

Michał PIASECKI*

Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie

WIELOKRYTERIALNA ANALIZA ODDZIAŁYWANIA BUDYNKU NA ŚRODOWISKO

Streszczenie. W artykule podano informacje ogólne, dotyczące analiz ocen oddziaływania na środowisko. Dodatkowo poddano ocenie wielorodzinny budynek mieszkalny, przez opracowanie jego charakterystyki energetyczno-ekologicznej oraz dokonano oceny hierarchicznej wielokryterialnej. Ponadto, w ramach pracy wprowadzono pojęcie współczynnika efektywności środowiskowej obiektu, lub inaczej współczynnika zrównoważenia.

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF THE BUILDING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

Summary. This paper presents a building environmental performance analysis system which was developed based on the life cycle assessment (LCA) framework combining with the quality methods. Methodology was used to assess the environmental performance of an existing building.

1. Wprowadzenie i cel pracy

Zainteresowanie budownictwem zrównoważonym oraz przyjaznym dla środowiska wynika ze świadomości zmniejszania się światowych zasobów energetycznych nieodnawialnych oraz troską o pogarszający się stan środowiska. Ponadto, w krajach rozwiniętych wiąże się to z ciągłym poszukiwaniem większego komfortu życia i wygody w użytkowaniu obiektów budowlanych. Zainteresowanie to odnotowuje się też w zintegrowanej polityce państw europejskich. Jednym z istotnych działań Komisji Europejskiej, w tym zakresie, jest ustanowienie Dyrektywy 2002/91/EC *Directive on Energy Performance of Buildings* [1], która ustala między innymi konieczność opracowania wspólnej

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Górzyński.

metodologii oceny środowiskowej budynków, ustalenia schematów certyfikacji nowych i istniejących budynków oraz sposobów publikowania ich ocen energetycznych. W związku z ww. dyrektywą [1] podjęto prace nad ujednoczeniem metod określania deklaracji środowiskowych budynków na podstawie wykonanej analizy, polegającej na oszacowaniu skumulowanych obciążeń środowiska (wskaźników kategorii oddziaływania) w pełnym cyklu istnienia. Ma to wyraz w pracach ISO, które obecnie opracowuje serię norm ISO/DIS 21930-31, w pracach CEN oraz w wielu istniejących metodach LCA (analiza Life Cycle Assessment, dalej LCA), opracowanych na podstawie normy ISO 14040 [2].

Ocena podejmowanych działań ekologicznych jest zadaniem trudnym i wymaga analizy relacji budynku ze środowiskiem oraz dużego zasobu informacji. W celu uzyskania możliwości oceny takich działań w praktyce budowlanej, niezbędne jest przygotowanie odpowiednich narzędzi oraz rzeczowych i sprawdzonych miar oceny. Ogólnym celem oceny środowiskowej budynków jest zbadanie budynku i jego otoczenia, a także charakterystyki jego użytkowania, z punktu widzenia ochrony środowiska i jego zasobów naturalnych.

W analizie LCA budynek rozpatrywany jest jako suma elementów składowych. Fizycznie składa się on z różnych elementów, takich jak wyroby i elementy budowlane oraz systemy technicznego wyposażenia. Dlatego też, można go rozpatrywać jako zintegrowany zbiór wyrobów, które są produkowane, używane i które są usuwane, zgodnie z ich czasem użytkowania. Charakterystyka rozumianego w ten sposób budynku przedstawia sumaryczne strumienie masy oraz energii uczestniczących w poszczególnych etapach cyklu istnienia oraz skumulowane oddziaływania na środowisko wyrażone w ekwiwalentnych emisjach substancji chemicznych, reprezentujących odpowiednio zdefiniowane kryteria oceny.

Zgodnie z analizą systemowo-hierarchiczną, budynek jest rozpatrywany też jako „proces dynamiczny”, który – w trakcie użytkowania – pełni określoną liczbę usług/funkcji swoim użytkownikom (takich jak zapewnienie warunków do życia, pracy, nauki, opieki zdrowotnej i wypoczynku itp.). Budynek rozpatrywany w ten sposób spełnia wymagania podstawowe Dyrektywy CPD 89/106/EEC. W ocenie hierarchicznej oceniany jest poziom zabiegów zwiększający komfort użytkowania budynku oraz poziom zabiegów redukujących jego negatywne oddziaływanie na środowisko. Dla budynku traktowanego jako „proces dynamiczny” charakterystyka środowiskowa uwzględnia z jednej strony jakość usług świadczonych użytkownikom, a z drugiej oddziaływanie budynku na środowisko, ale nie wyrażone ilością substancji emitowanych do środowiska, lecz oceną poziomu zabiegów redukujących ewentualne emisje.

