

# Projektowanie zrównoważone. Mit czy konieczność?

Lucjan Kamionka<sup>1</sup>, Leszek Chodor<sup>2</sup>

Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach,  
e-mail: <sup>1</sup> luckam@tu.kielce.pl, <sup>2</sup> lch@chodor-projekt.net

**Streszczenie:** W pracy omówiono problem projektowania zrównoważonego, jako zadania wielokryterialnej optymalizacji procesu budowlanego w całym cyklu życia obiektu. Przeanalizowano najważniejsze, światowe metody certyfikacji budynków i pokazano przykłady budynków certyfikowanych w Polsce. Pokazano, że zadanie optymalizacji budownictwa i architektury zrównoważonej jest zadaniem optymalizacji stochastycznej, w którym analizuje się energię zużywaną przez budynek, kumulowaną w okresie jego życia z pobocznymi ograniczeniami związanymi z warunkami ekonomicznymi, ekologicznymi i eko-społecznymi.

**Słowa kluczowe:** Projektowanie zrównoważone, wielokryterialne metody certyfikacji, optymalizacja stochastyczna w architekturze zrównoważonej, algorytmy genetyczne.

## 1. Wprowadzenie

W okresie zagrożenia środowiska, kryzysów energetycznych - zrównoważony rozwój stał się główną strategią działań w gospodarce przestrzennej. Zrównoważony rozwój został zdefiniowany w roku 1987 w Raplocie „*Nasza Wspólna Przyszłość*” (*Raport Brundtland*), opracowanym przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju ONZ. W roku 2006 Rada Europejska przyjęła odnowioną strategię zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej [15]. W roku 2010 wprowadzono nowelizację definicji charakterystyki energetycznej budynków oraz strategię stopniowego ograniczania zużycia energii w UE, tak aby w 2021 roku wszystkie nowe budynki były zero lub niemal energooszczędne [3].

Trwały, zrównoważony rozwój oznacza, że potrzeby obecnego pokolenia należy zaspakajać bez uszczerbku dla możliwości zaspakajania potrzeb przyszłych pokoleń. Łączy się z propagowaniem dynamicznej gospodarki przy pełnym zatrudnieniu obywateli i wysokim poziomie wykształcenia, ochrony zdrowia, spójności społecznej i terytorialnej oraz ochrony środowiska w świecie, w którym panuje pokój, bezpieczeństwo i poszanowanie różnorodności kulturowej [15].

Budownictwo jest największym sektorem gospodarki w aspekcie ekonomicznym, największym pod względem przepływu surowców. W budowie inwestuje się większość kapitału, zarówno finansowego jak i naturalnego. Rola budownictwa, a także architektury, jako dziedziny wiedzy kształtującej przestrzeń w otoczeniu człowieka jest istotna w kreowaniu rozwoju zrównoważonego, w którym to aspekt energetyczny odgrywa rolę znaczącą.

Idea realizacji budownictwa i architektury w zgodzie z zasadami rozwoju zrównoważonego wkroczyła w etap powszechnego urzeczywistniania [4, 6 do 9, 17,19]. Powstają wielokryterialne metody oceny budynków, kodyfikujące standardy projektowania i realizacji. Opracowywane są projekty w zgodzie ze standardami, które są realizowane i wyróżniane certyfikatami cieszącymi się coraz większym prestiżem wśród użytkowników. Standardy, choć nie ujmują w pełni złożonego procesu projektowania zrównoważonego, to aspekt energetyczny stawiają na miejscu wiodącym, doceniając rolę racjonalnej konsumpcji energii.

Próba odpowiedzi na pytanie: „Projektowanie zrównoważone- mit czy konieczność?” jest istotna dla podkreślenia znaczenia i wagi podejmowanych w tym zakresie działań.

## **2. Wielokryterialna optymalizacja procesu budowlanego w całym cyklu życia obiektu, a aspekt energetyczny**

Ustalenia Wspólnoty Europejskiej na rok 2020 wyrażone w tzw. „Zielonej Księdze Efektywności Energetycznej” [1] zakładają:

- realizację potencjalnych oszczędności w budynkach w zakresie energii zużytej na ogrzewanie, klimatyzację, ciepłą wodę i oświetlenie na poziomie 22%,
- podwojenie udziału odnawialnych źródeł energii z 6% do 12% w ogólnym zużyciu elektryczności,
- zwiększenie udziału ekologicznej energii elektrycznej z 14% do 22% w łącznym zużyciu energetycznym.

Ponieważ problematyka zrównoważonego rozwoju nie była jednakowo rozumiana przez różne ośrodki, więc na konferencji w Oslo „Sustainable Building 2002” [10] próbowano poszukiwać definicji najbardziej odpowiednich w stosunku do stanu wiedzy i zaawansowania technicznego problematyki. Zidentyfikowano pięć cech budynków zrównoważonych.

- wydajne wykorzystanie energii,
- wydajne wykorzystanie surowców,
- zapobieganie zanieczyszczeniu,
- zharmonizowanie ze środowiskiem,
- zintegrowane i systemowe rozwiązywanie problemów.

