



BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Michał Piasecki*

WYZNACZENIE EFEKTYWNOŚCI ŚRODOWISKOWEJ I EKONOMICZNEJ WYBRANYCH BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Aspekty budynku zrównoważonego mogą i powinny podlegać procesowi oceny, a sam proces oceny powinien zostać ujednolicony, znormalizowany i opisany za pomocą kryteriów ilościowych i jakościowych [1–3]. Artykuł dotyczy metod oceny aspektów środowiskowych i ekonomicznych zrównoważonego budynku opracowanych w ramach prac ITB i tematu NF-96.

1. Cel i zakres tematu badawczego NF-96

W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie metod oceny środowiskowej, socjalnej i ekonomicznej budynków. Uwzględniono stan legislacyjny, normalizacyjny, tj. prace normalizacyjne CEN, współpracę międzynarodową oraz europejskie projekty dotyczące ww. tematyki, takie jak OPEN HOUSE i PERFECTION [4],[5].

W ramach realizacji tematu NF-96 w ITB w latach 2011-2012 powstały następujące narzędzia oceny budynku w zakresie zrównoważoności:

- moduł obliczeniowy efektywności środowiskowej budynków użyteczności publicznej,
- moduł obliczeniowy metody kosztów cyklu życia LCC,
- moduł określający zmianę wartości nieruchomości NPV (wartość bieżąca netto) w funkcji współczynnika efektywności środowiskowej.

W artykule podano przykłady obliczeniowe i dokonano analiz przykładowych budynków użyteczności publicznej w celu walidacji proponowanej metody.

W pierwszej połowie 2011 prowadzono prace nad przyjęciem kryteriów, wag oraz wskaźników (w miejsce często stosowanego terminu „indykator” zastosowano termin „wskaźnik”) oceny środowiskowej budynków użyteczności publicznej, niezbędnych do wyznaczenia współczynnika efektywności środowiskowej w oparciu o istniejące prze-

* dr inż., Zakład Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska

pisy techniczne oraz wyniki wcześniejszych badań. Procedurę wyznaczenia efektywności środowiskowej przyjęto i rozwinięto na podstawie wyników wcześniejszych prac badawczych ITB NS-52 oraz NF-82. Prace przewidziane na 2011 r. rozpoczęto od analizy istniejących wymagań techniczno-środowiskowych, jakie budynki użyteczności publicznej muszą lub mogą spełniać. Na podstawie dyskusji i analizy ankiety wypełnionej przez grupę ekspertów ustalono wartości wag wyszczególnionych wskaźników opisujących właściwości środowiskowe wybranych typów budynków, między innymi takich jak budynek biurowy użyteczności publicznej, szkoła, szpital. Wagi umożliwiają integrację wyników (wielokryterialna analiza hierarchiczna). W szczególności analizowano 4 obszary oceny socjalnej budynków:

- komfort, higiena i zdrowie,
- bezpieczeństwo użytkownika,
- użyteczność i wrażenia użytkowników,
- możliwość adaptacji i łatwość obsługi.

W każdym z obszarów oceny zdefiniowano kryteria oraz zaproponowano wskaźniki, bazując między innymi na pracach CEN TC 350 WG5 nad normą EN 16309. Zmodyfikowano program i algorytm wyznaczenia efektywności środowiskowej zgodnie ze specyficznymi wymaganiami środowiskowo-technicznymi dla zdefiniowanych typów budynków. Wprowadzono zmodyfikowane wartości wag kryteriów, wykorzystując analizę hierarchiczną i umożliwiając integrację wyników. Następnie, również w 2011 r., prowadzono prace nad przygotowaniem oceny ekonomicznej budynku, zgodnie z metodyką kosztu w cyklu życia LCC. W tym celu wykorzystano prace normalizacyjne CEN TC 350, tj. normę EN 15643-4 *Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance* [6]. Analizowano inne metody oceny ekonomicznej budynków dostępne w literaturze [7-12]. Wyznaczono wartości oceny dla budynku referencyjnego w celu stworzenia punktu odniesienia dla przyszłych analiz budynków użyteczności publicznej. Pod koniec 2011 r. prowadzono prace nad przygotowaniem oceny ekonomicznej budynków zgodnie z metodą LCC, w celu powiązania jej z metodyką oceny środowiskowej BEE. Prace nad oceną wpływu aspektów zrównoważonego budownictwa na wartość nieruchomości są przedmiotem aktualnych prac badawczych na świecie. Dokonano przeglądu metod wyceny nieruchomości i oceny ekonomicznej opłacalności inwestycji (w zakresie termomodernizacji). Zaproponowano metodę powiązania współczynnika efektywności środowiskowej z typową analizą szacowania wartości nieruchomości opartej na metodzie NPV. Metoda ta ma zastosowanie zarówno w przypadku budynków projektowanych, jak i istniejących.

W pierwszym kwartale 2012 r. analizowano podane poniżej kluczowe dla metody dokumenty:

- Projekt Open House Assessment Guideline Version 1.0 – grudzień 2011,
- SB Alliance- Common sustainability metrics – raport WG1 za 2011,
- Projekt normy FprEN 16309 *Sustainability of construction works – Assessment of social performance of buildings* (wersja styczeń 2012),

- Projekt wytycznych zielonych zamówień publicznych EU GPP *Criteria for buildings* (wersja grudzień 2012).

W 2012 r. wykonano analizę efektywności środowiskowej oraz LCC istniejących budynków użyteczności publicznej: urzędu gminy, gimnazjum, budynku przychodni zdrowia oraz budynku biblioteki. Analiza wyników ocen efektywności środowiskowej tych budynków oraz procesu samej oceny umożliwiła sprawdzenie poprawności metody oraz opracowanie wniosków, na podstawie których przygotowano sprawozdanie końcowe. Zakres zagadnień tematycznych wchodzących w skład oceny efektywności środowiskowej zestawiono poniżej [13], [14]:

- Dostęp do budynku: dojazd i dojście do budynku, wejście do budynku oraz komunikacja wewnętrzna,
- Obsługa instalacji technicznych,
- Zdolność do zmiany funkcji użytkowej,
- Zdrowie i komfort: komfort cieplny, jakość powietrza wewnętrznego, komfort akustyczny,
- Komfort wizualny, komfort przestrzenny, oddziaływania na otoczenie, oświetlenie/zacienienie,
- Zarządzanie budynkiem: bezpieczeństwo – odporność na zdarzenia losowe, bezpieczeństwo osobiste i ochrona przed aktami wandalizmu, bezpieczeństwo systemu dostawy usług i mediów.