2. Zakres oraz przedmiot oceny

Poddano ocenie wielorodzinny budynek mieszkalny przez opracowanie jego charakterystyki energetyczno-ekologicznej oraz dokonano oceny hierarchicznej wielokryterialnej. Ocena ilościowa wykorzystuje analizę LCA, a jakościowa ocenia wiele przyjętych kryteriów jakości użytkowania obiektu. W ramach oceny wprowadzono pojęcie współczynnika efektywności środowiskowej obiektu BEE.

Przedmiotem oceny jest wielorodzinny budynek mieszkalny wybudowany w 2000 r. w Płocku. Jest on 4-kondygnacyjny, 8-klatkowy, znajdują się w nim 94 lokale mieszkalne o zróżnicowanej powierzchni użytkowej. Informacje i dane techniczne, dotyczące budynku, zaczerpnięto z projektu technicznego budynku, udostępnionego przez Biuro Projektów. Budynek zaprojektowano w technologii tradycyjnej, żelbetowo – murowanej.

3. Oceny środowiskowe informacje ogólne

Ocena przeprowadzana jest najczęściej w celu porównania obiektów, dlatego ważne jest, aby składała się z identycznych, skategoryzowanych cech, które miałyby ten sam uzgodniony zakres, a wyniki były przedstawiane czytelnie i w uzgodniony sposób. W tym celu należy określić intencję, składowe (elementy) oceny (działy lub kategorie), niezbędne dane opisujące cechę, ich jakość i w końcu sposób prezentacji wyników. Zakres oceny zależy od intencji jej wykonywania, poczynionych założeń i określa, co będzie zawierać jej wynik. Ocena może dotyczyć całego obiektu i jego najbliższego otoczenia, możliwe jest ocenianie części budynku lub grupy budynków razem. Jakość danych wejściowych (parametrów) ma istotny wpływ na wyniki oceny [5]. W ocenie wykorzystuje się dane rzeczywiste, pochodzące z pomiarów. W przypadku gdy nie są one dostępne, można wykorzystywać wartości normowe lub obliczeniowe, w każdym z tych przypadków należy podać źródło pochodzenia danych. Ocena jakościowa ma strukturę hierarchiczną, drzewiastą o kilku poziomach (gałęziach). Poziomy te to działy, kategorie, kryteria, subkryteria i parametry. Poziomom oceny przyporządkowuje się wagi, które zależą od krajowych, regionalnych lub lokalnych warunków. Wyniki oceny mogą być prezentowane w formie wykresów różnego typu, w taki sposób, aby można było łatwo przeprowadzić porównanie obiektów. Wyniki przeprowadzonej, przykładowej oceny prezentowane są dalszej części pracy.

Wybór kategorii oddziaływania na środowisko zależy od rodzaju rozpatrywanego problemu, przeznaczenia analizy i jej zakresu. W wyniku analizy literatury oraz własnych doświadczeń wyróżniono wiele działań oraz kryteriów oceny oddziaływania budynku na środowisko w jego cyklu istnienia i zestawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1

Działy i kategorie oceny uwzględniane dla poszczególnych faz cyklu istnienia budynku

Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Wpływ na środowisko w czasie										Wpływ na środowisko w czasie										Działania w czasie					Kategorie oddziaływania													
Etapy cyklu istnienia budynku																				Efekt kompleksowy					Działania w czasie					Kategorie oddziaływania								
FAZA WZNIOSZENIA																				Efekt kompleksowy					Działania w czasie					Kategorie oddziaływania								
Wytwarzanie surowców																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Transport																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Wytwarzanie wyrobów																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Transport																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Wzrost cen																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FAZA UŻYTKOWANIA																				Efekt kompleksowy					Działania w czasie					Kategorie oddziaływania								
Użytkowanie obiektu																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Użytkowanie instalacji																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FAZA REZERWACJI																				Efekt kompleksowy					Działania w czasie					Kategorie oddziaływania								
Rezerwa																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rezerwa																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rezerwa																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FAZA LIKWIDACJI																				Efekt kompleksowy					Działania w czasie					Kategorie oddziaływania								
Rozbiórka																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Transport																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Składowanie																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Składowanie																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Lista zagadnień środowiskowych obejmuje zarówno informację ilościową, jak i jakościową. Obejmuje wpływy globalny i lokalny na środowisko. Uwzględnia się: wpływ na środowisko wewnętrzne, higienę i komfort użytkownika, a także relację z otoczeniem.

