

# Optymalizacja ekonomiczno-środowiskowa budynku na przykładzie zewnętrznej przegrody budowlanej

Dr inż. Janusz Adamczyk, Wydział Ekonomii i Zarządzania, Uniwersytet Zielonogórski  
dr Robert Dylewski, Wydział Matematyki, Informatyki i Ekonometrii, Uniwersytet Zielonogórski

## Wprowadzenie

Współczesna gospodarka charakteryzuje się dużą interwencją środowiskową. Wszelkie zjawiska jakie nieustannie zachodzą w strukturach gospodarczych noszą znamiona nieustannej presji antropogenicznej i związane są z przekształcaniem zasobów środowiskowych i współzależnej z nimi przestrzeni dla potrzeb człowieka. Także budownictwo jest tym sektorem gospodarki, który powoduje duże obciążenie środowiska obok takich gałęzi przemysłu, jak przemysł wydobywczy, energetyczny, hutniczy i chemiczny [3]. Środowiskowe efekty działalności budowlanej związane są, między innymi z uszczuplaniem zasobów surowcowych, w tym nośników energetycznych i przestrzeni. Jeśli nawet przyjąć, że wpływ pojedynczego obiektu budowlanego nie stwarza wysokiego zagrożenia, to fakt, iż oddziaływanie na środowisko jest generowane jednocześnie i długotrwale przez masową liczbę obiektów przyczynia się do kumulacji negatywnych efektów w ekosystemach na dużą skalę. Oddziaływanie to ma miejsce na różnych etapach działalności budowlanej i dotyczy:

- pozyskania surowców i produkcji materiałów budowlanych,
- procesu budowy,
- eksploatacji budynku,
- rozbiórki i recyklingu materiałów budowlanych.

Materiały i wyroby budowlane są wytwarzane z surowców pobieranych ze środowiska i następnie w procesach produkcyjnych, o różnym stopniu zaawansowania technologicznego, przetwarzane są na wyroby finalne o zdefiniowanych parametrach użytkowych, które w efekcie końcowym decydują o szeroko rozumianej jakości budynku. W procesach produkcji materiałów budowlanych zużywa się nośniki energetyczne, wodę i wiele innych materiałów i surowców, a jednocześnie do środowiska usuwa się ścieki technologiczne, odpady stałe i szkodliwe substancje gazowe [5].

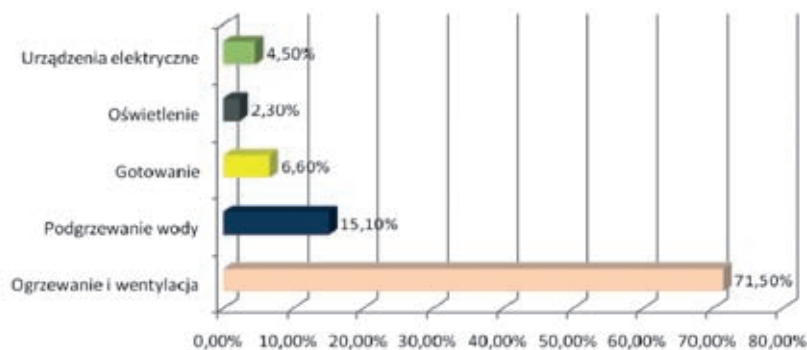
## 1. Oddziaływanie budownictwa na środowisko

Najważniejszymi podmiotami, działającymi w sektorze budownictwa na rzecz poprawy relacji środowiskowych są producenci materiałów i wyrobów budowlanych oraz projektanci, wykonawcy budów i użytkownicy budynków. Producenci materiałów powinni koncentrować się na racjonalnej gospodarce surowcami i energią oraz na uzyskiwaniu deklaracji środowiskowych dla swoich wyrobów, potwierdzających ich wysoką jakość i „bezpieczeństwo środowiskowe”. Projektanci powinni zdawać sobie sprawę, że w ich rękę znajduje się odpowiedzialność za dobór materiałów budowlanych z uwzględnieniem możliwości

