



Mirosław Broniewicz

OCENA CYKLU ŻYCIA OBIEKTU BUDOWLANEGO W RAMACH PROGRAMU BADAWCZEGO UNII EUROPEJSKIEJ COST 25

Mirosław Broniewicz, dr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45 E
e-mail: mirbron@gmail.com

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A CONSTRUCTION OBJECT WITHIN THE EU RESEARCH PROGRAM COST25

SUMMARY: The concept of sustainable constructions aims at integrating the objective of sustainable development into the construction activities. It is generally understood in relation with the environmental performance of building products and technologies. According to the report by the EU's Taskforce for Sustainable construction, the concept should refer to a balanced economical, ecological and social approach. When sustainability is considered needs to integrated approach are recognized not only in the building and construction projects, but also in education, applied sciences and product development.

The Cost 25 Action is focused on an integrated approach to deal with the end products of construction and engineering methods from structural point of view. It aims at providing the construction sector with a new framework and ideas based on the integrations of approaches and results of ongoing research and development projects.

KEY WORDS: COST – European Cooperation In Science and Technology, sustainable construction, life cycle assessment, energy efficiency, structural lifetime.

Wstęp

Europejski Program Współpracy w dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych COST (*European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research*), jest międzyrządowym europejskim programem badawczym w dziedzinie nauki i technologii, mającym na celu koordynację badań naukowych finansowanych ze środków krajowych na poziomie europejskim. Jest to utrzymywana wspólnie przez 35 państw europejskich¹ i Izrael (jako państwo współpracujące) struktura instytucjonalna, której najważniejszym zadaniem jest organizowanie multilateralnej współpracy naukowo-technicznej krajów członkowskich. Głównym zadaniem programu badawczego COST jest zmniejszenie fragmentaryzacji europejskiego systemu finansowania nauki i badań oraz otwarcie Europejskiej Przestrzeni Badawczej (ERA) na współpracę z ośrodkami pozaeuropejskimi.

Celem podstawowym tego programu jest zapewnienie Wspólnocie Europejskiej silnej pozycji w dziedzinie badań naukowych poprzez zwiększenie współpracy między instytucjami badawczymi, szkołami wyższymi, instytucjami i przedsiębiorstwami. Wraz z programem EUREKA i innymi europejskimi ramowymi programami badawczymi, program ten jest jednym z trzech filarów wspólnych europejskich przedsięwzięć badawczych, zajmujących się różnymi obszarami badań.

Od roku 1971, czyli początku funkcjonowania, program badawczy COST odegrał istotną rolę w obszarze badań podstawowych, ukazując swoją przydatność we współpracy przy przygotowaniu wspólnych norm europejskich czy organizacji prac badawczych, stanowiąc pomost pomiędzy badaniami podstawowymi a pracami rozwojowymi (*precompetitive research*), przy czym dużą wagę przywiązuje się do projektów zorientowanych na potrzeby społeczeństw.

W programie COST obowiązują cztery podstawowe zasady:

- otwartość – każdy kraj członkowski COST, jak również Komisja Europejska, może zainicjować wspólną realizację nowego projektu, zwanego Akcją;
- elastyczność – przystąpienie kraju do udziału w konkretnej Akcji jest dobrowolne i zależy jedynie od narodowych priorytetów badawczych;
- zdecentralizowane finansowanie – koszty wszystkich prac badawczych ponoszone są bezpośrednio przez kraje prowadzące badania;
- wspólna koordynacja – realizacja krajowych projektów badawczych jest wspólnie koordynowana na szczeblu europejskim.

W artykule, na przykładzie programu COST C25, omówiono zasady funkcjonowania europejskich programów naukowych, ich rodzaje oraz sposoby inicjowania i prowadzenia wspólnych prac naukowo-badawczych w obszarze Unii Europejskiej.

¹ Austria, Belgia, Bośnia i Hercegowina, Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Węgry, Islandia, Irlandia, Włochy, Łotwa, Litwa, Luksemburg, Malta, Holandia, Norwegia, Polska, Portugalia, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Wielka Brytania, Serbia, Macedonia.