4. Opis zastosowanych metod

Charakterystykę energetyczno-ekologiczną obiektu stanowi zbiór wskaźników kategorii oddziaływania na środowisko, określanych jako równoważne obciążenia środowiska. Podstawę do określenia charakterystyk energetyczno-ekologicznych stanowią wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska, wyznaczone jako wejścia lub wyjścia wielu ogniw procesów cyklu istnienia. Obiekt budowlany jest wytworem złożonym z licznych wyrobów i materiałów. Znając charakterystyki energetyczno-ekologiczne wyrobów i elementów budynku można wyznaczyć charakterystykę obiektu. Charakterystyki energetyczno-ekologiczne dostępne są w różnych bazach danych informacji o materiałach np. ETH-ESU, IDEMAT lub wymagają indywidualnej analizy LCA procesów produkcji. Oddziaływanie budynku na środowisko zaczyna się już na etapie wydobycia surowców do wytworzenia

materiałów niezbędnych do wzniesienia obiektu. Dlatego, aby dokonać oceny oddziaływania na środowisko, niezbędne jest przesledzenie wpływu tego oddziaływania od chwili pobrania surowców ze środowiska do chwili zakończenia fazy utylizacji elementów po rozbiórce obiektu.

Według [3] charakterystykę energetyczno-ekologiczną obiektu (lub wyrobu) określa się jako zbiór wartości wybranych wskaźników kategorii oddziaływania na środowisko, charakteryzujących wyrób w pełnym cyklu istnienia. Można to zapisać w postaci macierzy kolumnowej Ω (1):

$$\Omega^T = \{\Omega_E, \Omega_M, \Omega_W, \Omega_{BDP}, \Omega_{GWP}, \Omega_{ODP}, \Omega_{POCP}, \Omega_{AP}, \Omega_{EP}, \Omega_S\}, \quad (1)$$

gdzie:

Ω_J – wskaźnik J -tej kategorii oddziaływania na środowisko powstający w cyklu istnienia wyrobu: $J = E, M, W, BDP, GWP, ODP, POCP, AP, EP, S, R$, gdzie: E – zużycie energii, M – zużycie surowców nieenergetycznych, W – zużycie wody, BDP – zużycie zasobów abiotycznych, GWP – globalny efekt cieplarniany, ODP – potencjał uszczuplenia warstwy ozonowej, $POCP$ – potencjał fotochemicznego utleniania w troposferze, AP – potencjał zakwaszenia, EP – potencjał eutrofizacji, S – ilość odpadów.

Rozpatrując w pracy [1] poszczególne fazy cyklu istnienia obiektu sformułowano zależności określające skumulowane obciążenia środowiska. Całkowite skumulowane obciążenie środowiska J -tej kategorii w pełnym cyklu istnienia obiektu budowlanego jest sumą (2):

$$\Omega_J = \Omega_P + \Omega_E + \Omega_N + \Omega_R, \quad (2)$$

gdzie:

P – faza wznoszenia, E – faza eksploatacji – użytkowanie, N – faza eksploatacji – zabiegi eksploatacyjne, R – faza likwidacji i poużytkowego przetwarzania.

Przebieg skumulowanego obciążenia środowiska w czasie można określić na podstawie obciążeń w poszczególnych fazach cyklu istnienia obliczonego na podstawie znanej charakterystyki obiektu oraz znanego programu jego eksploatacji.

Skumulowane obciążenie środowiska w pełnym cyklu istnienia obiektu budowlanego wyrażono zależnością (3):

$$\Omega_C = \Omega_{P_{Iz}} + \mathbf{x}_{Pm}^T \mathbf{G}_{Pm} + \mathbf{x}_{Pw}^T \mathbf{G}_{Pw} + \mathbf{p}_{Pw}^T \mathbf{P}_{Pw} + \mathbf{L}_{Pt}^T (\mathbf{G}_{Pt}^D \mathbf{x}_{Pt}) + \sum_{i=1}^{k+1} \tau_i \Omega_{Ei} + \sum_{i=1}^k \Omega_{Ni} + \mathbf{p}_{Rw}^T \mathbf{P}_{Rw} + \mathbf{L}_{Rt}^T (\mathbf{G}_{Rt}^D \mathbf{x}_{Rt}) + \Omega_{Ru}. \quad (3)$$