wykorzystania materiałów przetworzonych, pochodzących z recyklingu. Wykonawcy budów ponoszą odpowiedzialność za organizację na placach budowy i zrównoważone wykorzystanie terenów oraz odpowiedni stopień nowoczesności zastosowanych technologii, z uwzględnieniem zmniejszenia zużycia energii i zminimalizowania negatywnego oddziaływania na środowisko w fazie realizacji budowy. Użytkownicy budynków mają wpływ na kreowanie rozwoju zrównoważonego poprzez „świadome ekologicznie” wzorce zachowań i realizowanie prośrodowiskowego systemu zarządzania energią, wodą, odpadami oraz dbałość o utrzymanie odpowiedniego stanu technicznego budynków [1].

Szacuje się, że sektor budowlany jest odpowiedzialny za konsumpcję 33% ogółu wytwarzanej energii, z czego zdecydowanie większa część energii zostaje zużyta podczas eksploatacji budynku [6, 10]. Strukturę zużycia energii w budynku mieszkalnym przedstawia rysunek 1.

Analizując koszty związane z zakupem lub wytworzeniem energii cieplnej na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej zauważa się, że stanowią one dominujący składnik wszystkich kosztów utrzymania i użytkowania budynków. Koszty związane z energią ciepłą stanowią średnio 80% całości kosztów eksploatacji. Praktyka pokazuje, że zmniejsze-



**Rys. 1.** Zużycie energii w budownictwie. Źródło: [6]

nie zużycia energii, a tym samym obniżenie kosztów eksploatacyjnych, jest możliwe i wiąże się z wprowadzeniem metod racjonalizacji gospodarowania energią na potrzeby ogrzewania budynku obejmujących [2].

- wprowadzanie nowoczesnych technologii i materiałów w budownictwie umożliwiających realizację budynków energooszczędnych;
- modernizację i eksploatację systemów grzewczych oraz wprowadzanie systemów z wyższą sprawnością;
- upowszechnienie metod i systemów zarządzania energią oraz audytu energetycznego.

## 2. Metody oceny oddziaływania budynku na środowisko

W latach 90-tych, równoległe do działań zmierzających do racjonalnego użytkowania energii w budownictwie, rozwinięto szereg różnych metod oceny oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko. W założeniu podstawowym, oceny te miały dostarczać informacji umożliwiających tworzenie deklaracji środowiskowej budynku, a jednocześnie miały stymulować do stosowania nowoczesnych i przyjaznych dla środowiska materiałów i technologii budowlanych. Cechą wspólną metod służących ocenie oddziaływania budynku na środowisko jest próba oceny „od kołyski do grobu” dla wszystkich atrybutów środowiskowych związanych z budynkiem.

Takie podejście do oceny jest wynikiem przekonania, że oddziaływanie budynku na środowisko powinno objąć pełen cykl istnienia budowli, a więc produkcję materiałów budowlanych rozszerzoną o pozyskiwanie surowców, ich przeróbkę, transport, proces budowy z uwzględnieniem zastosowanych technologii, użytkowanie budynku, a nawet jego rozbiórkę i recykling materiałów budowlanych.

Wraz z rozwojem opisanych powyżej metod oceny oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko, szczególnego znaczenia nabierają te, które koncentrują się na pełnym cyklu istnienia budynku. Jedną z takich metod, będącą relatywnie nową techniką oceny aspektów środowiskowych – jest LCA (Life Cycle Assessment). Ocena cyklu życia jest także uniwersalną techniką zarządzania środowiskowego, a jej niewątpliwą zaletą jest dążenie do uwzględnienia wszystkich czynników, które mogą potencjalnie wpływać na środowisko i związane są z określonym wyrobem lub działaniem [12]. Metodyka oceny cyklu życia została sformalizowana w normach serii ISO 14040.

Według Kohlera [7] analiza LCA obiektów budowlanych rozwinęła się i dalej się rozwija w dwóch kierunkach:

- badania oddziaływania wyrobów budowlanych, procesów i usług na środowisko;
- badania obiektów charakteryzujących się znacznymi kosztami

eksploatacji i długim okresem użytkowania.