Prowadzi to do realizacji następujących celów rozwoju zrównoważonego [16]:

- ✓ zmniejszenie zapotrzebowania na energię i zasoby naturalne przez przyjęcie standardu budownictwa energooszczędnego a w przyszłości budownictwa pasywnego,
- ✓ inteligentne stosowanie systemów techniki, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii,
- ✓ racjonalne wykorzystanie zasobów naturalnych, stosowanie materiałów przyjaznych środowisku,
- ✓ rozwijanie koncepcji logistyki, która prowadziłaby do ograniczenia transportu podczas budowy i później funkcjonowania budynku,
- ✓ redukcja ilości zanieczyszczeń powietrza i wody, zmniejszenie ilości odpadów i ścieków oraz ciepła odpadowego,
- ✓ uwzględnienie podstawowej struktury klimatycznej obszaru przez odpowiednie kształtowanie i kombinację zabudowy, powierzchni, infrastruktury technicznej oraz ciągów zieleni,

W latach dziewięćdziesiątych powstały wielokryterialne metody badawcze zajmujące się zagadnieniami rozwoju zrównoważonego. Do najważniejszych należą (w nawiasie rok ogłoszenia):

- (1990) Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Wielka Brytania,
- (1993) Building Environmental Performance Assessment Criteria (BEPAC), Kanada,
- (1993) Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), USA,
- (1996) Haute Qualite Environnementale (HOE), Francja
- (1998) Green Building Challenge (GBC), państwa europejskie, Japonia, Kanada, USA,
- (2005) Green Building (GB), Unia Europejska,
- (2007) Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), Niemcy.

W wielokryterialnej metodzie oceny BREEAM wykorzystuje się standardy na trzech poziomach oddziaływania na środowisko: globalnym, lokalnym i wewnętrznym, uwzględniając przegrody budynku, zainstalowane systemy techniczne, systemy zarządzania i obsługi.

W metodzie BEPAC ocenia się podjęte działania w zakresie pięciu podstawowych zagrożeń: zabezpieczenia warstwy ozonowej, jakości środowiska, transportu, oraz zachowania zasobów naturalnych i tlenu.

Metoda LEED wprowadza standardy dla oceny budynków pod względem energooszczędności i wpływu na środowisko naturalne.

W metodzie HOE ocenę budowli prowadzi się według czterech głównych kryteriów: ekobudowa, eko-zarządzanie, komfort, zdrowie.

Celem metody GBC było: zdefiniowanie pojęcia „green building”, pokazanie możliwości rozwoju wspólnych celów i ocen środowiska, przy równoczesnej akceptacji regionalnych i technicznych różnic, wskazanie kierunków działań oraz rozwoju specyfiki regionalnej krajom uczestniczącym w opracowaniu programu modeli ocen, identyfikacja czynników związanych z procesem oceny, promocja międzynarodowej wymiany informacji i pomysłów, promowanie ekologicznych technologii.

Europejska metoda GB ma za cel pomoc właścicielom oraz użytkownikom obiektów prywatnych i publicznym organizacjom w podnoszeniu energooszczędności oraz wprowadzaniu odnawialnych źródeł energii do substancji budowlanej.

Metoda DGNB wykorzystuje standardy ekologicznego budownictwa wypracowane w USA jej głównymi kryteriami są: aspekty ekologiczne, ekonomiczne, socjalno-kulturowe, funkcjonalne, techniczne oraz ocena całości procesu i lokalizacji budowli.

Kamionka w pracy [9] opracował metodę oceny budynków w aspekcie projektowania, która może mieć duże walory aplikacyjne.

Wśród metod oceniających obiekty budowlane w aspekcie zrównoważonego rozwoju gdzie aspekt energetyczny pełni rolę znaczącą, do najbardziej dynamicznie rozwijających się, które osiągnęły znaczenie światowe należą: LEED i BREEAM oraz europejski program certyfikacyjny GB (UE). Zestawienia standardów projektowania i wykonawstwa obiektów budownictwa zrównoważonego w metodach BREEAM i LEED dokonano w tabeli 1.

Tabela 1. Standardy stosowane w metodach BREEAM oraz LEED (opr. L. Kamionka)

Czynnik	Kategoria	Metoda	
		BREEAM	LEED
Oszczędność energetyczna (uwarunkowania ekologiczno-ekonomiczne)	Efektywność energetyczna	Obligatoryjne zmniejszenie zużycia energii o min.10% w stosunku do norm brytyjskich i osiągnięcie założonych limitów emisji dwutlenku węgla. Zakres zmniejszenia 5 -40 kg/(m <sup>2</sup> rok);	Zmniejszenia zużycia energii: budynki nowe 12-48% remontowane 8-26% Wykorzystanie źródeł energii odnawialnej 1-13%
	Komfort użytkowania	Osiągnięcie założonych parametrów komfortu i jakości użytkowania wnętrza budynku: - ogrzewanie, - oświetlenie, - wentylacja, - hałas, - skażenia mikrobiologiczne.	Ograniczenie zanieczyszczeń powietrza we wnętrzu budynku; Osiągnięcie założonych parametrów: - oświetlenia naturalnego, - oświetlenia sztucznego, - komfortu cieplnego, - emisji substancji szkodliwych
Jakość użytkowania (uwarunkowania społeczne)			