1. Obszary działania COST-u

Jako prekursor nowoczesnych interdyscyplinarnych badań, COST odgrywa bardzo ważną rolę w budowaniu Europejskiej Przestrzeni Badawczej. Uzupełniając działania Programów Ramowych UE, stanowi „pomost” dla powstania społeczności naukowych w rozwijających się krajach europejskich. Elastyczna i pragmatyczna formuła programu (pozwalająca na inicjowanie projektów przez samych naukowców, a następnie włączanie się w nie tylko zainteresowanych krajów), sprawiła, że liczne Akcje COST pomogły wytyczyć drogę wielu ważnym programom wspólnotowym. Mimo znacznej ekspansji programów Unii Europejskiej, COST ciągle odgrywa ważną rolę w promowaniu rozwoju współpracy naukowo-technicznej w Europie – przyczynia się do zwiększania synergii i tworzenia sieci, jak również pomaga w rozwoju integracji europejskiej. Program COST zwiększa mobilność naukowców w obszarze europejskim sprzyjając rozwojowi wiedzy w dziewięciu podstawowych dziedzinach badawczych. Są to:

- Biomedycyna i biologia molekularna.
- Żywność i agrokultura.
- Las i jego produkty.
- Materiały fizyczne i nanonauki.
- Chemia, nauki i technologie molekularne.
- Nauki o Ziemi i zarządzanie środowiskiem.
- Informacja i technologie komunikacyjne.
- Transport i rozwój miast.
- Jednostki, społeczeństwa, kultura i zdrowie.

Program COST nie finansuje badań naukowych, lecz stanowi platformę dla naukowców europejskich w zakresie czy to konkretnych projektów, czy też wymiany wiedzy. Każda Akcja COST-u jest siecią wzajemnie powiązanych badań naukowych w dziedzinie naukowej będącej przedmiotem zainteresowania co najmniej pięciu krajów członkowskich UE. Jego rola sprowadza się do finansowania takich wspólnych działań, jak konferencje naukowe, krótkoterminowe wymiany, warsztaty czy publikacje. Każda Akcja COST-u musi mieć jasno zdefiniowany cel, zakres oraz spodziewane rezultaty i być zlokalizowana w jednym z dziewięciu głównych obszarów badawczych. Jedną z charakterystycznych cech programu COST jest jego elastyczność, pozwalająca grupie naukowców łatwo wprowadzić oraz zarządzać zaproponowaną akcją badawczą. Muszą oni na początku przesłać krótki wniosek do biura programu, a po jego zaakceptowaniu, wnioskodawcy zapraszani są do złożenia pełnego wniosku opisującego zakres i rodzaje działań oraz przewidywane rezultaty. Pełny wniosek jest ponownie poddawany procedurze aplikacyjnej.

Dokumentem stanowiącym podstawę każdej Akcji jest jej wstępny projekt, nazwany w skrócie MoU (*Memorandum of Understanding*), wyjaśniający motywację zainicjowania Akcji, jej cele i założenia oraz oczekiwane rezultaty.²

² COST Action C25, *Sustainability of Constructions. Integrated Approach to Life-time structural engineering. Memorandum of Understanding*, European Science Foundation COST Office, Brussels 2006.

Dokument ten musi spełnić wymagania formalne oraz kryteria jakościowe i powinien być zaakceptowany przez *Committee of Senior Officials* (CSO). Akcja jest uruchamiana, gdy co najmniej pięć państw członkowskich COST zaakceptuje zatwierdzony MoU i zaczyna się od pierwszego posiedzenia Komitetu Zarządzającego Akcją. Akcja jest powoływana średnio na 4 lata.

