup> ]	6,4377	6,4377	6,4377
zyski ekologiczne [kg CO <sub>2</sub> -eq /m <sup>2</sup> ]	66,2235	39,0915	192,7800
korzyści ekologiczne $NPV_E$ [kg CO <sub>2</sub> -eq /m <sup>2</sup> ]	59,7858	32,6538	186,3423
okres zwrotu $T_E$ [lata]	3	5	1

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak dla wcześniejszego przypadku, generowane są również dodatnie wartości zysków ekonomicznych i ekologicznych dla każdego wariantu źródła ciepła. Wartości wszystkich korzyści ekonomicznych i ekologicznych są zdecydowanie niższe w porównaniu do wcześniejszych wyników (tabela 4.7 i 4.8). Jest to wynikiem mniejszej wartości różnicy zapotrzebowania na energię w budynku dla wariantu 2017-2014 w porównaniu z 2009-2014. Zwroty dodatkowych kosztów następują też stosunkowo szybko, ekonomicznych w granicach 2-8 lat, a ekologicznych w granicach 1-5 lat.

Najniższe wartości korzyści ekonomicznych, w obydwu wariantach, odnotowano dla wariantu z kotłem na węgiel kamienny (S1). Związane jest to z niskim kosztem tego nośnika energetycznego w Polsce i w konsekwencji, niskim kosztem wytworzenia energii cieplnej z tego paliwa (tabela 4.6).

## PODSUMOWANIE

Wytwarzanie energii, szczególnie w warunkach polskich, związane jest z wysokim oddziaływaniem na środowisko. Rozproszona emisja zanieczyszczeń do atmosfery związana z wytwarzaniem energii na potrzeby centralnego ogrzewania w budynkach jednorodzinnych ma istotny wpływ na ilość emitowanego dwutlenku węgla. Jednym ze sposobów na zmniejszenie wpływu tego efektu na środowisko jest zastosowanie termoizolacji o odpowiedniej grubości na przegrodach zewnętrznych.

W artykule poddano ocenie ekonomicznej i ekologicznej wszystkie przegrody budynku i jego zapotrzebowanie na energię ciepłą w kontekście normatywnych wartości współczynnika przenikania ciepła. Wartości tego współczynnika przewidziane do wdrożenia na rok 2017 są jak najbardziej uzasadnione ekonomicznie i ekologicznie w warunkach polskich.

W każdym przypadku koszty ekologiczne są co najmniej kilkakrotnie niższe od wartości zysków ekologicznych. Koszty ekologiczne związane z wyprodukowaniem termoizolacji, zostają zrównoważone przez zyski ekologiczne związane ze zmniejszeniem zużycia energii do ogrzewania w fazie użytkowania budynku, najpóźniej po 5 latach. Wartość okresu zwrotu (ekonomiczna) jest zależna przede wszystkim od kosztów nośników energetycznych i jest najwyższa dla najniższej wartości kosztów wytworzenia ciepła (węgiel). Inaczej sytuacja przedstawia się dla okresu zwrotu ekologicznego, gdzie najniższy okres zwrotu jest uwarunkowany najwyższym oddziaływaniem na środowisko nośnika energetycznego (energia elektryczna).

Korzyści ekonomiczne jak i ekologiczne zależą istotnie od stosowanego źródła ciepła w budynku. Największe korzyści uzyskuje się przy stosowaniu kotła na energię elektryczną, ponieważ dla tego kotła zarówno koszty ekonomiczne jak i ekologiczne wytworzenia 1 kWh energii cieplnej są największe. Przy dobieraniu grubości termoizolacji dla poszczególnych przegród w budynku, powinno brać się pod uwagę nie tylko właściwości i koszty termoizolacji, uzyskane zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, ale też rodzaj stosowanego ogrzewania.

## LITERATURA

1. P. Capros, L. Mantzos, L. Parousos, N. Tasios, G. Klaassen, T. VanIerland. „Analysis of the EU policy package on climate change and renewables”. *Energy Policy*, 39 (2011), pp. 1476–1485.
2. Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions A Policy Framework For Climate And Energy In The Period From 2020 To 2030 (COM/2014/015).