## 3. Metodyka oceny cyklu istnienia budynku wg standardów norm serii ISO 14040

Adaptowanie metodyki LCA do oceny obiektów budowlanych wymaga całościowej analizy systemu wewnętrznego (obiektu budowlanego) i ustalenia jego relacji z systemem zewnętrznym (środowiskiem).

Punktem wyjścia, w zastosowanym w analizie metodycznym sposobie postępowania, jest fakt, że w kompleksowym LCA budynku, proste sumowanie energii lub mas zastosowanych materiałów budowlanych nie daje jednoznacznej odpowiedzi na temat jego ekologicznego oddziaływania, a nawet może prowadzić do błędnych interpretacji.

LCA systemu budynek obejmuje cztery podsystemy równoznaczne z fazami jego istnienia:

- wytworzenie materiałów i wyrobów budowlanych;
- budowa;
- użytkowanie;
- rozbiórka z uwzględnieniem recyklingu.

Celem badań jest określenie oddziaływania na środowisko budynku mieszkalnego jednorodzinnego z garażem, wolnostojącego parterowego z możliwością zagospodarowania poddasza o powierzchni użytkowej 137,1 m<sup>2</sup> (kubatura budynku 720 m<sup>3</sup>) oraz próba zmniejszenia tego negatywnego oddziaływania poprzez zmianę materiałów zastosowanych w poszczególnych elementach budynku.

Ocenę końcową LCA wspomaga obecnie ponad czterdzieści komercyjnych wersji programów. Pod względem możliwości aplikacyjnych i dużego rozpowszechnienia na uwagę zasługuje zwłaszcza program SimaPro 7.1 opracowany przez Pre Consultants B.V. w Holandii i wykorzystywany w niniejszym opracowaniu.

Program SimaPro jest wyposażony w bogatą bibliotekę zawierającą standardowe dane wejściowe do opracowania projektu oraz wyszukiwarkę, umożliwiającą dostęp do wszystkich typów danych w oprogramowaniu i w ocenie końcowej stwarza możliwość porównania interwencji środowiskowych wyrobów na podstawie uzyskanych jednostek Pt<sup>1</sup>. Umożliwia on również analizowanie i/lub porównywanie produktów o złożonych cyklach istnienia [9].

Do oceny oddziaływania na środowisko wykorzystano procedurę Ekowskażnik 99, która jako jedyna umożliwia jednoznaczne przyporządkowanie kategorii oddziaływania do określonych kategorii szkód i tym samym pozwala na dokonanie oceny wpływu na: zdrowie ludzkie, jakość środowiska i zużycie zasobów naturalnych. Procedura powyższa umożliwia także dokonanie ważenia i przedstawienie wyniku końcowego LCA w Pt.

#### 4. Optymalizacja ekonomiczna i środowiskowa przegrody zewnętrznej budynku

Faza użytkowania w ocenie cyklu istnienia budynku, ze względu na jej długi czas trwania, ma największy udział w jego oddziaływaniu na środowisko. Zwłaszcza wytworzenie energii niezbędnej do utrzymania odpowiedniego komfortu cieplnego w pomieszczeniach i związana z tym emisja do atmosfery dwutlenku węgla stanowi istotne obciążenie środowiska w tej fazie. Należy podkreślić, że ilość emitowanego do atmosfery dwutlenku węgla zależy od wielu czynników, między innymi od ilości i rodzaju paliwa (co jest bezpośrednio związane z zapotrzebowaniem budynku na moc cieplną), a także od sprawności urządzeń grzewczych. Z kolei zapotrzebowanie budynku na moc cieplną jest również uzależnione od wielu zmiennych, z których istotną zmienną jest wartość strat energii cieplnej przez przegrodę zewnętrzną, zależ-

na od współczynnika przenikania ciepła U, który jest powszechnie uznanym miernikiem izolacyjności termicznej przegród budowlanych, a także ich poszczególnych komponentów [1].