Oszczędność wody, Surowców, materiałów (uwarunkowania ekologiczno-ekonomiczne)	Efektywność gospodarki wodno-ściekowej	Redukcja zużycia wody wewnętrznej w zakresie: 32 - 52 m <sup>3</sup> /rok; Zastosowanie : - pomiarów i monitorowania obiegu wody, - urządzeń higieniczno-sanitarnych o wysokiej sprawności, - własnych oczyszczalni, - systemów wykorzystywania wody opadowej.	Osiągnięcie założonego zakresu redukcji zużycia wody pitnej w budynku: 20-40%.  Osiągnięcie założonego zakresu redukcji zużycia wody do nawadniania terenu: 50-100%.  Wykazanie redukcji generowania ścieków;
	Efektywność zużycia materiałów i surowców	Udokumentowanie zastosowania: - materiałów niskoenergetycznych i proekologicznych. - materiałów ponownego użycia. - materiałów z recyklingu, - jakość i trwałość izolacji.	Zastosowanie materiałów pochodzących z recyklingu: 5 -10%; Ponowne wykorzystanie materiałów: 5 – 10%; remonty: 55- 95%; Użycie materiałów regionalnych: 10 – 20%; Zmniejszenie odpadów budowlanych: 50 – 75%
Oszczędność i jakość użytkowania (uwarunkowania ekologiczno-ekonomiczne)	Proekologiczne użytkowanie terenu	Ograniczenie w czasie realizacji inwestycji: - zanieczyszczenia powietrza, wody, terenu; - inwazyjności wykorzystania terenu. Aspekt rewitalizacji terenów. Zastosowanie: - założonego modelu zarządzania budynkiem i środowiskiem w aspekcie ekologicznym, - ekologicznych elementów transportu: - obiektów dla rowerzystów, - wykorzystanie transportu publicznego, - planowanie i organizacja dojazdów.	Ograniczenie: - dewastacji środowiska w czasie realizacji inwestycji.  Aspekt ponownego wykorzystania terenu. Zastosowanie ekologicznych elementów transportu: - infrastruktura rowerowa, - preferencje parkingowe dla pojazdów o niskiej emisji, - transport publiczny;  Ograniczenie: - zanieczyszczenia powietrza, wody, terenu; - efektu „wyspy cieplej”;
	Preferencje lokalne. Proekologiczna innowacyjność projektu	Zastosowanie innowacyjnych proekologicznych rozwiązań w projekcie i realizacji budynku.	Innowacyjność rozwiązań projektowych i realizacyjnych budynku. Zastosowanie regionalnych priorytetów

Duże znaczenie dla docelowego rozwoju budownictwa energooszczędnego mają parametry budynku pasywnego oraz standardy stosowane w metodzie GB (UE), które zestawiono w tabeli 2.

W procesie zintegrowanego projektowania ocenę rozwiązań projektowych należy poddać złożonej, wielokryterialnej ocenie, co umożliwiają programy komputerowe, symulujące zachowania energetyczne budynków w różnych sytuacjach projektowych. Programy te wykorzystywane są aktualnie jako znaczące narzędzie w analizach ekonomiczno-energetycz-

nych LCC, LCA i LCCA.

Tabela 2. Parametry „budynku pasywnego oraz standardy metody Green Building (opr. L. Kamionka)

Czynnik	Dom Pasywny	Green Building (UE)
Oszczędność energetyczna	<b>Standard energetyczny:</b> o Całkowity współczynnik przenikalności cieplnej dla budynku $U \leq 0,15$ W/(m <sup>2</sup> K); (zmniejszenie zużycia energii np. dla uwarunkowań polskich o ok.80%); o Standardy pośrednie: - współczynnik przenikalności cieplnej dla ścian $U \leq 0,13$ W/(m <sup>2</sup> K) - współczynnik przenikalności cieplnej dla dachów $U \leq 0,13$ W/(m <sup>2</sup> K) - współczynnik przenikalności cieplnej dla podłóg na gruncie $U \leq 0,13$ W/(m <sup>2</sup> K) - współczynnik przenikalności cieplnej dla okien $U \leq 0,80$ W/(m <sup>2</sup> K)	<b>Standard energetyczny:</b> o zmniejszenie zużycia energii o min. 25% w stosunku do norm obowiązujących w danym kraju o elementy budynku analizowane i oceniane tzw. moduły techniczne: - obudowa budynku; - oświetlenie; - usprzętowanie; - urządzenia elektryczne; - transformatory; - wentylacja; - klimatyzacja; - systemy grzewcze; - wykorzystanie energii słonecznej; - czynnik „trój-generacji” (moc mechaniczna, chłodzenie, ogrzewanie); - zastosowanie systemów zarządzania energią;

Najczęściej używane programy komputerowe zestawiono w tabeli 3.

Należy stwierdzić, że mimo ciągłego rozwoju, nawet aktualne wersje programów nie operują jeszcze pojęciami statystyki, a analizy zapotrzebowania na energię, planowania i kosztów prowadzone są w okolicznościach zdeterminowanych.

Tabela 3. Programy komputerowe, wykorzystywane w analizach energetycznych (opr. L. Kamionka)

Lp.	Program	Autor/dystrybutor	Zastosowanie	Rok powstania
1	BLAST	University of Illinois, USA	Zapotrzebowanie energii, analiza LCC, LCA	koniec lat 70.
2	DOE-2	National Laboratory, Lawrence Berkeley, USA	Zapotrzebowanie energii, planowanie	pocz.lat 80.
3	COMIS	National Laboratory, Lawrence Berkeley, USA	Przepływy wielostrefowe w budynku	koniec lat 80.
4	ENERGY PLUS	National Laboratory, Lawrence Berkeley, USA	Integracja programów: BLAST, DOE-2, COMIS	pocz.lat 90.
5	TRNSYS	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA	Planowanie, modernizacja, zapotrzebowanie energii, systemy kompleksowe (kompatybilny z COMIS)	pocz lat 70.
6	DEROB-LTH	Lund Institute of Technology, Sweden	Zapotrzebowanie energii, ogrzewanie, chłodzenie, komfort cieplny	koniec lat 80.
7	CILECCTA	Program wspierany przez Komisję Europejską	Pełna analiza kosztów cyklu życia budynków.	2009-2013
8	CERTO	Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska	Wstępne, koncepcyjne analizy.	2009