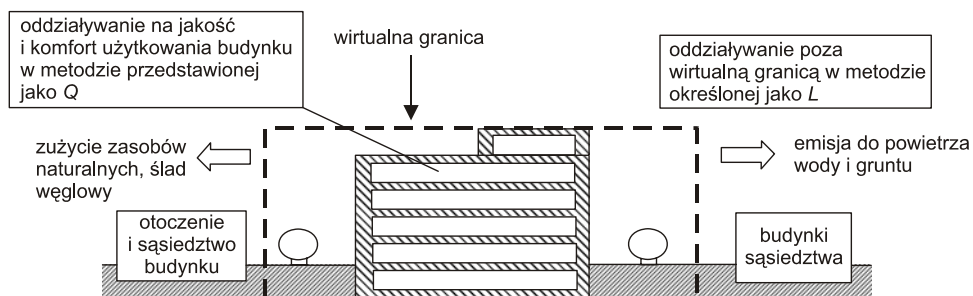
Opracowanie wymagało bliskiej współpracy z jednostkami badawczymi zajmującymi się oceną wyrobów i budynków w Europie, między innymi SB Alliance (the core indicators).

2. Metoda wyznaczania współczynnika efektywności środowiskowej BEE

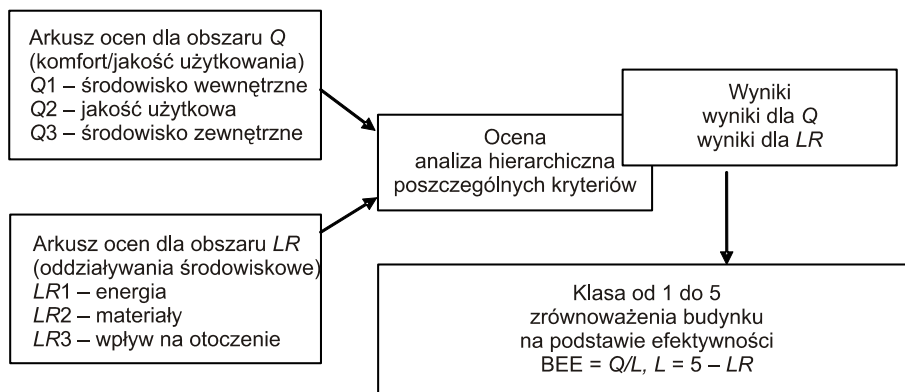
Metoda określania współczynnika efektywności środowiskowej BEE opracowana została na potrzeby oceny budynków i technologii mających charakteryzować się zarówno wysokimi parametrami komfortu, jakości użytkowania, jak i wykazującymi się znacznym potencjałem redukcji negatywnych oddziaływań na środowisko [13], [14]. Metodyczną podstawą do opracowania krajowej metody była CASBEE – metoda Japońskiego Instytutu JSBC [15].

Prace nad krajową metodą rozpoczęto w ITB w 2006 r. na bazie angielskojęzycznego modułu udostępnionego publicznie. Wielokryterialną analizę hierarchiczną budynków prowadzi się w dwóch obszarach oceny: części oceniającej jakość środowiskową (komfort) użytkowania obiektu *Q* (od angielskiego Quality) oraz części oceniającej poziom redukcji (lub jego braku) niekorzystnych oddziaływań na środowisko *LR* (Load Reduction). W każdym z tych obszarów zdefiniowano kryteria oceny wraz ze wskaźnikami. Oceny sumaryczne dla *Q* i *LR* wynikają z sum średnich ważonych ocen wszystkich kryteriów. Schemat systemu został przedstawiony na rysunku 1. Analiza przeprowadzana jest po wyznaczeniu granicy oddziaływania obiektu na środowisko zewnętrz-

ne (np. granica działki). Na rysunku 1 pokazano budynek i jego otoczenie. Komfort (np. cieplny i akustyczny), możliwości adaptacyjne i jakość obiektu dotyczą środowiska wewnętrznego, natomiast oddziaływanie na środowisko odnosi się do przestrzeni poza zdefiniowaną granicą budynku, działki budowlanej i jego otoczenia.



Rys. 1. Granica systemu oceny oddziaływania obiektu na środowisko
Fig. 1. System boundary for environmental building assessment



Rys.2. Schemat procedur agregujących wyniki w metodzie BEE [15–17]
Fig. 2. Scheme of procedures for BEE metod [15–17]

Stosunek skumulowanych wyników ocen aspektów dla Q i L wyznacza współczynnik BEE, zwany współczynnikiem efektywności środowiskowej budynku. Oznacza to, że budynki zrównoważone o najwyższej ocenie to takie, których współczynnik BEE jest większy od jedności, czyli komfort budynku nie jest realizowany kosztem zwiększenia oddziaływania na środowisko (np. kosztem zwiększenia zużycia energii). Do oceny kryteriów dla L i Q przyjęto 5-stopniową skalę punktową „1” – „5” (niedostateczny – bardzo dobry). Wyniki ocen dla kryteriów zdefiniowanych obszarów Q1–Q3 (środowi-

sko wewnętrzne, jakość użytkowa, środowisko zewnętrzne) i $LR1-LR3$ (poszanowanie energii, materiałów, środowiska) zestawione w szablonie wynikowym przy zastosowaniu odpowiednio przyjętych wag przeliczane są na punktowe wyniki dla całego obszaru Q i LR .

Częstkowe oceny dla kryteriów poszczególnych obszarów, takie jak $Q11-Q33$ dla obszaru $Q1$, przedstawione zostały w odpowiednich grafach w arkuszu prezentacji wyników (rys. 2).

Arkusz prezentacji wyników (rys. 8) zawiera wykresy radarowe dla wszystkich wartości kryteriów Q i LR (w skali 1-5), wykresy kolumnowe oraz wyniki oceny dla Q i LR . Rezultat, BEE prezentowany jest liczbowo oraz na wykresie w dwuwymiarowej płaszczyźnie Q i L , zeskalowany (do %) iloraz tych dwóch wartości ocen. Płaszczyzna QL została podzielona na obszary zwane poziomami efektywności środowiskowej (rys. 5).