Tak więc, optymalizacja elementu budynku, jakim jest przegroda zewnętrzna na etapie prac projektowych przekłada się na poprawę jakości systemu podczas fazy użytkowania budynku.

Proces optymalizacji przegrody budowlanej powinien uwzględniać zarówno aspekt ekonomiczny jak i ekologiczny. Jednak w przypadku tego ostatniego nie może koncentrować się wyłącznie na wyborze materiału budowlanego, który na etapie wytworzenia (produkcji) charakteryzuje się najmniejszym wskaźnikiem oddziaływania na środowisko, albowiem zastosowanie tego kryterium nie zawsze musi być przełożone na korzyści środowiskowe podczas fazy użytkowania budynku. Dopiero połączenie LCA materiałów, z optymalizacją współczynnika przenikania ciepła przez przegrodę, umożliwia dokonanie wyboru ekonomicznie i środowiskowo uzasadnionego i zapewnienia spełnienia wskaźników jakościowych charakterystycznych dla budynków niskoenergochłonnych. Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto wykonanie 1 m<sup>2</sup> przegrody budowlanej. W analizie ujęto wszystkie materiały niezbędne do wykonania funkcji przegrody zewnętrznej – tzw. strumień odniesienia oraz energię zużywaną przez agregat tynkarski, wyciąg budowlany i energię związaną z transportem wyrobów budowlanych na plac budowy.

Dla określenia optymalnej pod względem ekonomicznym, grubości warstwy izolacyjnej (i odpowiadającego tej grubości współczynnika przenikania ciepła) przegrody budowlanej, wykorzystano wskaźnik oceny inwestycji NPV (Net Present Value – wartość bieżąca netto). Położenie termoizolacji w przegrodzie budowlanej możemy rozważać jako inwestycję,

w której koszty związane są z wykonaniem termoizolacji, natomiast zyski uzyskujemy ze zmniejszenia kosztów ogrzewania [4, 11]. Inwestycję uważa się za opłacalną, gdy wartość NPV jest dodatnia. Dla inwestycji związanej z wykonaniem termoizolacji wskaźnik NPV (w odniesieniu do 1 m<sup>2</sup> powierzchni przegrody budowlanej) ma następującą postać:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} K_t - K_o \quad [\text{zł/m}^2]$$

gdzie:

$K_o$  – nakłady finansowe poniesione w roku bazowym ( $t = 0$ ) na wykonanie izolacji termicznej przegrody budowlanej, uwzględniające koszty zakupu, transportu materiału i koszty położenia izolacji [zł/m<sup>2</sup>];

$K_t$  – uzyskane w roku  $t$  zmniejszenie kosztów ogrzewania, wynikające z zaizolowania przegrody [zł/m<sup>2</sup>];

$n$  – założona liczba lat użytkowania termoizolacji;

$r$  – roczna stopa procentowa inflacji;

$s$  – przewidywany wzrost (w procentach) kosztów ogrzewania ponad stopę inflacji.

Nakłady finansowe określamy następująco

$$K_o = K d + S$$

natomiast zyski

$$K_t = G_o \left( \frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_o + \frac{d}{\lambda}} \right)$$

gdzie:

$d$  – grubość warstwy termoizolacyjnej [m];

$K$  – koszt 1 m<sup>3</sup> użytego materiału termoizolacyjnego [zł/m<sup>3</sup>];

$S$  – pozostałe koszty wykonania termoizolacji w odniesieniu do 1 m<sup>2</sup> powierzchni przegrody budowlanej [zł/m<sup>2</sup>];

$G_o$  – roczny koszt ogrzewania, odniesiony do 1 m<sup>2</sup> powierzchni rozpatrywanej przegrody i charakteryzującego tę przegrodę

współczynnika przenikania ciepła [zł K/W];

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału stanowiącego izolację termiczną [W/(mK)];

$R_o$  – opór cieplny przenikania przez przegrodę bez warstwy termoizolacyjnej [m<sup>2</sup>K/W].