3. S. Di Leo, F. Pietrapertosa, S. Loperte, M. Salvia, C. Cosmi. „Energy systems modelling to support key strategic decisions in energy and climate change at regional scale”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2015), pp. 394–414.
4. R. Dylewski, J. Adamczyk. „Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments”, *Energy and Buildings*, 2012, Vol. 54, pp. 88-95.
5. R. Dylewski, J. Adamczyk. „The comparison of thermal insulation types of plaster with cement plaster”. *Journal of Cleaner Production*, 2014, Vol. 83, pp. 256-262.
6. R. Dylewski, J. Adamczyk. J., 2014. „Life cycle assessment (LCA) of building thermal insulation materials”. *Eco-efficient construction and building materials: LCA, Eco-labelling and case studies* (Eds.) F. Pacheco-Torgal, L. F. Cabeza, J. Labrincha, A. de Magalhaes. WoodHead Publishing Ltd., Cambridge, pp. 267-286.
7. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
8. Eurostat - <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
9. B. Guinée, H. Reinout, G. Huppes, A. Zamagni, P. Masoni, T. Ekvall, T. Rydberg. „Life cycle assessment: past, present, and future”. *Environ. Sci. Technol*, 2011, 45, 90-96.
10. D. Helm. „The European framework for energy and climate policies”, *Energy Policy*, 64 (2014), pp. 29–35.
11. Ocena potencjału redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2030. McKinsek&Company. - [http://www.mckinsey.com/locations/warsaw/files/pdf/Raport\\_Podsumowanie\\_PLpdf](http://www.mckinsey.com/locations/warsaw/files/pdf/Raport_Podsumowanie_PLpdf).
12. Pakiet klimatyczno-energetyczny, <http://www.energiaisrodowisko.pl/zarzadzanie-energia-i-srodowiskiem/pakiet-klimatyczno-energetyczny>.
13. PN-57-02405 – Współczynniki przenikania ciepła  $k$  dla przegród budowlanych – Wartości liczbowe.
14. PN-64/B-03404 – Współczynniki przenikania ciepła  $k$  dla przegród budowlanych.
15. PN-74/B-03404. – Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
16. PN-B/82-02020 – Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
17. PN-B/91-02020 – Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
18. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002, nr 7, poz. 690.
19. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać

- budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2008, nr 201, poz. 1238.
20. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2013, nr 0, poz. 926.
  21. SimaPro 7, Database Manual, Methods library. May 2008. PRe Consultants. PDF file. [www.pre.nl](http://www.pre.nl).
  22. D. Streimikiene. „The impact of international GHG trading regimes on penetration of new energy technologies and feasibility to implement EU Energy and Climate Package targets”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), pp. 2172-2177.

## KORZYŚCI EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE WYNIKAJĄCE ZE ZMIAN NORMOWYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZENIKANIA CIEPŁA W BUDYNKACH

**Streszczenie:** Zużycie energii finalnej w sektorze mieszkalnictwa w Polsce w stosunku do zużycia energii finalnej we wszystkich sektorach gospodarki kształtuje się na poziomie około 30%. Termoizolacja przegród zewnętrznych, wykonana w celu zmniejszenia zapotrzebowania budynków na energię do ogrzewania jest ekonomicznie uzasadniona. Stąd nowelizacja uregulowań prawnych w zakresie zmniejszania wartości współczynnika przenikania ciepła różnych elementów budynku jest jak najbardziej pożądana. W artykule sprawdzono korzyści ekonomiczne i ekologiczne wynikające ze zmian wartości współczynnika przenikania ciepła w uregulowaniach prawnych. Wartości normatywne tego współczynnika przewidziane do wdrożenia na rok 2017 są jak najbardziej uzasadnione ekonomicznie i ekologicznie w warunkach polskich. Okresy zwrotu kosztów ekonomicznych związanych z większymi grubościami termoizolacji (z wymagań na 2014 rok do wymagań od roku 2017) następują w granicach 2-8 lat, a kosztów ekologicznych w granicach 1-5 lat, w zależności od stosowanego źródła ciepła w budynku.

**Słowa kluczowe:** termoizolacja przegród zewnętrznych, korzyści ekonomiczne i ekologiczne, ocena cyklu życia

## ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL BENEFITS RESULTING FROM THE CHANGES OF STANDARDS FOR THE VALUES OF HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN BUILDINGS

**Abstract:** Final energy consumption in the residential sector in Poland in relation to final energy consumption in all sectors of the economy stands at about 30%. The thermal insulation of building walls, constructed in order to reduce the energy demand of buildings for heating is economically justified. Hence the amendment of legislation in reducing the heat transfer coefficient of various elements of the building is most desired. The paper examined the economic and environmental benefits arising from changes in the value of heat transfer coefficient in the legislation. Normative values of this coefficient to be implemented in 2017 are justified economically and ecologically in Polish conditions. The payback periods of economic costs related to larger thicknesses of thermal insulation (from the requirements for 2014 to the requirements since 2017) emerge within 2-8 years, and environmental costs in the range of 1-5 years, depending on the heat source used in the building.

**Key words:** thermal insulation of building walls, economic and environmental benefits, life cycle assessment

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. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra  
e-mail: J.Adamczyk@wez.uz.zgora.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.04.2015  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 20.06.2015