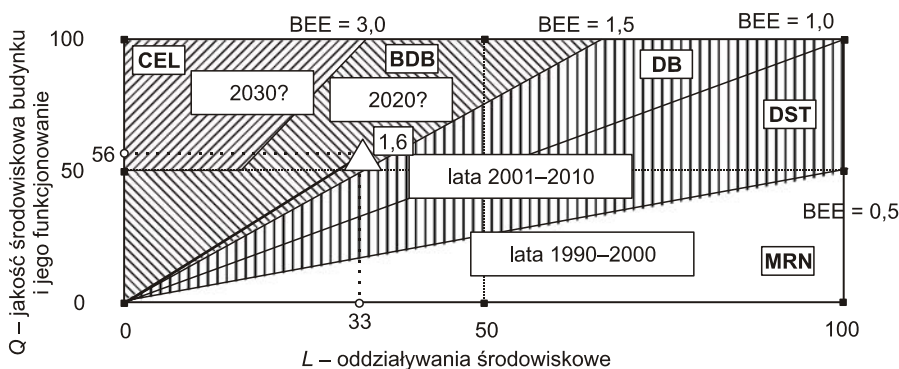
Do oceny efektywności środowiskowej obiektu zaproponowano zastosowanie formuły BEE (1):

$$BEE = \frac{(S_Q - 1)}{(5 - S_{LR})} \quad (1)$$

- gdzie: S_Q – ocena sumaryczna obszaru oceny Q (wyliczona na podstawie ocen kryteriów oraz przyjętych wag),
 S_{LR} – ocena sumaryczna dla LR (wyliczona na podstawie ocen kryteriów oraz ich wag).

Wykres prezentujący wyznaczony współczynnik BEE w arkuszu prezentacji wyników zdefiniowano na płaszczyźnie QL (rys. 3). Dla ułatwienia, wartości Q i L zostały przedstawione procentowo. Współczynnik BEE może być uważany za sprawność środowiskową obiektu. Współczynnik BEE przyjmuje wartości w jednej z 5 klas. Obszar oceny współczynnika BEE został podzielony na 5 klas oceny od CEL do MRN (adekwatnie do ocen akademickich). Wartość współczynnika BEE powyżej wartości 1 uznawana jest za reprezentującą budynek o ponad przeciętnym poziomie jakości środowiskowej w odniesieniu do generowanego oddziaływania na środowisko (spełniający wymagania techniczne). Klasa MRN przyjęta została dla budynków o słabej efektywności środowiskowej do 0,5. Klasa DST budynków średnio efektywnych to iloraz Q/L pomiędzy 0,5 i 1. Klasa DB określa wartość współczynnika w przedziale od 1 do 1,5. Klasa BDB to iloraz w zakresie od 1,5 do 3. Powyżej 3 mamy klasę CEL. Klasa CEL to klasa wybitnych budynków na polu wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju z dużą liczbą nowoczesnych, energooszczędnych oraz innowacyjnych zabiegów zwiększających komfort i redukujących uciążliwość. Przykładowo na rysunku 3 pokazano wartość BEE równą 1,6 dla budynku w klasie BDB i sprawności powyżej jedności. Jest to budynek, dla którego wyliczona suma ocen kryteriów dotyczących kategorii Q wyniosła 56%, a dla L 33%. Umiarkowanie wysoki komfort budynku został osiągnięty przy dość znacznej redukcji oddziaływań środowiskowych. Przykładowo, ustalono na podstawie innych prac ITB (projekt celowy MJB2030 [13] lub strategiczny SP/B/2/76638/10 [17]), że budynki innowacyjne charakteryzują się współczynnikiem BEE > 1,5. Obecnie budowane budyn-

ki przyjmują wartości współczynnika BEE w przedziale 0,8 – 1,2. Szacunkowo można przyjąć że współczynnik BEE dla nowych budynków użyteczności publicznej będzie przyjmował wartości powyżej 2 po roku 2020, dzięki wdrożeniu nowych wymagań energetycznych z warunków technicznych.



Rys. 3. Obszary klas zrównoważenia obiektu określonych metodą współczynnika BEE wraz z potencjalną linią trendu wzrostu wartości BEE dla budynków na lata 1990–2030
 Fig. 3. Building sustainability classes based on BEE approach with national BEE trend for the years 1990–2030

Przy ocenie środowiskowej obiektu bierze się pod uwagę przyjęte obszary i kryteria oceny mające bezpośredni wpływ na zdrowie mieszkańców, samopoczucie, komfort, relację z otoczeniem [4–6], [13], [14], [18–20]. Projektant lub inżynier ocenia w przyjętej skali 5-stopniowej wszystkie kryteria na podstawie przygotowanych i podanych w dalszej części pracy skali ocen i wytycznych przeprowadzania analizy (modułu obliczeniowego). Szczegółowe kategorie wraz ze wskaźnikami z skalami oceny są załącznikami w wersji elektronicznej oraz w programie obliczeniowym (rys. 8) i ze względu na ich znaczną objętość nie zostały przedstawione w niniejszym opracowaniu.

3. Współczynniki wagowe

Współczynniki wag nadanych poszczególnym obszarom i kryteriom oceny w metodzie BEE są ustalane na podstawie istniejącej wiedzy oraz uwzględniają różne punkty widzenia i interesy uczestników procesu budowlanego, tj. projektantów, architektów, inżynierów środowiska, właścicieli budynku, zarządców, inwestorów. W różnych metodach oceny oddziaływania obiektów na środowisko współczynniki wag zostały dobrane za pomocą ankiet wypełnianych przez szeroką grupę wymienionych uczestników procesu budowlanego oraz specjalistów zaangażowanych w opracowanie takich metody. Na potrzeby pracy przyjęto różne wyniki ankiet przeprowadzonych wśród specjalistów w tym: ITB (4), krajowych partnerów (12), OPEN HOUSE (19) [4] oraz uczestników

projektu FP7 Perfection (310) [9]. W tabelicy 1 podano uśrednione wyniki ankiety wag poszczególnych kryteriów oceny budynków szkół (około 300 ankiet przeprowadzonych przez BBRI w całej Europie). Dla budynków użyteczności publicznej takich jak szkoły i szpitale jakość środowiska wewnętrznego jest najważniejsza (tabl. 3). W przypadku budynków typu wystawienniczego (expo) najważniejsza jest jakość użytkowa związana z funkcją obiektu. Zużycie energii przez budynki dla wszystkich typów budynków jest jednakowo ważne, ponieważ wiąże się z oszczędnością ekonomiczną oraz zmniejszeniem uciążliwości dla środowiska (produkcja energii powoduje szkodliwe emisje).