2. Geneza zainicjowania Akcji COST C25 Sustainability of construction

Jednym z obszarów badawczych programu jest Transport i rozwój miast. (*Transport and Urban Development – TUD*). W jego ramach została powołana Akcja C25 „Rozwój zrównoważony w budownictwie. Zintegrowane podejście do trwałości konstrukcji budowlanych” (*Sustainability of Constructions: Integrated Approach to Life-time Structural Engineering*). Ma ona na celu promocję i rozwój wiedzy naukowej dotyczącej nowoczesnych metod oceny trwałości obiektów budowlanych uwzględniających cele i zasady rozwoju zrównoważonego. Skupia się ona na zintegrowanym podejściu do oceny produktu budowlanego, ukierunkowanym na taki rozwój inżynierii budowlanej, który uwzględniałby oddziaływanie budowli na środowisko przyrodnicze, społeczne oraz ekonomiczne.

Pierwsze kroki służące przeprowadzeniu oceny oddziaływania produktu, w tym obiektu budowlanego, na środowisko były podjęte pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku. Pierwotny wzór metody oceny cyklu życia produktu (LCA) powstał na początku lat siedemdziesiątych, chociaż jego praktyczne zastosowanie znalazło miejsce dopiero w latach dziewięćdziesiątych. Potrzeba ujednoczenia otrzymywanych rezultatów oddziaływania produktu na środowisko została dostrzeżona wówczas, gdy wyniki otrzymane z ocen LCA podobnych produktów różniły się między sobą.

Istnieje kilka przyczyn powstania metody LCA. Pierwszą z nich była konieczność przeprowadzenia takich badań, które zoptymalizowałyby zużycie energii w przedsiębiorstwach o dużej energochłonności operacji technologicznych.

Następną przyczyną było rozszerzenie zakresu badań o zużycie innych surowców energetycznych pochodzących z nieodnawialnych zasobów naturalnych, i wreszcie trzecią, była konieczność oceny nie tylko kosztów środowiskowych związanych z ilością konsumowanych surowców energetycznych, lecz także kosztów środowiskowych związanych z powstającymi w procesie produkcji odpadami i zanieczyszczeniami. Pierwsze wielokryterialne badania kosztów środowiskowych zostały przeprowadzone przez H. E. Teastleya w 1969 roku w firmie Coca-Cola. Skupiały się one wokół trzech głównych zagadnień. Były to:

- wybór rodzaju produkowanych butelek – plastikowa lub szklana;
- wybór miejsca produkcji opakowań – produkcja własna lub zlecona na zewnątrz;
- wybór sposobu postępowania z użytymi opakowaniami – recykling lub składowanie w postaci odpadów.

W badaniach uwzględniono wszystkie rodzaje oddziaływań środowiskowych, od wydobycia surowców do produkcji opakowań po unieszkodliwienie odpadów. Badania, wbrew powszechnym oczekiwaniom wykazały przewagę opakowań plastikowych nad szklanymi. Badania te nigdy nie zostały opublikowane w pełnej wersji. Jedynie streszczenie ich opisu ukazało się w „Science Magazine” w 1976 roku³.

Do rozwoju metody oceny cyklu życia LCA przyczyniły się:

- publikacja szwajcarskiego laboratorium do spraw testowania materiałów i badań EMPA na temat ekologiczności materiałów opakowaniowych – 1984 rok;
- pierwsze prace SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) dotyczące oceny kosztów środowiskowych produktów sektora chemicznego – 1991 rok;
- pierwsze europejskie oznaczenie ekologiczności produktu (*Eco-label*) – marzec 1992;
- utworzenie SPOLD (*Society for the Promotion of Life Cycle Development*) – czerwiec 1992;
- wprowadzenie we Francji pierwszej europejskiej normy dotyczącej oceny cyklu życia produktu (norma NF X30-300) – 1996 rok;
- powstanie serii międzynarodowych norm ISO 14040, 41, 42, 43, dotyczących trzech etapów metody LCA – lata 1997-2001;
- powstanie kolejnych norm ISO 14020, 48, 49, dotyczących deklaracji środowiskowych oraz metod postępowania – lata 1999-2001.