Dla ustalonego materiału izolacyjnego, inwestor ma jedynie wpływ na grubość  $d$  warstwy izolacyjnej. Grubość izolacji  $d_{opt}$ , przy której NPV osiąga maksimum wynosi

$$d_{opt} = \lambda \sqrt{\frac{G_o \sum_{t=1}^n (1+s)^t}{\lambda K} - \lambda R_o} \quad [m]$$

oraz odpowiadająca tej grubości wartość optymalnego współczynnika przenikania ciepła

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{\lambda K}{G_o \sum_{t=1}^n (1+s)^t}} \quad [W/m^2K]$$

Dla wyznaczonej grubości izolacji  $d_{opt}$  można wyznaczyć wartość NPV oraz zdyskontowany okres zwrotu inwestycji  $T_p$  w latach:

$$Tp = \min \left\{ t: -K_o + \sum_{1 \leq t_n \leq t} K_{t_n} \left( \frac{1+s}{1+r} \right)^{t_n} \geq 0 \right\}$$

Obliczenia wykonano dla rocznej stopy procentowej inflacji  $r = 4\%$  oraz dla wzrostu cen energii:  $s = 3\%$  zgodnie z prognozą w publikacji [13]. Okres użytkowania termoizolacji przyjęto  $n = 30$  lat.

Średnią wieloletnią temperaturę miesiąca określoną zgodnie z PN-B-02025 przyjęto według danych stacji meteorologicznej w Zielonej Górze, następnie obliczono wartość liczby stopniodni,  $S_d = 3728$  stopniodni. Dla obliczenia wartości rocznego kosztu ogrzewania  $G_o$  przyjęto koszt uzyskania ciepła do celów ogrzewczych z indywidualnych źródeł ciepła, z końca 2007 roku, na podstawie publikacji [8] równy 180,00 zł/MWh (ogrzewanie gazem ziemnym). Otrzymano wartość  $G_o = 180,00 \text{ zł/MWh} \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 3728 = 16,10 \text{ zł K/W}$ .

Koszty materiałów termoizolacyjnych  $K$  (z grudnia 2007) przyjęto w wysokości: 172,30 zł/m<sup>3</sup> – płyty z wełny mineralnej grubości 10cm, 164,70 zł/m<sup>3</sup> – styropian grubości 10cm, 152,00 zł/m<sup>3</sup> – ekofiber. Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  dla rozważanych materiałów izolacyjnych wynosi: 0,035 W/(mK) – wełna mineralna; 0,040 W/(mK) – styropian; 0,041 W/(mK) – ekofiber. Koszty  $K_s$  przyjęto równe 25 zł/m<sup>2</sup>.

W analizie wprowadzono wariantowość rozwiązań przegrody budowlanej, która ma na względzie dokonanie wyboru takiego rozwiązania, które spełni nie tylko warunek ekonomiczny – najwyższej wartości bieżącej netto NPV, ale także warunek środowiskowy – jak najmniejszego oddziaływania na środowisko na etapie wytworzenia materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych (czyli jak najmniejsza wartość Pt).

Poniżej zestawiono możliwości wariantowych rozwiązań przegrody zewnętrznej dwuwarstwowej z uwzględnieniem powszechnie stosowanych materiałów konstrukcyjnych, tj. bloczków z betonu komórkowego<sup>2</sup> 500kg/m<sup>3</sup>, bloczków wapienno-piaskowych<sup>2</sup> i pustaków ceramicznych<sup>4</sup> w połączeniu z warstwą termoizolacyjną z wełny mineralnej<sup>5</sup>, styropianu<sup>6</sup> i ekofibru – wełny celulozowej<sup>7</sup>:

- (P1) tynk cementowo wapienny, bloczki bet. kom. „500”, tynk mineralny;
- (P1A) tynk cementowo wapienny, bloczki bet. kom. „500”, wełna mineralna, tynk mineralny;
- (P1B) tynk cementowo wapienny, bloczki bet. kom. „500”, styropian (FS 15), tynk mineralny;
- (P1C) płyty gipsowo kart., bloczki bet. kom. „500”, ekofiber, siding;
- (P2A) tynk cementowo wapienny, bloczki wap.-piaskowe, wełna mineralna, tynk mineralny;