Tablica 1. Wagi dla poszczególnych kryteriów oceny różnych rodzajów budynków
Table 1. Criteria weights for various types of buildings

Obszar oceny	Budynek				
	prywatny	użyteczności publicznej			
	mieszkalny	biurowy	szkolny	szpitalny	expo
Q-1 Środowisko wewnętrzne	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3
Q-2 Jakość użytkowa	0,3	0,4	0,25	0,25	0,4
Q-3 Środowisko zewnętrzne (jakość)	0,3	0,3	0,25	0,25	0,3
LR-1 Energia	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
LR-2 Surowce i materiały	0,25	0,3	0,35	0,35	0,3
LR-3 Środowisko zewnętrzne (wpływ)	0,25	0,3	0,25	0,25	0,3

Suma wag w ocenie obszarów Q i L wynosi 1. Środowisko wewnętrzne dla budynku szpitalnego Q-1 ma wagę 0,5 tzn. jest najistotniejsze przy ocenie jakości środowiskowej obiektu Q. W ocenie redukcji oddziaływania na środowisko największą wagę 0,4 przyznaje się LR-1, czyli redukcji zapotrzebowania na energię przez obiekt. W szczególnych przypadkach lub analizie obiektów specyficznych lub innych krajach należy wprowadzić inne uzasadnione wagi, uwzględniające specyfikę aspektów zrównoważonego budownictwa lokalnego. Wagi pojedynczych podkryteriów dostępne są w programie obliczeniowym do oceny budynku. Takie proste uśrednienie jest jednak pewnym uproszczeniem. Istnieją opinie, że lepiej jest uśredniać wyniki wynikające tylko z opinii lokalnych ekspertów. Sposób uśredniania wag może być elementem dalszych prac badawczych.

4. Metody oceny ekonomicznej budynku

Podniesienie wartości efektywności środowiskowej i energetycznej budynku może prowadzić do [7–12], [20]:

- zwiększenia środków potrzebnych na inwestycję,
- zwiększenia wartości budynku przy sprzedaży i wynajmie,
- zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych,
- zwiększenia komfortu użytkowania,

- pośrednio do zmniejszenia wartości ubezpieczenia budynku (zmniejszenie ryzyka).

Wzajemnie powiązane aspekty techniczne, socjalne i środowiskowe budynku mają wpływ na jego wartość, koszty inwestycyjne oraz koszty utrzymania. Proponowana metoda umożliwia śledzenie zmian wartości budynku w zależności od przyjętych wartości parametrów technicznych. W przyszłości wydaje się, iż takie podejście stanie się standardem.

Decyzje inwestycyjne powinny być oparte na rachunku ekonomicznej efektywności, co wymaga określenia metod oceny tej efektywności. Według pracy [21] ocena efektywności ekonomicznej inwestycji polega na określeniu charakterystyki potencjalnej zdolności zaangażowanych w przedsięwzięcie środków w celu osiągnięcia zysku w ciągu przewidywanego okresu eksploatacji przedsięwzięcia.

Podstawą wykorzystania rachunku efektywności ekonomicznej w ocenie przedsięwzięć budowlanych jest określenie kryterium tego rachunku, a więc takiej wielkości, której obliczenie umożliwia ocenę rozpatrywanych wariantów. Wykorzystanie danego kryterium wymaga opracowania prognozy przepływów pieniężnych charakteryzujących analizowane przedsięwzięcia inwestycyjne w kolejnych latach realizacji i użytkowania.

Powszechnie zaakceptowanym narzędziem oceny opłacalności są metody dyskontowe, które obejmują pełny cykl istnienia przedsięwzięcia (Life Cycle Costing – LCC) [6–11]. W tym przypadku jako cykl istnienia przedsięwzięcia z punktu widzenia kosztów i efektów rozumie się czas od rozpoczęcia realizacji do zakończenia eksploatacji budynku wraz z jego rozbiórką.

Wykorzystując rachunek dyskonta, uwzględnia się rozłożone w czasie przewidywane przychody i wydatki związane z rozpatrywanym przedsięwzięciem. Wydłużanie okresu objętego rachunkiem powoduje, że ocena staje się trudniejsza ze względu na niepewność przewidywanej sytuacji rynkowej. Jednakże ustalenia poczynione na tym etapie decydują o wartości uzyskiwanych wyników oraz o opłacalności podejmowanych decyzji modernizacyjnych.

Do najczęściej stosowanych metod dyskontowych rachunku opłacalności należą [10–12]:

- metoda wartości bieżącej (zaktualizowanej) netto (Net Present Value – NPV),
- metoda wewnętrznej stopy zwrotu (Internal Rate of Return – IRR).

Przychody i wydatki roczne w tych metodach są dyskontowane na moment, w którym przeprowadza się ocenę. Prowadzi to do równorzędnego traktowania nakładów i efektów bez względu na okres ich występowania [10],[14],[15]. Analizę ekonomiczną efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych rozpoczyna się zwykle wykorzystując proste metody ocen. Metody te służą do wstępnej selekcji przedsięwzięć i są stosowane na etapie studiów przed realizacyjnych. Najczęściej stosowany jest prosty okres zwrotu nakładów.

5. LCC – Analiza ekonomiczna cyklu życia budynku

Główna różnica pomiędzy tradycyjnym rachunkiem inwestycyjnym i LCC polega na rozszerzeniu perspektywy cyklu życia w LCC, co oznacza, że obejmuje nie tylko kosz-

ty inwestycyjne, ale także eksploatacyjne podczas szacowanego cyklu życia przedsięwzięcia oraz koszty związane z końcem cyklu życia. Elementami stymulującymi wdrażanie tej metody stają się zalecenia normy EN 15643-4 [6] dotyczących m.in. oceny cyklu życia wyrobu w stanowiącej ogólne zasady prowadzenia analizy ekonomicznej LCC. Metodologia LCC jest elementem aktualnych prac normalizacyjnych CEN TC 350 WG4 nad normą prEN 16627 (2) *Ocena właściwości ekonomicznych budynków*. Określenie LCC polega na identyfikacji i kwantyfikacji wszystkich elementów równania kosztów cyklu życia.

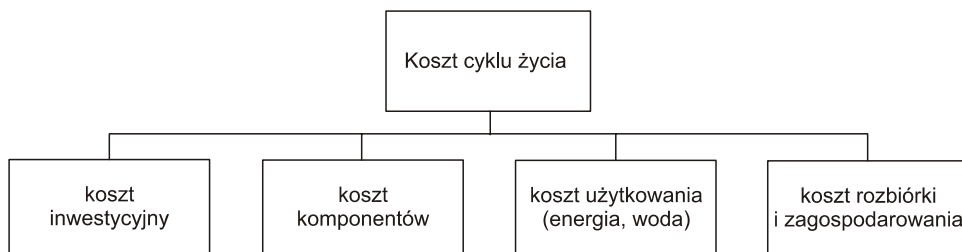
$$C_G = C_I + \sum_j C_f(j) - \sum V_f(j) + \sum_{i=1}^T C_{a(i)} \cdot \left(\frac{1}{1+R_i} \right)^i \quad (2)$$

gdzie:

$$C_{a(i)} = C_I \cdot (1+a)^i \quad (3)$$

- C_G – koszt cyklu życia,
- C_I – koszt inwestycyjny,
- $C_f(j)$ – finalny koszt dla komponentu j ,
- $V_f(j)$ – finalna wartość dla komponentu j ,
- $C_{a(i)}$ – roczny koszt w roku i ,
- a – współczynnik inflacji dla wyrobów, energii, serwisu,
- $(1/1+R_i)^i$ – współczynnik wartości bieżącej.