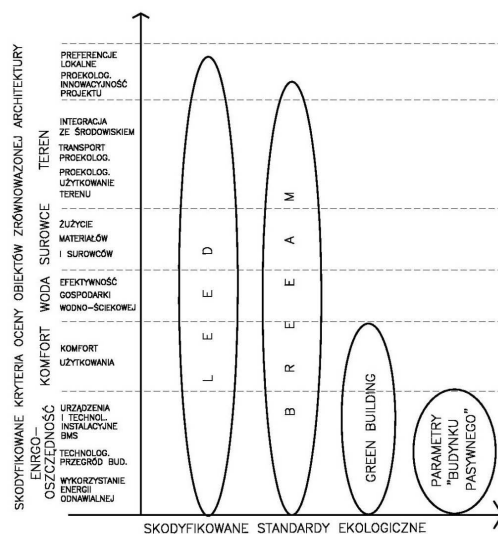
Powszechnie akceptowaną metodą do nowoczesnego zarządzania środowiskiem i ekologicznego badania cyklu życia produktu jest metoda LCA(Life Cycle Assessment) [13]. Metoda LCA jest w istocie procedurą oceny efektów, jaki dany wyrób wywiera na środowisko podczas całego życia na skutek wzrostu zużycia zasobów i zmniejszenia obciążeń środowiskowych. Metoda LCA jest traktowana jako „analiza od kołyski do grobu”, a podstawowymi elementami tej metody są: (1) zidentyfikowanie i ocena ilościowa obciążeń wprowadzanych do środowiska, (zużycia surowców materiałów i energii oraz emisji i odpadów wprowadzanych do środowiska, (2) ocena potencjalnych wpływów tych obciążeń oraz (3) oszacowanie dostępnych opcji w celu zmniejszenia obciążeń. Ocena wpływu na środowisko może być prowadzona zarówno dla wyrobu, jak i dla jego funkcji, np. dla całego budynku.

Zaletami metody LCA jest to, że uwzględnia wszystkie czynniki, ekosystemy i ich elementy, a także powstawanie zanieczyszczeń, co umożliwia pełną ocenę wpływu na środowisko.

Mimo, że metoda jest dobrze opisana w normach [13], to powszechnie wskazuje się, że jej wadą jest trudność zmierzenia szeregu ważnych efektów poprzez przyporządkowanie miary liczbowej (energii, kosztu, itd.) . Dlatego mamy kilka odmian metody LCA, m. in. metodę eco-indicator 99, w których stosowane są rozmaite miary indeksów inwestycji, jak na przykład: wskaźnik powstawania ozonu, czy wskaźnik radiacji.

Należy stwierdzić, że wada metody LCA, polegająca na trudności w przyporządkowaniu dobrze określonej miary liczbowej do ważnych efektów - może być w sposób naturalny rozwiązana w proponowanej w dalszej części niniejszej pracy stochastycznej metodzie certyfikacji i optymalizacji wraz z wprowadzeniem losowych zmiennych dyskretnych oraz symbolicznych, umożliwiających opis stanu efektu.

Analiza techniczno-ekonomiczna może być przeprowadzona metodą LCC (Life Cycle Costing), poprzez ocenę wielkości kosztów ponoszonych w całym cyklu życia budynku. i umożliwia porównanie alternatywnych rozwiązań projektowych oraz wybór rozwiązania optymalnego.



Rysunek. 1. Zakres problemowy skodyfikowanych standardów ekologicznych oceny budynku (L Kamionka)

Na rysunku 1 przedstawiono zakres problemowy skodyfikowanych standardów ekologicznych w wybranych metodach oceny budynku w aspekcie zrównoważenia

Metody certyfikacji energetycznej budynków Unii Europejskiej, zostały objęte systemem norm, których strukturę opisano w raporcie technicznym [12]. Podstawową charakterystyką energetyczną budynku jest całosciowy wskaźnik EP [14], będący algebraiczną sumą ważoną dostarczonej i oddanej energii w kWh/(m<sup>2</sup>rok) w rozbiciu na nośniki energii. Energia zużywana na potrzeby budynku jest roczną ilością energii wymaganą do prawidłowej eksploatacji odniesioną do jednostki powierzchni budynku.

### **3. Wybrane przykłady obiektów zrównoważonych w Polsce**

W Polsce coraz liczniej projektowane są i realizowane obiekty architektoniczne w zgodzie ze skodyfikowanymi standardami metod LEED, BREEAM, GB (UE) oraz zdefiniowanymi standardami budynku pasywnego. Kilkanaście budynków otrzymało już certyfikaty, a kilkadziesiąt jest na etapie wdrażania procedur.

#### **3.1. Budynek z certyfikatem „Passivhaus”**

Pierwszy projekt domu pasywnego w Polsce został zrealizowany pod Wrocławiem w Smolcu w roku 2007 (arch. Lipińscy). Maksymalizację solarnych zysków ciepła osiągnięto dzięki odpowiedniemu rozmieszczeniu okien na fasadach domu. Duże okna na południowo-zachodniej elewacji obok zapewnienia zysków energetycznych od promieniowania słonecznego nadały współczesny posmak architekturze wzmocniony dodatkowo centralnie umieszczonym kolektorem słonecznym na połaci dachu. Funkcję domu rozwiązano w sposób zbliżony do tradycyjnego jednak z elementami innowacyjnymi narzuconymi przez duże przeszklone płaszczyzny ściany jadalni i pokoju dziennego.