Obecnie powstaje coraz większa liczba dokumentów normalizacyjnych oraz wytycznych postępowania przy stosowaniu metod LCA. Najważniejszymi z nich są:

- opracowanie norm wprowadzających trzy rodzaje oznaczeń ekologicznych (*Eco-label I* – ISO 14024, *Eco-label II* – ISO 14021, *Eco-label III* – ISO 14025);
- wprowadzenie Deklaracji Środowiskowej Produktu (EPD) opartych na ocenie cyklu życia, dotyczących efektywności ekologicznej produktów i usług;
- prace nad Zintegrowaną Polityką Produktową (IPP) jako działaniami zmierzającymi do stymulowania ciągłego doskonalenia produktów w zakresie ochrony środowiska przez cały cykl ich życia.

3. Sposoby oraz obszar działania Akcji C25

W Akcji C25 uczestniczą eksperci delegowani przez poszczególne kraje, reprezentujący szeroki zakres dyscyplin naukowych związanych z budownictwem. W ramach Akcji odbywały się:

- spotkania powołanych grup roboczych; ich głównym zadaniem jest przedstawienie i analiza dotychczasowych dokonań w danej dziedzinie wiedzy („*state of the art*”);

³ „Science Magazine” 1976, Vol. 192, p. 7-75.

- krótkoterminowe misje naukowe organizowane dla wymiany poglądów, przedstawienia wyników prowadzonych badań oraz rozwoju kontaktów między uczestnikami programu badawczego;
- warsztaty naukowe prowadzone przez zaproszonych gości – ekspertów powołanych do oceny dotychczasowych wyników prac badawczych, ukierunkowane na podsumowanie dotychczasowego etapu oraz propozycję dalszych badań;
- konferencje naukowe, w tym konferencja końcowa, której celem jest zaprezentowanie wyników przeprowadzonych badań oraz propozycji odnośnie potrzeby kontynuacji badań lub zainicjowania nowych akcji badawczych.

Zgodnie z Programem Naukowym Akcji powołano trzy Grupy Robocze (*Working Groups*) – WG1, WG2 i WG3. Obszarami badań naukowych grup roboczych były:

- WG1 – kryteria oceny obiektów budowlanych w świetle zasad zrównoważonego rozwoju (ogólna metodologia, metody oceny, modele analizy i bazy danych);
- WG2 – efektywność (efektywne wykorzystanie surowców naturalnych w budownictwie – materiały, produkty, procesy budowlane);
- WG3 – projektowanie obiektów budowlanych z uwzględnieniem trwałości konstrukcji (zwiększenie uniwersalności obiektów budowlanych, projektowanie budowli o niskich kosztach eksploatacji, nie obciążających środowiska).

Głównymi zagadnieniami podejmowanymi w trakcie przebiegu Akcji badawczej były:

1. Metodologia prowadzenia badań nad wdrożeniem zrównoważonego rozwoju w budownictwie.
2. Analiza porównawcza systemów oceny ekologiczności obiektu.
3. Analiza multikryterialna procesu budowlanego pod względem jego oddziaływań.
4. Przedstawienie stanu wiedzy dotyczącego oceny cyklu życia obiektu budowlanego.
5. Bazy danych o wyrobach i technologiach budowlanych.
6. Normalizacja ISO oraz CEN w dziedzinie budownictwa zrównoważonego.
7. Projektowanie przestrzenne oparte o zasady zrównoważonego rozwoju.

4. Analiza cyklu życia obiektu budowlanego

Jednym ze szczegółowych zagadnień analizowanych w ramach projektu badawczego COST C25 było zastosowanie analizy cyklu życia do oceny ekologiczności obiektu budowlanego.

Najbardziej powszechnie akceptowany model metody analizy cyklu życia przedstawiono w normach PN-EN-ISO 14040 do 14043. Składa się on z kilku etapów:⁴

⁴ *Life cycle assessment (LCA), An operational guide to The ISO standards*, Centre of Environmental Science Leiden University, CML 2001.