Elementy brane pod uwagę w analizie kosztu cyklu życia przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat używany w analizie kosztu cyklu życia [22]

Fig. 4. Scheme of life cycle stages used in LCC [22]

Poszczególne fazy cyklu życia będące elementem analizy LCC to: koszt inwestycyjny, koszt komponentów i instalacji, koszt użytkowania oraz koszt rozbiórki wraz zagospodarowaniem materiałów i terenu.

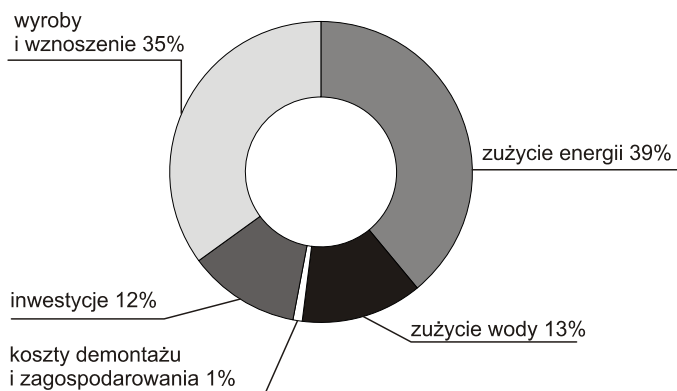
W tabelicy 2 przedstawiono wyniki 3 analiz LCC wykonanych dla wybranych budynków w cyklu życia 50 lat według wzorów (1) i (2). Rozbieżności w wynikach są spowodowane różnymi uwarunkowaniami ekonomiczno-technicznymi oraz samą lokalizacją.

Tablica 2. Sumaryczne wyniki analizy LCC dla przykładowych 3 budynków
 Table 2. Life cycle costs for 3 case-study buildings

Etapy cyklu życia	Koszt PLN/m ²	Koszt PLN/m ²	Koszt PLN/m ²
Inwestycyjne	1113	1407	1827
Wyroby i wznoszenie	1680	4186	6338
Zużycie energii	4477	4208	4830
Zużycie wody	brak danych	1897	431
Koszty demontażu i zagospodarowania	54	113	104

Koszty inwestycyjne obejmują projekt, zakup terenu i uzbrojenie działki. Wyroby oraz wznoszenie obejmują nakłady na wznoszenie budynku, transport, zakup materiałów i instalacji. Koszty zużycia mediów mogą być licznikowe lub projektowe. Koszt demontażu i zagospodarowania przyjęto szacunkowo na podstawie wyników projektu FP7 OPEN HOUSE [5] oraz częściowo na bazie [17].

Jak wynika z analiz i rysunku 5, koszt zużycia energii w cyklu 50 lat może być porównywalny z kosztem inwestycyjnym i wzniesienia budynku. Te dwa czynniki mają główny wpływ na koszt cyklu życia.



Rys. 5. Przykładowy udział procentowy kolejnych etapów cyklu życia budynku [22]
 Fig. 5. Share of costs for different building life stages [22]

Informacja o kosztach poszczególnych etapów cyklu życia pozwala na bardziej efektywnie zarządzanie kapitałem. Możliwe jest zmniejszenie kosztu w danej fazie cyklu życia, na przykład poprzez inwestowanie w materiały o przedłużonym okresie życia,

umożliwiający ponowne ich wykorzystanie, lub bardziej trwałe. Wypracowane narzędzie umożliwia analizę tego zagadnienia i opcji technicznych budynków już w momencie ich projektowania. Trwałość, i co za tym idzie – ilość wymian poszczególnych komponentów ma istotny wpływ na końcowy wynik analizy kosztów.

W rezultacie analizy LCC można zidentyfikować rozwiązanie najbardziej efektywne pod względem kosztów. W przypadku budownictwa energooszczędnego należy dążyć do zmniejszenia kosztów inwestycyjnych i związanych z budową. Można przyjąć, że ponad 60% całkowitych kosztów związanych z danym projektem budynku może być rozpoznane w momencie wyboru konkretnego rozwiązania. Reszta zależy od sposobu wykonania czy konstrukcji. Jedynie na około 10% kosztów można mieć wpływ podczas właściwej eksploatacji. Przeprowadzenie analizy LCC jest bardzo istotne z punktu widzenia efektywności planowania finansowego i uzasadnienia wyboru w procesie budowlanym czy też u samego użytkownika budynku. LCC pomaga zmienić perspektywę biznesu poprzez zwiększenie efektywności ekonomicznej oraz poszukiwanie najniższych kosztów całkowitych.

6. Metoda wartości aktualnej NPV

Wartość zaktualizowaną netto Net Present Value (NPV) określa się na podstawie strumienia wpływów konkurencyjnych projektów inwestycyjnych przez cały okres ich życia. Bieżącą (zaktualizowaną) wartość kapitałową netto (NPV) określa wyrażenie:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^m \frac{N_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

gdzie: CF – wartość rocznego strumienia przepływów pieniężnych,
 N – nakłady inwestycyjne,
 r – stopa dyskontowa,
 n – okres eksploatacji,
 b – okres budowy,
 t – czas.

Bieżąca wartość kapitałowa netto uzyskana z inwestycji wzrasta wraz z powiększaniem się wartości CF i liczby lat eksploatacji, natomiast maleje, gdy rośnie stopa dyskontowa i wartość N , a pozostałe elementy składowe się nie zmieniają. Jeżeli NPV jest dodatnia, to stopa rentowności inwestycji jest większa niż minimalna stopa graniczna. Gdy NPV jest równa 0, to stopa rentowności jest równa stopie granicznej. Jeśli więc $NPV > 0$, projekt może być uznany za opłacalny. Jeżeli wartość NPV jest ujemna, stopa rentowności projektu jest mniejsza niż stopa graniczna, a więc zamierzenie inwestycyjne powinno być odrzucone. Do wyboru wariantu realizacyjnego stosuje się więc kryterium maksymalizacji NPV .