- (P2B) tynk cementowo wapienny, bloczki wap.-piaskowe, styropian, tynk mineralny;
  - (P2C) płyty gipsowo kart., bloczki wap.-piaskowe, ekofiber, siding;
  - (P3A) tynk cementowo wapienny, pustak ceramiczny MAX, wełna mineralna, tynk mineralny;
  - (P3B) tynk cementowo wapienny, pustak ceramiczny MAX, styropian (FS 15), tynk mineralny;
  - (P3C) płyty gipsowo kart., pustak ceramiczny MAX, ekofiber, siding;
- Wariant przegrody P1 stanowi rozwiązanie konstrukcyjne bez termoizolacji. Grubość warstwy termoizolacyjnej została zoptymalizowana we wszystkich przegrodach (od P1A do P3C) i w efekcie tej optymalizacji współczynnik przenikania ciepła wynosi 0,12 W/m<sup>2</sup>K (patrz tab. 1). Wartości grubości termoizolacji zostały zaokrąglone zgodnie z zasadami do pełnych centymetrów. Wartości obliczeniowe LCA analizowanych przegród bez termoizolacji wynoszą odpowiednio: P1 (5,95 Pt/m<sup>2</sup>), P2 (4,22 Pt/m<sup>2</sup>), P3 (8,49 Pt/m<sup>2</sup>).

Porównując LCA na etapie wytworzenia materiałów przegród od P1A do P3C w stosunku do rozwiązania projektowego P1 (kolumna 2), zauważa się, że całościowe oddziaływanie na środowisko tych przegród jest niższe w trzech przypadkach (P1C, P2B, P2C) od przegrody P1. Ten stan rzeczy wynika z zastosowania w konstrukcji przegrody materiałów o małym oddziaływaniu na środowisko. Przegrody P1C, a w szczególności P2C, charakteryzują się najniższym oddziaływaniem na środowisko, ze względu na zastosowanie ekofibru – wełny celulozowej, która powstaje z recyklingu gazet, dlatego też LCA dla tego materiału jest ujemne (wykazuje korzyść środowiskową).

Najmniej korzystnym środowiskowo wariantem wśród rozpatrywanych przegród jest wariant P3A, którego wartość LCA wynosi 10,477 Pt dla 1 m<sup>2</sup> przegrody. Powstaje zatem pytanie czy „niekorzyść” środowiskowa (wyższe LCA prze-



**Tabela 1.** Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych ścian zewnętrznych w powiązaniu z korzyścią środowiskową, wartością bieżącą netto oraz czasem zwrotu inwestycji.

Ozn. przegrody	Wartość LCA na etapie prod. mat. [Pt/m <sup>2</sup> ]	Grubość [cm]			U <sub>opt</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Wartość bieżąca netto NPV [zł/m <sup>2</sup> ]
		warstwa murowa	warstwa izolac. o opt. grubości d <sub>opt</sub>	ściana		Czas zwrotu inwestycji termoizolacyjnej T <sub>p</sub> [lata]
1	2	3	4	5	6	8
P1	5,95	36,5	-	39,5	0,36	-
P1A	7,524	36,5	19	58,5	0,12	41,7
P1B	6,835	36,5	21	60,5		16,4
P1C	5,733	36,5	22	61,5		38,7
P2A	6,538	24	28	55,0		17,1
P2B	5,522	24	31	58,0		40,6
P2C	3,895	24	33	60,0		16,7
P3A	10,477	29	24	56,0		1468,9
P3B	9,582	29	26	58,0		1,3
P3C	8,214	29	28	60,0		1464,5
						1,3
						1467,3
						1,3
					185,1	
					7,2	
					181,4	
					7,4	
					183,8	
					7,3	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [1]

gród zoptymalizowanych „energetycznie” w stosunku do LCA rozwiązania projektowego P1) zostanie zrekompensowana korzyścią środowiskową na etapie użytkowania? Ze względu na zmniejszenie zapotrzebowania na energię cieplną po zastosowaniu termoizolacji, powstaje korzyść środowiskowa, związana ze zmniejszeniem zużycia paliwa do potrzeb centralnego ogrzewania.