- określenie celu i zakresu przeprowadzanej analizy (zakres i cel stosowania LCA, sposób interpretacji wyników oraz grono odbiorców, granice stosowania metody, sposoby szacowania, dane niezbędne do wykonania analizy, stosowane jednostki, założenia metody i jej ograniczenia);
- analiza zbioru wejść i wyjść (strumienie wejściowe systemu produktu, przykładowo: energia, surowce, wyroby, strumienie wyjściowe – emisje do powietrza, wody, gleby, inne aspekty środowiskowe);
- ocena wpływu (kategorie wpływów oraz ich wskaźniki, podział strumieni wejściowych na kategorie wpływów, charakterystyka danych wejścia/wyjścia w ramach każdej kategorii, usystematyzowanie danych, ich grupowanie oraz określenie ich wag);
- interpretacja wyników (obserwacja wyników analizy, identyfikacja korzyści, porównanie z procesami alternatywnymi).

Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI) przedstawia długą listę wielkości wszystkich zasobów naturalnych konsumowanych w trakcie cyklu życia produktu oraz wielkości emisji do środowiska powstających na różnych etapach całego cyklu życia produktu. Rezultat analizy LCI zależy od rodzaju i wielkości zasobów naturalnych (włącznie z paliwami kopalnymi) i innych materiałów użytych podczas produkcji wyrobów, rodzaju i odległości używanych środków transportu, sposobu wykorzystania produktu i okresu jego eksploatacji, a także sposobu utylizacji produktu. Te czynniki zmieniają się w zależności od kraju lub regionu i są zależne od dostępności do wymaganych zasobów naturalnych, zastosowanych technologii oraz tego, czy półprodukty wykorzystywane w procesie produkcyjnym są dostępne na rynku lokalnym czy muszą być importowane. Wynikiem przeprowadzenia analizy LCI jest długa lista wielkości zasobów wykorzystywanych w procesie produkcyjnym oraz zanieczyszczeń powstających podczas cyklu życia produktu. Zbyt długa lista aspektów środowiskowych jest trudna do interpretacji.

Kategoryzacja to ocena, w trakcie której dokonuje się przekształcenia czynników oddziałujących na cykl życia produktu (na przykład zużywanych zasobów i wielkości emisji), na poszczególne kategorie wpływu. Wśród zdefiniowanych kategorii wpływu produktu na środowisko można wyróżnić: zubożenie przyrody nieożywionej, zakwaszenie ziemi, zanieczyszczenie zasobów wody pitnej, globalne ocieplenie, zmniejszenie grubości warstwy ozonowej. Następnie wybierany jest wskaźnik kategorii, czyli wielkość mierzalna (na przykład w przypadku emisji metanu określana jest ilość emitowanego dwutlenku wpływającego na ocieplenie klimatu) oraz model charakteryzujący daną kategorię, umożliwiający ocenę szkodliwości danej kategorii na środowisko.

Na tym etapie klasyfikacji następuje przypisanie strumieni wejścia lub wyjścia do poszczególnych kategorii wpływu. Na przykład, wydobywanie rud żelaza do produkcji stali przypisuje się do kategorii wpływu „zubożenie przyrody nieożywionej”, a emisje gazów zawierających NO_x i SO_x do kategorii „zakwaszenie gleby”.

Charakteryzacja obejmuje obliczenie wartości wskaźnika kategorii, czyli parametru, za pomocą którego można przekształcić elementy zbioru wejść/wyjść w cyklu życia na jednostki ogólnie mierzalne oraz połączenie wyników analizy elementów składowych zbioru w jeden wskaźnik. W przypadku kategorii

wpływu „zakwaszenie gleby” wskaźnikiem kategorii jest zawartość tlenków siarki i azotu wyrażona w jednostkach masy. Te szkodliwe substancje powstają zarówno w procesie wydobywania i transportu rudy żelaza (spalanie paliw), wytopu stali czy produkcji niezbędnej energii elektrycznej. W każdym z tych etapów cyklu życia produktu należy określić emisję związków NO_x i SO_x , a następnie je zsumować określając ogólną wartość wskaźnika kategorii wpływu.