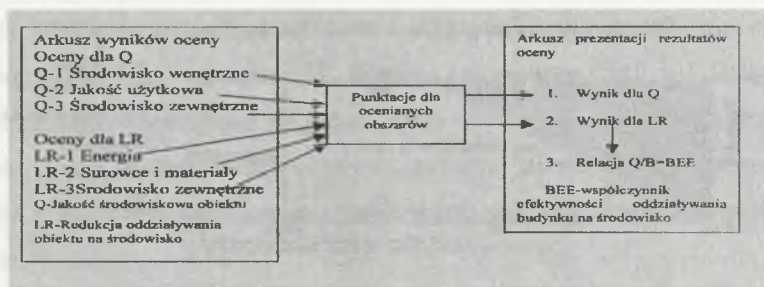
gdzie:

\mathbf{G} – wektor ilości wyrobu, \mathbf{P} – wektor ilości pracy, \mathbf{x} , \mathbf{p} – wektory wskaźników skumulowanego równoważnego obciążenia środowiska wyrobów i prac budowlanych, \mathbf{L} – wektor odległości transportu wyrobów budowlanych lub odpadów, indeksy: m – wyrób, w – materiały pomocnicze, t – transport, Ω_{puz} – skumulowane obciążenie związane z uzbrojeniem terenu, Ω_{Ru} – skumulowane obciążenie związane z utylizacją odpadów.

Podstawami do obliczeń wskaźników kategorii obciążenia środowiska są ilości materiałów i nośników energii, zaczerpnięte z projektu budynku.

Do oceny jakości użytkowania obiektu przyjęto metodę hierarchiczną. Jest ona modyfikacją (do polskich przepisów i warunków) japońskiej metody CASBEE2006 [4]. Analizę efektywności środowiskowej budynku, za pomocą tej metody, przeprowadza się w dwóch obszarach przyjętych kryteriów, tj. w części oceniającej jakość środowiskową obiektu oznaczoną 'Q' (Quality; środowisko wewnętrzne, jakość użytkowa, jakość otoczenia) oraz części oceniającej poziom redukcji (lub jej braku) niekorzystnych oddziaływań na środowisko 'LR' (Load Reduction; zużycie energii, materiały budowlane oraz wpływ na otoczenie), wprowadzając odpowiednią skalę ocen. Brak zabiegów zmniejszających oddziaływanie na środowisko oznaczany jest jako wartość L (Load). Analiza przeprowadzana jest po wyznaczeniu wirtualnej granicy oddziaływania obiektu na środowisko zewnętrzne.

Ocena LR została wprowadzona ze względu na to, że łatwiej jest ocenić i zrozumieć poziom zabiegów redukujących negatywne oddziaływanie, niż ocenić poziom efektów ilościowej redukcji emisji i oddziaływania na środowisko. Do oceny kryteriów dla obszarów L i Q oraz kryteriów przyjęto skalę punktową od 1-5. Generalnie w ocenie zaleca się używanie ocen nieparzystych 1,3,5, tj. poziom zabiegów: zerowego, średniego i wysokiego. Ocenę 3 otrzymują kryteria spełniające całkowicie wymagania prawne. Wyniki oceny zestawiane są w szablonie wynikowym (rys. 1, tablica 2). Wyniki punktowe dla ustalonych kryteriów oceny Q i LR (Q1-Q3 i LR1-LR3) zestawiane są w szablonie wynikowym, przy zastosowaniu systemu odpowiednio przyjętych wag przeliczane są na punktowe wyniki dla całego obszaru Q i LR.



Rys. 1. Schemat prezentacji wyników w metodzie

Fig. 1. Result presentation scheme for method

Arkusz prezentacji wyników oceny zawiera wykres radarowy dla wszystkich wartości kryteriów Q i LR, wykresy kolumnowe oraz wyniki oceny dla Q i LR. Rezultat, jakim jest współczynnik efektywności środowiskowej BEE prezentowany jest liczbowo oraz na wykresie w dwuwymiarowej płaszczyźnie Q i L, jako iloraz tych dwóch wartości ocen.