7. Powiązanie oceny BEE z analizą ekonomiczną budynku

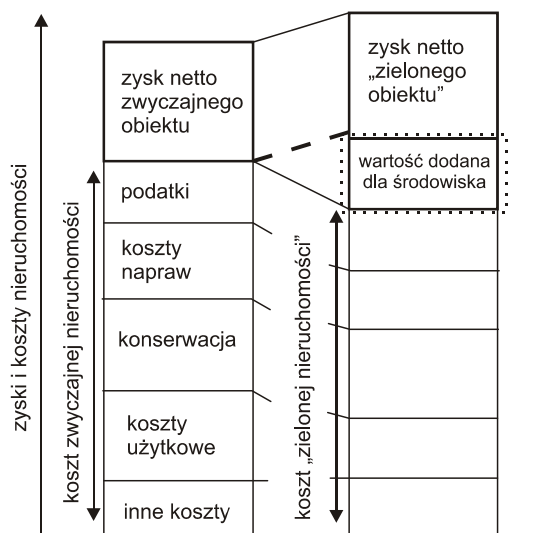
Metoda oceny ekonomicznej BEE ma na celu przedstawienie korzyści finansowych dla trzech kluczowych elementów wartości ekonomicznej nieruchomości:

- kosztów utrzymania budynku,
- wartości rynkowej budynku,
- rentowności przewidywanych zysków – istotna cecha „zrównoważonych budynków”.

Proponowana metoda to metoda porównawcza między współczynnikiem efektywności energetycznej budynku BEE z typową metodą szacowania wartości nieruchomości opartej na metodzie NPV – wartość bieżąca netto.

$$\text{Współczynnik efektywności budynku (BELL)} = \frac{Q}{L} \quad (5)$$

$$\text{wartość bieżąca netto} = \frac{\text{roczny zysk netto generowany przez nieruchomość}}{\text{stopa kapitalizacji nieruchomości}} \quad (6)$$



Rys. 6. Wartość dodana dla środowiska w ujęciu wzrostu zysków netto [17], [23]
 Fig. 6. Added value for environment based on NPV growth [17], [23]

Formuła 6 pozwala na stwierdzenie, że im wyższy zysk netto nieruchomość jest w stanie wytworzyć, tym wyższa jej wartość. Sugeruje również, że im bardziej stabilny jest zysk netto, tym niższa staje się stopa kapitalizacji inwestycji. Prowadzi to do zwiększenia wartości nieruchomości. Inną możliwością jest zmniejszenie wartości w mianowni-

ku: „stopa kapitalizacji w nieruchomości” – może to również prowadzić do wzrostu wartości nieruchomości.

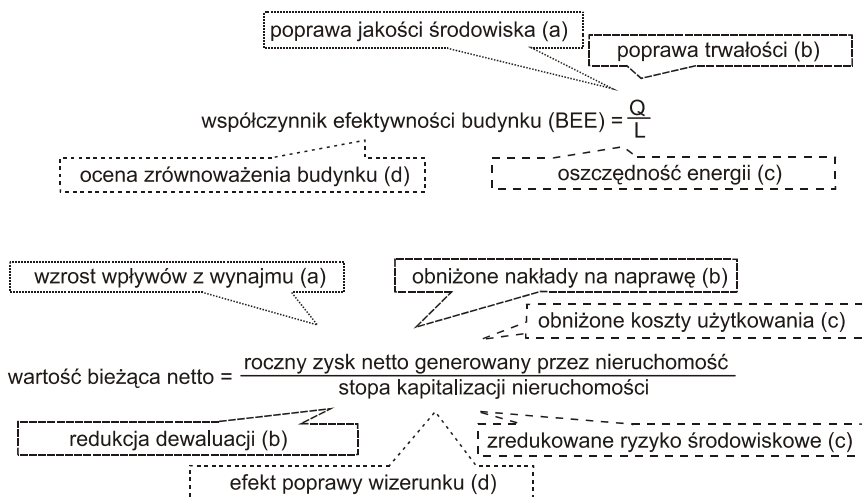
Koszty naprawy „nieruchomości prośrodowiskowej” są częściowo zredukowane w wyniku zastosowanych energooszczędnych technologii, jakości oraz z uwagi na podwyższoną trwałość użytych wyrobów. Prowadzi to również do wzrostu zysku netto nieruchomości. Czynniki te mają wpływ na poprawę efektywności środowiskowej, co również może spowodować wzrost zysku netto (rys. 6).

Niemniej według badań niemieckich koszty napraw mogą jednak być wyższe dla budynków zielonych ze względu na stosowanie bardziej zaawansowanych rozwiązań technicznych. Wzrost kosztu napraw i remontów szacowany jest 2% powyżej kosztów napraw w budynkach standardowych, co będzie prowadziło to do zmniejszenia zysku netto.

Wartością dodaną dla środowiska jest zmniejszenie wskaźnika ryzyka inwestycji. W przypadku „nieruchomości prośrodowiskowych” zmniejszenie zagrożeń związanych z przyszłymi, związanymi z ochroną środowiska podatkami i przepisami, jak również obniżeniem stawki amortyzacji w związku z poprawą eksploatacji, może prowadzić do obniżenia stopy kapitalizacji, co przekłada się na kapitał. Według przekonania autora zastosowanie technologii prośrodowiskowych w większości wypadków wpłynie pozytywnie na środowisko oraz na zysk netto z nieruchomości. Metoda wyceny nieruchomości wykorzystuje narzędzie oceny BEE do określenia potencjalnej zmiany wartości nieruchomości. Metoda wyceny ekonomicznej opiera się na połączeniu wyniku oceny BEE, która może być tworzona przez ludzi związanych z branżą budowlaną, z wyceną nieruchomości, analizowaniu wzrostów lub spadków dochodów i stopy kapitalizacji w pozycjach (kryteriach) związanych z ochroną środowiska, wzrostem jakości i komfortu. Metoda przyjmuje standardy obliczania wartości i wyceny ekonomicznej z podejścia zysków netto oraz z porównania sprzedaży nieruchomości.

Metoda w pierwszej kolejności łączy metodę BEE z wyceną wznoszonego budynku, a następnie powiązuje kryteria oceny z elementami wyceny wznoszonego budynku. Elementy te podzielone są na czynniki jawne/oczywiste oraz potencjalne.