Kompaktowy charakter budynku potwierdza indeks A/V(=powierzchnia/kubatura), który wynosi 0,75, a dostawiony od strony zachodniej garaż o niezależnej konstrukcji pełni rolę bufora ciepła. Wyliczone zapotrzebowanie ciepła wynosi 13,7 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Do izolacji termicznej ścian zastosowano warstwę izolacyjną grubości 30–44 cm ze styropianu Platinum Plus, dzięki czemu uzyskano współczynnik U= ok. 0,1 W/(m<sup>2</sup>K). Ściany wykonano z pustaków keramzytowych. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest ich duża masa akumulacyjna. Więźbę dachową wykonano w sposób tradycyjny z krokwi drewnianych z zastosowaniem izolacji termicznej o łącznej grubości ok.45 cm. Współczynnik przenikania ciepła osiągnął wartość U=0,08 W/(m<sup>2</sup>K). Zastosowano certyfikowaną stolarkę okienną i drzwiową o współczynniku U=0,7 W/(m<sup>2</sup>K). Zaprojektowano wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła oraz zastosowano przeciwprądowy wymiennik ciepła ułożony poniżej strefy przemarzania na głębokości 1,5–2,0 m. W okresie zimowym temperatura powietrza, która jest dostarczana do budynku nie spada poniżej zera, zaś w okresie letnim jest schładzana do przyjemnych w odczuciach temperatur.

#### **3.2. Budynek z certyfikatem „Green Building”**

W roku 2009 Biurowiec Atrium City położony w centrum Warszawy jako pierwszy w Polsce otrzymał od Komisji Europejskiej certyfikat Green Building. Budynek posiada wszystkie cechy charakterystyczne dla projektów realizowanych zgodnie ze standardami „Green Building” tj. podwyższoną energooszczędność, wysoki komfort użytkowania oraz dbałość o walory architektoniczne. (arch. Kazimierski & Ryba). Atrium City zlokalizowany został na al. Jana Pawła II, w bezpośrednim sąsiedztwie ronda ONZ. Atrium City jest biurowcem klasy A. Obiekt spełnia najwyższe standardy, zarówno w zakresie energooszczędności jak i komfortu użytkowania, rozwiązań technicznych i bezpieczeństwa użytkowania. Zastosowano podniesione podłogi, grzejniki kanałowe, system klimatyzacji oparty na belkach

chłodzących, systemy kontroli dostępu, monitoring całodobowy. Połowa zużywanej podczas eksploatacji energii wykorzystywana jest na potrzeby działania instalacji wewnątrz budynku. Druga połowa to bezpośrednia konsumpcja najemców, użytkowników budynku. Całość obiektu nadzoruje Zintegrowany System Zarządzania Budynkiem BMS.

Wybudowano przegrody zewnętrzne o lepszych parametrach niż wymagają to obowiązujące normy i przepisy prawno-techniczne. Zastosowany system wentylacyjno-klimatyzacyjny wykorzystuje powietrze usuwane z przestrzeni biurowej do ogrzania przestrzeni atrium i poziomów garaży. W budynku zintegrowano poziom nasłonecznienia z oświetleniem pomieszczeń. Oświetlenie części wspólnych budynku jest zintegrowane z Centralnym Systemem Zarządzania Budynkiem.

### **3.3. Budynki z certyfikatem LEED**

W roku 2009 został otwarty w Podkarpackim Parku Naukowo -Technicznym w Rzeszowie zakład należący do amerykańskiego koncernu Borg Warner produkujący turbosprężarki oraz komponenty układów doprowadzania powietrza i redukcji substancji szkodliwych w pojazdach osobowych i użytkowych. Jak przystało na amerykański koncern obiekt został zrealizowany zgodnie ze standardami LEED. Konstrukcja ścian zewnętrznych i dachu odpowiada najwyższemu standardom izolacyjności. Realizacja obiektu, zastosowane materiały jak również technologie odpowiadają warunkom ekologicznym. W kompleksie zastosowano automatyczne zarządzanie energią, co wyraźnie, pozytywnie wpływa na jego bilans energetyczny.

W roku 2011 certyfikat LEED poziom złoty otrzymał Biurowiec Rondo, 1 jako pierwszy budynek w Polsce, który przystąpił do certyfikacji już po zrealizowaniu tj. w roku 2009. Biurowiec Rondo 1 wybudowano w latach 2003-2006 w śródmieściu Warszawy. W budynku znajdują się także centrum konferencyjne, kawiarnie, bistra, supermarket, banki, SPA. Wysokość konstrukcyjna 159 m, ilość kondygnacji nadziemnych 40. W budynku zastosowano kontrolę oświetlenia poprzez systemy technologii cyfrowej "dali". Biurowiec wykorzystuje także 10 % energii wytworzonej przez elektrownię wiatrową. Zmniejszono także zużycie wody o 30%. Należy zauważyć, że zespół biurowy - siedziba Skanska-Property zlokalizowany w Atrium City (Warszawa Al. Jana Pawła II) otrzymał w roku 2010 certyfikat „LEED” – poziom srebrny.