Dla rozwiązania (projektowego) przegrody P1, w opisanym powyżej domku jednorodzinny obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną Q<sub>o</sub> wynosi 7066 W. Po zastosowaniu termoizolacji (przegrody od P1A do P3C), w stosunku do rozwiązania projektowego, uzyskano zmniejszenie oblicze-

niowego zapotrzebowania na moc cieplną Q<sub>o</sub> do 3714 W, a wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania Q<sub>h</sub> obniżyła się z 39,12 GJ/rok na 20,56 GJ/rok<sup>8</sup> czyli o 18,56 GJ. LCA termicznej fazy użytkowania (kocioł c.o. gazowy) dla całego budynku (rozwiązanie projektowe – P1) wynosi 155 Pt/rok, natomiast z zastosowaniem wariantów z termoizolacją, LCA termicznej fazy użytkowania wynosi 82 Pt/rok. Ogólna korzyść środowiskowa rozumiana jako zmniejszenie wyniku LCA fazy użytkowania, wynosi 73 Pt w skali roku (2190,0 Pt w ciągu 30 lat<sup>9</sup>).

Różnica między wartością LCA wytworzenia materiałów przegrody P1 a przegrodą P3A wynosi 4,527 Pt. Powierzchnia przegród

w analizowanym budynku wynosi 153,5 m<sup>2</sup>, wobec powyższego w przypadku zastosowania najbardziej niekorzystnego środowiskowo wariantu przegrody P3A, wartość LCA, dla całego budynku, wyniesie 694,895 Pt. W odpowiedzi na wcześniej zadane pytanie, nawet dla najbardziej niekorzystnego środowiskowo wariantu przegrody, korzyść z zastosowania termoizolacji w przegrodzie (2190 Pt) wynikająca ze zmniejszenia rocznego zapotrzebowania na ciepło, zdecydowanie przewyższy wartość LCA użytego do budowy materiału termoizolacyjnego (694,895 Pt).

## 6. Wnioski

Podczas fazy wytworzenia materiałów budowlanych największym oddziaływaniem na środowisko charakteryzują się procesy związane z pozyskaniem nośników energii i jej wykorzystaniem w procesach produkcji materiałów budowlanych. Etap ten, określany jako łańcuch początkowy procesów produkcyjnych, przebiega z czasowym ich wyprzedzeniem, a jego wpływ na środowisko wiąże się z kumulacją zanieczyszczeń w ekosystemach w krótkim przedziale czasowym.

Najmniejszym oddziaływaniem na środowisko spośród analizowanych przegród, w fazie wytwarzania materiałów budowlanych, charakteryzuje się wariant P2C. Dla przegród P2A, P2B i P2C uzyskano najwyższą wartość NPV i najkrótszy okres zwrotu inwestycji termoizolacyjnej. Dla tych przegród dołożenie termoizolacji jest najbardziej opłacalne. Zastosowane w tych przegrodach bloczki wapienno-piaskowe posiadają najgorszy współczynnik przenikania ciepła U<sub>o</sub> = 3,82 W/m<sup>2</sup>K. Dla przegród P1A, P1B i P1C inwestycja w termoizolację jest najmniej opłacalna. Zastosowane w tych przegrodach bloczki z betonu komórkowego posiadają już dobre właściwości termoizolacyjne (U<sub>o</sub> = 0,36 W/m<sup>2</sup>K). Analizując wszystkie zestawione