Porównując formuły (5 i 6) oraz składowe w nich zawarte, można wykazać pewne zależności. Analizując poszczególne kryteria z oceny BEE, można określić ich wpływ na wycenę nieruchomości. Wynika z tego na przykład, że w formule współczynnika efektywności budynku poprawa wartości Q , na przykład poprawa jakości środowiska (a), poprawa trwałości (b), ma odzwierciedlenie w formule wartości bieżącej netto w liczniku – korzystnie wpływa na roczny zysk netto generowany przez nieruchomość: na przykład zwiększone wpływy z wynajmu (a), obniżone nakłady na naprawę budynku (b). Analogicznie jest w przypadku ogólnej poprawy wskaźnika BEE (d), która przekłada się na poprawę wizerunku budynku (d), a to z kolei ma przełożenie na obniżenie stopy kapitalizacji nieruchomości (rys. 7). Dalsze analizy ilościowe stanowią aktualny element prac badawczych ITB.



Rys.7. Zmiana wartości nieruchomości poprzez kształtowanie współczynnika BEE
 Fig. 7. NPV change in correlation to BEE factor

W równaniu BEE dobry wynik wskaźnika BEE może być osiągnięty poprzez redukcję obciążenia środowiska (LR) w mianowniku lub poprawę jakości środowiska (Q) w liczniku. Działanie to nie prezentuje jeszcze wartości pieniężnej, ale obrazuje podobieństwo do równania wyceny nieruchomości, w którym wartość nieruchomości rośnie, gdy wzrastają zyski oraz redukcji podlegają wskaźniki ryzyka (rys. 7).

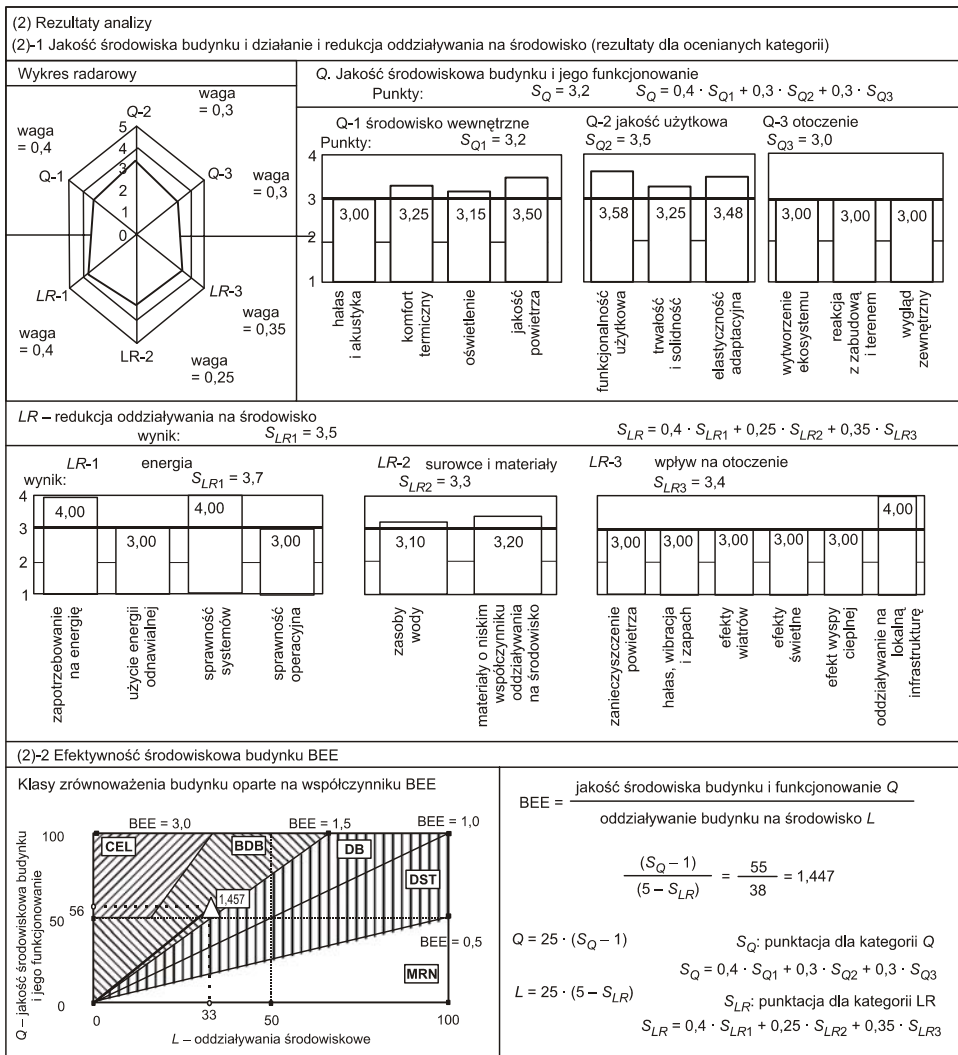
Tablica 3 wskazuje, jak poszczególne kryteria oceny BEE wpływają na wartość wyceny nieruchomości. Środowisko wewnętrzne (komfort) może mieć największy wpływ na wzrost zysków ze sprzedaży i/lub wynajmu, natomiast kryteria Q-2 odnoszą się do redukcji kosztów użytkowania oraz ograniczenia przyszłego ryzyka środowiskowego. Kryteria energetyczne, wzbudzające największe zainteresowanie, przyczyniają się do redukcji kosztów rocznych oraz ograniczenia przyszłego ryzyka środowiskowego (np. podatki związane z emisją CO_2). Poprawa zewnętrznego środowiska obiektu (Q-3) oraz ogólna ocena BEE przyczyniają się do poprawy wizerunku budynku. Nie ma to odzwierciedlenia w aktualnych cenach, jednak może mieć wpływ na cenę w przeszłości.

Tablica. 3. Zależność między elementami oceny BEE a elementami wyceny nieruchomości (a)
 Table 3. Relation between BEE criteria and the elements of cost assessment

Kryteria oceny BEE	Elementy wyceny nieruchomości			
	Wzrosty zysków	Redukcja kosztów	Redukcja ryzyka	Poprawa wizerunku
Q 1-1 Hałas i akustyka	o			
Q 1-2 Komfort termiczny	o			
Q 1-3 Oświetlenie i odbicie	o			
Q 1-4 Jakość powietrza	o			
Q 2-1 Możliwości użytkowe		o	o	
Q 2-2 Wytrzymałość i niezawodność		o	o	
Q 2-3 Adaptacja		o	o	
Q 3 Środowisko zewnętrzne obiektu				o
L 1 Energia		o	o	o
L 2 Surowce i materiały			o	
L 3 Wpływ na otoczenie			o	
Współczynnik (BEE)				o