### **3.4. Budynki z certyfikatem BREEAM**

W Polsce w roku 2010 oddano do użytku trzy kompleksy biurowo-konferencyjne, które otrzymały certyfikaty BREEAM. Są to Trinity Park III i Crown Square obiekty zrealizowane w Warszawie oraz Business Point zrealizowany w Katowicach. W budynkach zastosowano energooszczędne systemy klimatyzacji, wentylacji, ogrzewania i oświetlenia jak również energooszczędne windy. Budynki posiadają rozbudowany system automatycznego zarządzania BMS. Zastosowane materiały poddane zostały ścisłej selekcji w aspekcie ekologicznym.. Wybór systemu kurtyn elewacyjnych poprzedzony został specjalistycznymi analizami w aspekcie oszczędności energetycznej.

Trinity Park III obiekt zlokalizowany w Warszawie przy ul. Domaniewskiej (arch. Jaspers & Eyers Partners) posiada 6. kondygnacji nadziemnych oraz 3.kondygnacje podziemne.

Crown Square centrum biurowo-konferencyjne (arch. Ludwik Konior & Partners) zrealizowane w Warszawie przy ul. Przyokopowa posiada 13. Kondygnacji nadziemnych i 3. kondygnacje podziemne mieszczące parking dla 227 pojazdów. Katowice Business Point zespół biurowo-konferencyjny (arch. Jaspers & Eyers Partners, Czora&Czora) zrealizowano w



pobliżu Silesia City Center w Katowicach. Obiekt posiada 11 kondygnacji nadziemnych oraz 3 kondygnacje podziemne z garażem wyposażonym w ok. 200 miejsc parkingowych.

### **3.5. Projektowanie zrównoważone w budynkach niecertyfikowanych**

Podjęte są próby projektowania zrównoważonego budynków, które nie poddają się procedurze certyfikowania w określonych metodach oceny. Korzyści, jakie uzyskują twórcy i realizatorzy tych obiektów są wymierne i dotyczą sfer ekonomicznej, ekologicznej i społecznej.

W Kielcach na terenie Kampusu Politechniki Świętokrzyskiej zrealizowano budynek dydaktyczno-laboratoryjny „Energis” Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki. Budynek został zaprojektowany i zrealizowany w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Aspektowi energooszczędności poświęcono wiele uwagi i troski. Współczynniki przenikania ciepła dla ścian, dachu, podłóg na gruncie oraz dla okien są zbliżone do współczynników obowiązujących dla budynku pasywnego. Obiekt odpowiada standardom budynków o niskim zużyciu energii. „Energis” wyposażono w kolektory słoneczne o mocy 20 kW (4 szt.), w pompy ciepła o mocy 110 kW (4 szt.), sondy gruntowe (16 szt.) oraz studnię głębinową dla 2-ch pomp ciepła.

W obiekcie zastosowano urządzenia wykorzystujące energię promieniowania słonecznego (ogniwa fotowoltaiczne, kolektory słoneczne) oraz energię zakumulowaną w gruncie i powietrzu (pompy ciepła, rekuperatory). Wykorzystanie najnowszych technologii w zakresie energooszczędności, instalacji sterującej BMS oraz doskonałej, jakości materiałów termoizolacyjnych pozwoliło na: znaczną samowystarczalność budynku pod względem energetycznym, ograniczenie strat energetycznych, minimalizowanie emisji zanieczyszczeń do otoczenia, zarządzanie i nadzorowanie funkcjonowania urządzeń i instalacji umożliwiających optymalne wykorzystanie energii. Oddany do użytkowania obiekt jest przykładem budynku inteligentnego realizowanego w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju, wykorzystującego najnowocześniejsze energooszczędne technologie. Posiada nowatorskie rozwiązania pozyskiwania i akumulowania ciepła oraz nowoczesne technologie informatyczne dla celów sterowania i monitoringu.

## **4. Proponowane uogólnienie metody optymalizacji budownictwa zrównoważonego**

### **4.1. Aspekt energetyczny w proponowanym podejściu**

W wielu pracach m.in. [2, 19] pokazano, że ograniczenie zużycia energii w działalności człowieka, a szczególnie w procesie budowy, użytkowania, modernizacji i rozbioru obiektów budowlanych – jest podstawowym czynnikiem umożliwiającym zmniejszenie degradacji środowiska, w tym ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

Inne czynniki, uwzględniane w wielokryterialnych metodach certyfikacji (pkt 2), są traktowane, jako dodatkowe ograniczenia zadania, choć mogą istotnie ograniczyć obszar dopuszczalnych rozwiązań i istotnie zmienić finalne rozwiązanie projektowe.

Projektowanie zrównoważone definiujemy więc, jako zadanie opracowania projektu budynku dla minimalnego (rzadziej zadanego) poziomu zużycia energii w całym okresie życia. Ograniczeniami projektowymi są ograniczenia, wynikające z uwzględnienia szczególnych wymagań ekonomicznych, ekologicznych i eko-społecznych, w tym politycznych.

Podstawową funkcją celu (funkcją oceniającą) będzie energia zużywana przez budynek, czyli energia skumulowana w budynku podczas pozyskania surowców i wytworzenia

materiałów, w czasie wznoszenia budynku, jego eksploatacji, głównie na: ogrzewanie, chłodzenie, wentylację, oświetlenie i remonty, a także energia przetworzenia, czyli energia niezbędna do modernizacji i rozbiórki obiektu, a także zagospodarowania odpadów. Analizowanym okresem czasowym jest cały okres życia budynku od pierwszej do ostatniej operacji.