w kolumnie 2 wartości LCA przegród zewnętrznych na etapie wytworzenia materiałów najkorzystniej przedstawia się rozwiązanie P2C (błoczki wapienno-piaskowe i warstwa izolacyjna z ekofibru – wełny celulozowej). Całkowita korzyść środowiskowa w tym przypadku, w relacji do rozwiązania projektowego P1 jest najwyższa i wynosi 315,44 Pt w fazie wytworzenia materiałów dla wszystkich przegród zewnętrznych w budynku oraz korzyść wynikająca ze zmniejszenia wartości rocznego zapotrzebowania na ciepło wynosząca 2190 Pt w ciągu 30 lat użytkowania termoizolacji. Projektant realizujący założenia zrównoważonego budownictwa, powinien być zatem „wyposażony” w opracowania LCA (deklaracje środowiskowe) wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych i dokonując świadomych środowiskowo wyborów, wpływać na zmniejszenie oddziaływania na środowisko.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczyk J., Wykorzystanie LCA do oceny środowiskowej budynku, Praca doktorska, Zielona Góra 2006  
 [2] Adamczyk W., Ekobilans w ocenie środowiskowej procesów i produktów, Problemy Ekologii, vol.4, nr 1, 2000  
 [3] Adamczyk W., Ekologia wyrobu, Polskie Wyd. Ekonomiczne, Warszawa 2004  
 [4] Dylewski R., Adamczyk J., Ocena materiałów termoizolacyjnych przy wycenie energetycznej budynków i mieszkań, Przegląd Budowlany, 10/2007  
 [5] Górzyński J.: Analiza skumulowanego zużycia energii i emisji zanieczyszczeń w pełnym cyklu istnienia budynku. „Archiwum Energetyki”, 1998 nr 1–2  
 [6] Kasperkiewicz K., Zużycie energii w sektorze budowlanym – teraźniejszość i przyszłość, Izolacje, 3 (114)/2007  
 [7] Kohler N., Life Cycle Analysis of Building Refurbishments. IEA Future Buildings Forum, Proceedings edited by Hans Erhorn, Fraunhofer Institute of Building Physics, Stuttgart 1997  
 [8] Laskowski P., Trudne wybory. Jak obniżyć koszty ogrzewania?, Murator, 2 (286)/2008  
 [9] Mańkowska M., Wach A. K., Zasady proekologicznego projektowania wyrobów elektronicznych, w materiałach z: I Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekologia w elektronice”, Warszawa, 16–17.10.2000  
 [10] Mikoś J., Budownictwo ekologiczne, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000

[11] Pogorzelski J. A., Oplącalna grubość izolacji cieplnej przegród zewnętrznych, Materiały Budowlane, 1/1998

[12] United State Environmental Protection Agency: Life Cycle Design Guidance Manual. EPA January 1993

[13] Żurawski J., Energooszczędne budownictwo – luksus czy konieczność?, Izolacje, 3 (114)/2007

#### PRZYPISY

- <sup>1</sup> Pt punkt eko-wskaźnika (Pt) oraz jego podwielokrotności np. mili-punkt (mPt). Wartość 1 Pt reprezentuje jedną tysięczną rocznego obciążenia środowiska jednego mieszkańca Europy. Wartość tę oblicza się poprzez podzielenie całego obciążenia środowiska w Europie przez liczbę mieszkańców i przez 1000 (czynnik skali).  
<sup>2</sup>  $\lambda=0,14$  W/mK, grubość do=36,5 cm,  $U_o=0,36$  W/ m<sup>2</sup>K  
<sup>3</sup>  $\lambda=0,80$  W/mK, grubość do=24 cm,  $U_o=3,82$  W/ m<sup>2</sup>K  
<sup>4</sup>  $\lambda=0,21$  W/mK, grubość do=29 cm,  $U_o=0,72$  W/ m<sup>2</sup>K  
<sup>5</sup>  $\lambda=0,037$  W/mK  
<sup>6</sup>  $\lambda=0,040$  W/mK  
<sup>7</sup>  $\lambda=0,041$  W/mK  
<sup>8</sup> Wartość obliczona za pomocą kalkulatora – Katalog produktów i rozwiązań, wersja 2.0, ROCKWOOL, -CD- data publikacji 13.12.2007 r.  
<sup>9</sup> Założony czas eksploatacji termoizolacji.