8. Kształtowanie się współczynnika BEE dla budynku przykładowego

Przykładowy budynek analizowano metodą BEE. Uzyskana wartość wskaźnika na dzień opracowania raportu (grudzień 2011) wynosi 1,45. Jak wynika z analiz, największy wpływ na wartość BEE mają aspekty związane ze zużyciem energii. Zestawienie wszystkich wyników oceny przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Wyniki analizy budynku metodą BEE
Figure 8. Results of building analysis by BEE method

9. Podsumowanie

Do oceny budynku w zakresie spełnienia wymagań zrównoważonego budownictwa opracowano w ITB procedurę wyznaczania efektywności środowiskowej (BEE) oraz zaproponowaną w pracy badawczej ocenę ekonomiczną (LCC oraz BEE/NPV). Metoda umożliwia ocenę środowiskowo-techniczną budynków użyteczności publicznej. W ramach realizacji tematu NF-96 powstały następujące narzędzia oceny budynku w zakresie oceny zrównoważoności:

- moduł obliczeniowy dla efektywności środowiskowej budynków użyteczności publicznej,
- moduł obliczeniowy dla metody kosztów cyklu życia LCC,
- moduł określający zmianę wartości nieruchomości NPV poprzez kształtowanie się współczynnika BEE.

W artykule podano przykłady obliczeniowe dla ww. modułów. W ramach pracy NF-96 dokonano analizy przykładowych budynków użyteczności publicznej. Wyniki przeprowadzonych analiz umożliwiły poprawę działania modułów obliczeniowych, umożliwiły opracowanie wniosków na temat praktycznej przydatności tych analiz. Wskazano na potrzebę i ukierunkowanie dalszych badań.

Przedstawiono dwie metody oceny ekonomicznej budynków skorelowane z oceną środowiskową. Pierwsza metoda to metoda kosztów cyklu życia LCC. Odnosi się ona do wszystkich kosztów związanych z systemem, występujących w cyklu życia. Analiza LCC umożliwia wybór najbardziej ekonomicznego projektu i pomaga w planowaniu i kontroli kosztów użytkowania budynku.

Proponowana druga metoda oceny ekonomicznej to metoda powiązania współczynnika efektywności energetycznej budynku BEE z wartością bieżącą netto NPV.

Analizując poszczególne kryteria oceny BEE, można określić ich wpływ na wycenę nieruchomości (wpływ potencjalny i bezpośredni). Wynika z tego, że w formule współczynnika efektywności budynku poprawa wartości Q (np. poprawa jakości środowiska, poprawa trwałości) ma odzwierciedlenie w formule NPV wartości bieżącej netto w liczniku – korzystnie wpływa na roczny zysk netto generowany przez nieruchomość (np. zwiększone wpływy z wynajmu, obniżone nakłady na naprawę budynku). Proponowana metoda będzie rozwijana w kolejnych pracach badawczych ITB, a wyniki będą implementowane do oferty specjalistycznej ITB.

Bibliografia

- [1] EN 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method
- [2] EN 15643-3:2011 Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 3: Framework for the assessment of social performance
- [3] Czarnecki L., M. Kaproń: Sustainable Construction as Research Area, *IJ of the Society Materials Engineering for Resources* Vol.17 No. 2

- [4] Projekt Open House-FP7 (2010-2013); <http://www.openhouse-fp7.eu>
- [5] Projekt Perfection FP7 (2011-2014); <http://www.ca-perfection.eu>
- [6] EN 15643-4:2012 Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance
- [7] Dąbkowski M.: Efektywność inwestycji według Banku Światowego. Centrum Informacji Menedżera, Warszawa 1992
- [8] Dobija M.: Elementy rachunkowości zarządczej. Fundacja Rozwoju Rachunkowości w Polsce, Warszawa 1991
- [9] Janasz W.: Podstawy ekonomiki przemysłu. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997
- [10] Harwell; Good Practice Guide: Investment Appraisal for Energy Efficiency. ETSU Oxfordshire, 1993
- [11] Górczak T., Kopczyńska T., Kowalczyk J., Kusak A., Szczepankowski P.: Finanse Firmy. Wydawnictwo Międzynarodowej Szkoły Zarządzania, Warszawa 1993.
- [12] Sierpińska M., Jachna T.: Ocena ekonomiczna według standardów światowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994
- [13] Piasecki M.: "Environmental Assessment of Public Buildings – Example Case", Central Europe Towards Sustainable Building From Theory to Practice CESB 10, Prague 30.06 – 2.07.2010, ISBN 978-80-247-3634-1, s. 567–579
- [14] Piasecki M.: Sustainable and eco-efficient technologies for Multi-dwelling Urban Building – World Sustainable Building Conference. Helsinki, October 18–21, 2011: Proceedings. Vol.1.- Helsinki: Finnish Association of Civil Engineers RIL, 2011, s. 110–111, il.
- [15] CASBEE Property Appraisal, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Japan 2009
- [16] Piasecki M.: Metoda oceny budynku w zakresie zrównoważonego budownictwa. 2010, *Materiały Budowlane* nr 5, s. 34–36
- [17] Projekt Strategiczny NCBiR nr SP/B/2/76638/10
- [18] <http://www.breeam.org/>
- [19] Górczyński J.: Podstawy metodycznej analizy energetyczno-ekologicznej obiektu budowlanego w pełnym cyklu istnienia. Prace Naukowe ITB, poz. 437, Wydawnictwa ITB, Warszawa 2000
- [20] Górczyński J.: Audyting energetyczny. Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa 2000
- [21] Ilomaki. A. 2011 CENT TC 350 info update CEN Construction Sector Network Conference 2011 – Interoperability and sustainability for construction. Conference Journal Vol. 1
- [22] Geryło R., Piasecki M.: Analiza ekonomiczna budynków w cyklu życia – metody obliczeniowe i przykłady. XIV Polska Konferencja Naukowo-Techniczna „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, Łódź 2013
- [23] Bekierski D.: Projekt Green Impact – Ocena środowiskowa a efektywność ekonomiczna. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 1 (165), 2013

THE ENVIRONMENTAL AND COST EFFICIENCY ASSESSMENT METHODS FOR SELECTED TYPES OF PUBLIC BUILDINGS

Summary

The goal of the article is to present information on development and implementation of sustainable building assessment methods for public buildings as a result of NF-96 statutory work. First part of the article presents review on the methodology of public building environmental efficiency assessment and the close connection with european research activities and normative references. The second part of the article presents ITB's experiences on the building economic assessment in life cycle (LCC). LCC is presented on practical case studies with discussion of results. The analyzis of BEE factor correlation possibility with net present value NPV assessment is a part of paper. This approach can help to value and integrate sustainable issues and technologies in a price of building.

Praca wpłynęła do Redakcji 5 VII 2013 r.