Pobocznymi ograniczeniami projektowymi są czynniki wymienione w tab.1, a nieujęte bezpośrednio w energii zużywanej. Będą to np.: stopień wykorzystania źródeł energii odnawialnej, skażenie mikrobiologiczne, stopień redukcji użycia wody, ograniczenie produkcji odpadów i zanieczyszczenia wewnątrz oraz otoczenia, zastosowanie monitoringu i rozwiązań inteligentnych, zastosowanie materiału z recyklingu oraz innych.

Zaleca się by każdy z czynników pobocznych został wprowadzony do matematycznego modelu zadania – funkcji lub funkcjonu celu poprzez zastosowanie stosowanych wag i mnożników Lagrange'a.

Podstawione zadanie dzieli się na kilka etapów: identyfikację układu (oszacowanie struktury układu, oraz statystycznych parametrów zmiennych wejściowych), estymację (dobór modelu analitycznego stanów rzeczywistych), redukcja modelu (szacowanie korelacji zmiennych oraz wybór zmiennych sprawczych- istotnych) i dobór modeli sterowania obiektem

Zadanie jest zidentyfikowane jako stochastyczne, więc istotne jest również identyfikacja niezawodnościowa układu.

Zadanie wstępne: identyfikacja struktury układu oraz zebranie danych statystycznych o elementach systemu, w tym o parametrach analizowanych procesów stochastycznych powinno polegać na szczegółowej analizie obiektów zrealizowanych, stąd waga przedstawienia dokonanego w pkt. 3.

W niniejszej pracy nie analizuje się szczegółowo wymienionych zagadnień

#### **4.2. Optymalizacja budownictwa zrównoważonego jako zadanie stochastyczne**

Zauważmy najpierw, że wszystkie zmienne występujące w fundamentalnym zadaniu optymalizacji budownictwa zrównoważonego (pkt 2) są zmiennymi losowymi. Zadanie optymalizacji energii (analog metody LCC) lub kosztów (analog metody LCC), jest, więc zadaniem optymalizacji stochastycznej. Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji są szeroko opisane w literaturze. Są to konwencjonalne, klasyczne metody optymalizacji oraz stosunkowo nowe, metody optymalizacji globalnej (np.[11]).

W metodach optymalizacji globalnej obliczane są wartości funkcji celu dla pewnego zestawu statystycznie wybranych punktów, przy czym konkretny problem może wymagać specyficznej strategii doboru zestawu punktów. Skuteczność konkretnej metody zależy od właściwości danej funkcji celu, dlatego nie można mówić o metodach globalnej optymalizacji ogólnego zastosowania. Fundamentalne zadanie optymalizacji budownictwa zrównoważonego jest rozmyte (niezdeteminowane) samo w sobie, np. nie jest znany okres czasu życia obiektu, więc właściwymi metodami stochastycznej optymalizacji wydają się metody genetyczne, podlegające procesowi samouczenia się (metody adaptacyjne) [5].

Zastosowanie sieci neuronowych w dziedzinie pokrewnej do architektury i budownictwa w zadaniach mechaniki konstrukcji rozwija Waszczyszyn i in (np. praca [18]).

W celu przystosowania algorytmów i programów komputerowych metod genetycznych, dla każdego indywidualnego zadania, należy określić następujące elementy: podstawową reprezentację potencjalnych rozwiązań; sposób tworzenia początkowej populacji metody adaptacyjnej; funkcję celu ze stosownymi mnożnikami Lagrange'a i/lub funkcje ograniczeń; podstawowe operatory genetyczne; i inne parametry, takie jak: prawdopodobieństwo zastosowania poszczególnych operatorów genetycznych.

W zadaniu optymalizacji stochastycznej, funkcja celu może być osiągnięta z zadany­m prawdopodobieństwem. Dlatego należy ustalić akceptowane poziomy niezawodności energetycznej i odpowiadające prawdopodobieństwa. Na dzień dzisiejszy brak jest prac na ten temat. Wymagane jest przeprowadzenie badań, analogiczne do tych, które doprowadziły do opracowania standardów określania niezawodności konstrukcji budowlanych [15], a które zostały wdrożone w podstawowej normie do projektowania konstrukcji (Eurokod 0). Wdrożono w niej trzy klasy niezawodności konstrukcji, stowarzyszone z konsekwencjami zniszczenia odpowiadającej klasy budynków (rolniczych, zwykłych, monumentalnych).

## 5. Uwagi i wnioski

W pracy przedstawiono aspekt energetyczny projektowania zrównoważonego w budownictwie i architekturze w kontekście wielokryterialnych metod oceny budynków

Z rozważań zamieszczonych w pracy, wynika, że we współczesnym świecie projektowanie budownictwa i architektury należy prowadzić w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Opinie, wskazujące na to, że takie podejście jest mitem i wynika raczej z mody, a nie z rzeczywistej potrzeby - powinny pozostać bez komentarza. W ślad za wagą problemu, jego analizy należy prowadzić poprawną metodologią, wytyczającą prawidłowy trend, uwzględniającą wszystkie istotne czynniki i wiarygodną na akceptowalnym poziomie ufności.

Zaproponowano metodę optymalizacji projektowania zrównoważonego uogólnioną na losowe warunki rzeczywiste. Pokazano, że zadanie projektowania, certyfikacji oraz optymalizacji budownictwa i architektury zrównoważonej jest zadaniem stochastycznym. Zalecono stosowanie metod genetycznych ze szczególnym uwzględnieniem sieci neuronowych.