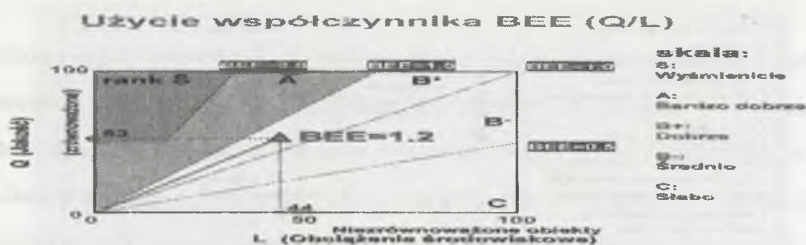
Współczynnik BEE zdefiniowany jest wzorem (4):

$$BEE = \frac{Q}{L} = \frac{25 \times (S_Q - 1)}{25 \times (5 - S_{LR})}, \quad (4)$$

gdzie:

S_Q – ocena dla Q, S_{LR} – ocena dla LR.

Dla ułatwienia, wartości Q i L zostały skalowano na wartości procentowe. Współczynnik BEE przyjmuje wartości w skali od 0 do 5. Obszar oceny współczynnika BEE został podzielony na 5 klas oceny, od S do C. Sprawność powyżej wartości 1 uznawana jest za budynek o ponadprzeciętnym poziomie jakości środowiskowej, w odniesieniu do generowanego oddziaływania na środowisko. Klasa C charakteryzuje budynki o słabej efektywności środowiskowej do 0,5. Klasa B- budynków średnio efektywnych dla Q/L pomiędzy 0,5 a 1. Klasa B+ to iloraz w przedziale od 1 do 1,5, klasa A to iloraz w zakresie od 1,5 do 3. Klasa S jest to klasa budynków zrównoważonych, z zastosowanymi nowoczesnymi zabiegami, zwiększającymi komfort i redukującymi uciążliwość. Na rysunku pokazano klasy efektywności środowiskowej budynku w zależności od współczynnika BEE. Przykładowo na rysunku podano wartość $BEE = 1,2$ dla budynku w klasie dobrej efektywności środowiskowej B+ i sprawności powyżej jedności.



Rys. 2. Obszary klas zrównoważenia obiektu dla metody współczynnika BEE

Fig. 2. Environmental efficiency classes for assessment method

5. Wyniki analizy

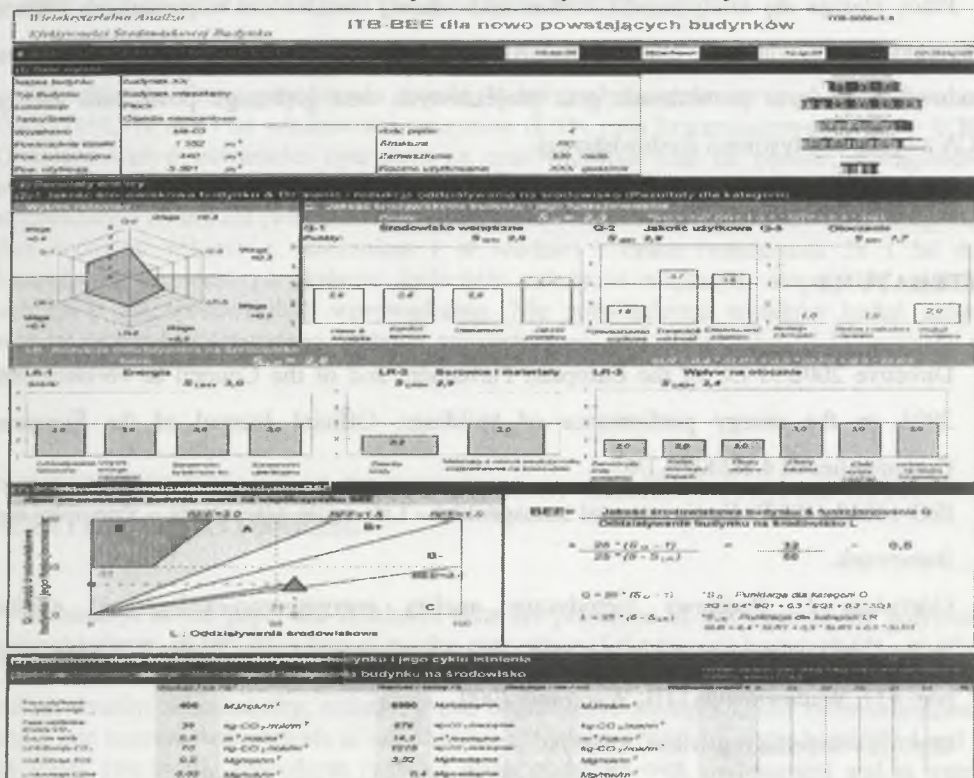
W obliczeniach LCA brano pod uwagę przegrody, materiały i elementy, których łączny udział masowy stanowi co najmniej 98% masy całkowitej obiektu. Założone parametry wyrobów składowych odpowiadają przeciętnym parametrom wyrobów, stosowanych w tej technologii. Nie uwzględniono konserwacji, zabiegów eksploatacyjnych oraz fazy likwidacji obiektu, wraz z poużytkowym przetwarzaniem. Wartości oddziaływania procesów wytwarzania energii elektrycznej na środowisko obliczono zgodnie z krajowymi wartościami wskaźników skumulowanej emisji zanieczyszczeń. Uwzględniono straty przesyłania ciepła. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na uzyskanie wskaźników kategorii oddziaływania dla fazy wznoszenia Ω_P , fazy eksploatacji $\Omega_E + \Omega_N$ oraz w pełnym cyklu istnienia obiektu Ω_L . W rozpatrywanym (w tej pracy) wielorodzinnym budynku mieszkalnym udział skumulowanego zużycia energii pierwotnej w fazie wznoszenia budynku ($E = 111,1 \text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$) wynosi 16,2%. Oznacza to, że udział ten jest znacznie większy niż średnio w istniejących budynkach mieszkalnych (4-5)%, przy wartości wskaźnika około $E = 200,0 \text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$. Należy podkreślić, że faza wznoszenia obiektu budowlanego ma decydujący wpływ na pozostałe wskaźniki oddziaływania na środowisko. Ma też podstawowe znaczenie w takich kategoriach oddziaływania, jak: zużycie zasobów nieenergetycznych (92,6%), zakwaszenie środowiska (77,1%), utlenianie w troposferze (66%) oraz w oddziaływaniach toksycznych na środowisko i ludzi. Ponadto, udział fazy wznoszenia ma istotne znaczenie w potencjale efektu cieplarnianego (44,1%) oraz w ilości generowanych odpadów (31,6%).