Ponieważ współczesne programy komputerowe analiz zapotrzebowania na energię, planowania i kosztów prowadzone są w warunkach zdeterminowanych, więc zachodzi pilna potrzeba rozbudowy tych programów na warunki losowe i operowanie językiem niezawodności energetycznej. W celu wdrożenia podejścia stochastycznego należy zbudować bazę danych, zrealizowanych budynków pasywnych i energooszczędnych. W niniejszej pracy opisano kilka polskich budynków certyfikowanych według uznanych światowych standardów.

Proponowana stochastyczna metoda certyfikacji i optymalizacji może w sposób naturalny usunąć wady metody LCA, polegające na trudności w przyporządkowaniu dobrze określonej miary liczbowej do ważnych efektów. Należy wprowadzić losowe zmienne dyskretne oraz symboliczne, umożliwiające słowny opis efektu i operowanie przedziałami wartości.

Wymagane jest opracowanie i wdrożenie systemu definicji, kryteriów i procedur niezawodności energetycznej budynków, a w dalszej kolejności niezawodności zrównoważonej. Potrzeba podejścia stochastycznego do problemu projektowania zrównoważonego nie jest mitem, z pełną analogią do pytania zawartego w tytule pracy odnośnie podejścia deterministycznego.

## Literatura

1. Biuletyn Polskiego Towarzystwa Certyfikacji Energii. Nr 3 (str.1-2). Poznań, wrzesień 2005.
2. Chodor L., *Architektura zielona, zrównoważona*, πWiki Encyklopedia Architekta i Inżyniera [<http://chodor-projekt.net/wiki/zielona-architektura/> dostępne 20 maj 2015]
3. Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków Dz. Urz. UE L 153/13 z dnia 18.06.2010
4. Hagan S., *Taking Shape. A new contract between architecture and nature*, Architectural Press, 2001
5. Haykin S.S., *Neural Networks and Learning Machines*, Prentice Hall, 2009

6. Kamionka L., *Standardy architektury zrównoważonej jako istotny czynnik miasta oszczędnego na przykładzie wybranych programów certyfikacyjnych*, Ogólnopolska Konferencja Naukowa Instytutu Projektowania Urbanistycznego, Miasto Oszczędne, Kraków 28-29.05.2010, Czasopismo Techniczne. Architektura, 6-A/2010, s. 27-38
7. Kamionka L., *Architekt jako kreator i koordynator procesu projektowania architektury zrównoważonej - synergia projektowa*, Czasopismo Techniczne. Architektura, R. 107, z. 7-A/2, 2010, s. 152-157
8. Kamionka L., *Zagadnienia oceny i certyfikacji obiektów architektury zrównoważonej*, Kwartalnik Architektura i Urbanistyka. Polska Akademia Nauk. Zeszyt 3/2011.
9. Kamionka L., *Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny*, Monografie, Studia, Rozprawy M30. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2012.
10. Pettersen T., D., (Ed.), *Sustainable building 2002*, 3-rd Internationale Conference on Sustainable Building, 23-25 September 2002, Oslo, EcoBuild 2002
11. Pinter D.J.,(Ed.), *Global Optimization. Scientific and Engineering Case Studies*, Springer, 2006
12. PKN-CEN/TR 1516: 2009, *Raport techniczny: Wyjaśnienie ogólnych powiązań różnych Norm Europejskich z dyrektywą EPBD, Dokument „Umbrella”*
13. PN-EN ISO 14040 do 43: 2000, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia*
14. PN-EN 15217:2008, *Charakterystyka energetyczna budynków. Metody wyrażania charakterystyki energetycznej i certyfikacji energetycznej budynków.*
15. PN-ISO 2394:2000 *Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych*
16. Rezolucja legislacyjna Parlamentu Europejskiego w sprawie zmienionej strategii zrównoważonego rozwoju. Dz. Urz. UE 300E P6 TA (2006/0272 z dnia 15.06.2006). Building, 23-25 September 2002, Oslo. EcoBuild 2002.
17. Richter E., Nowak K., Krauze H., Nowak H.A.: *Modernizacja budynków mieszkalnych w Niemczech*. Warszawa. Instytut Techniki Budowlanej, 2001.
18. Stang A., Hawthorne C., *The Green House. The New Directions in Sustainable Architecture greenhouse*, Princeton Architectural Press, New York, The National Building Museum Washington, D.C., 2005
19. Waszczyszyn Z., Pabisek E., Miller B., Kaliszuk J., *Sieci neuronowe w mechanice konstrukcji metalowych: nowa dojrzała metoda obliczeniowa*, W: Chodor L. (Red.) *Zwięzłe Referaty, Konferencja Naukowo-Techniczna ZK20914, Konstrukcje metalowe*, Kielce-Suchedniów 2-4 lipca 2014, s. 75-78
20. Wines J., *Zielona Architektura*, Taschen 2008

## Sustainable design. Myth or necessity?

Lucjan Kamionka<sup>1</sup> Leszek Chodor<sup>2</sup>,

*Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology*

<sup>1</sup> e-mail: <sup>1</sup> luckam@tu.kielce.pl, <sup>2</sup> lchodor@tu.kielce.pl

**Abstract:** The paper discusses the issue of sustainable design as multi-criteria optimization task of the construction process throughout the building life cycle. It analyzes the most important worldwide method of building certification and presents examples of buildings certified in Poland. It is shown that optimizing sustainable construction and architecture is the task of stochastic optimization, in which energy consumed by the building is being analyzed, cumulated within the life cycle, with secondary restrictions related to economic, ecological and eco-social conditions.

**Keywords:** Sustainable design, multi-criteria certification methods, stochastic optimization in sustainable architecture, genetic algorithms