Z powyższego porównania analizy LCA wynika, że kierowanie się jedynie energochłonnością obiektu mieszkalnego nie zapewnia prawidłowej oceny oddziaływania na środowisko. Należy brać pod uwagę również inne kategorie oddziaływania.

Budynek oceniono również za pomocą wielokryterialnej hierarchicznej obiektu oraz wyznaczono wartość współczynnika BEE. Wyniki zestawiono w tabeli nr 3. Budynek uzyskał wartość BEE = 0,5, co klasyfikuje go w przeciętnej klasie 'B-' efektywności środowiskowej. Za pomocą analizy hierarchicznej oceniono zarówno jakość środowiska wewnętrznego budynku, jak i jakość jego korelacji z otoczeniem oraz poziom redukcji jego uciążliwości dla środowiska.

Tabela 2

Zestawienie wyników analizy hierarchicznej



W obszarze Q środowisko wewnętrzne oceniono na 2,9, jakość użytkową na 2,9, wpływ na otoczenie na 1,7. W obszarze LR użytkowanie energii na 3,0, surowce i materiały na 2,9, wpływ na otoczenie 3,0. Budynek jest przeciętnym budynkiem spełniającym wymagania prawne, niecharakteryzującym się żadnymi specjalnymi zabiegami prośrodowiskowymi.

6. Podsumowanie

Dyrektywa Unii Europejskiej [1] zaleca wykonywanie ocen budynków z punktu widzenia oddziaływania na środowisko zewnętrzne. Dla wielorodzinnego budynku mieszkalnego pokazano możliwości oceny oddziaływania obiektu na środowisko w cyklu istnienia, która może być wykorzystana w analizach porównawczych różnych rozwiązań konstrukcyjnych budynków lub w innych zastosowaniach, lub do celów projektowych.

Pracę planuje się kontynuować w kierunku analizy możliwości wspomaganie wyboru optymalnego, rozwiązania obiektu budowlanego z punktu widzenia oddziaływania na środowisko, podczas prowadzenia prac projektowych oraz głębszego powiązania analizy LCA z oceną efektywności środowiskowej.

LITERATURA

1. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities of 4.1.2002 L1/65.
2. ISO 14040 (1997): Environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework.
3. Górzyński J.: Podstawy metodyczne analizy energetyczno-ekologicznej obiektu budowlanego w pełnym cyklu istnienia. „Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej” poz. 437, Wydawnictwa ITB, Warszawa 2000.
4. <http://ja.wikipedia.org/wiki/CASBEE>.
5. Górzyński J., Piasecki M.: Charakterystyka energetyczno-ekologiczna jednorodzinnygo budynku mieszkalnego Kortowo 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Lech Śliwowski