Dodatkowymi opcjonalnymi elementami analizy cyklu życia są normalizacja, grupowanie i ważenie. Celem normalizacji jest odniesienie otrzymanej wartości wskaźnika do wartości globalnej dla danego obszaru. Czynność ta pozwala ocenić wiarygodność otrzymanej wartości oraz dostarcza informacji o znaczeniu wartości wskaźnika. Grupowanie polega na przypisaniu kategorii wpływu do jednego lub więcej zbiorów. Mogą to być zbiory otrzymane przez sortowanie kategorii wpływu opierając się na wybranej skali lub hierarchizację kategorii w określonej skali wartości. Ważenie kategorii odbywa się przez przekształcenie wartości wskaźników różnych kategorii według określonej zależności wspólnej dla wszystkich wskaźników. Ważenie umożliwia bezpośrednie porównanie wskaźników różnych kategorii wpływu w celu, na przykład ustanowienia rankingu kategorii lub podjęcia decyzji.

5. Wskaźniki budownictwa zrównoważonego

Do oceny stopnia oddziaływania na środowisko obiektu budowlanego wykorzystuje się szereg wskaźników oceny środowiska zewnętrznego. Wskaźniki te służą ocenie⁵:

- Uszczuplenia zasobów naturalnych:
 - nieodnawialnych źródeł energii w procesach związanych z: wytworzeniem elementów konstrukcji obiektu, materiałów budowlanych oraz elementów lub materiałów wykorzystywanych do konserwacji i naprawy obiektu w okresie jego eksploatacji;
 - nieodnawialnych źródeł energii związanych eksploatacją obiektu obejmującą takie procesy, jak:
 - ogrzewanie, klimatyzacja oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej,
 - oświetlenie obiektu oraz zasilanie urządzeń integralnie związanych z jego funkcjonowaniem (na przykład instalacja alarmowa),
 - użytkowanie urządzeń elektrycznych będących na wyposażeniu gospodarstw domowych,
 - zasilanie urządzeń związanych z przygotowaniem oraz dostarczeniem wody pitnej i odprowadzeniem (neutralizacją) ścieków,
 - zagospodarowanie odpadów stałych,
 - rozbiórkę lub demontaż elementów składowych budynku,

⁵ Agenda 2001, *An agenda for sustainable construction in Europe. A report drawn up by the Working Group for Sustainable Construction with participants from the European Commission, Member States of Industry*, 2001.

- transport związany z eksploatacją budynku,
- nieodnawialnych zasobów naturalnych związanych z wytworzeniem materiałów i elementów składowych konstrukcji obiektu, ich utrzymaniem oraz naprawą;
- powierzchni terenu cennego ze względów rolniczych lub ekologicznych;
- wody pitnej na potrzeby życiowe mieszkańców budynku, związanej utrzymaniem obiektu w stanie czystości, podlewaniem czy wykorzystywanej przez urządzenia gospodarstwa domowego;
- Emisji do powietrza:
 - emisji gazów cieplarnianych (GHG) związana z wydatkowaniem energii zawartej w materiałach konstrukcyjnych (*embodied energy*) oraz wykorzystanej do utrzymania i naprawy tych elementów w okresie eksploatacji obiektu;
 - corocznej emisji gazów cieplarnianych spowodowanej:
 - oświetleniem, ogrzewaniem oraz wentylacją pomieszczeń,
 - eksploatacją urządzeń gospodarstwa domowego,
 - eksploatacją oraz naprawą urządzeń dostarczających wodę oraz usuwających ścieki,
 - usuwaniem odpadów stałych,
 - rozbiórką oraz demontażem,
 - wykorzystaniem środków transportowych związanym z eksploatacją obiektu;
 - emisji substancji powodujących dziurę ozonową (freonu 12, fluoropochodnych metanu i etanu);
 - emisji substancji powodujących powstanie kwaśnych deszczów (dwutlenku siarki, tlenków azotu, siarkowodoru);
 - emisji substancji pyłowych oraz szkodliwych dla otoczenia (pyłu, substancji smołowych z dymów i spalin);
 - emisji substancji powodujących powstanie smogu fotochemicznego (tlenków azotu i węglowodorów ulegających przemianie fotochemicznej w wyniku silnego nasłonecznienia i braku ruchu powietrza);
 - emisji substancji promieniotwórczych spowodowana użytkowaniem gazu ziemnego w gospodarstwach domowych.
- Emisji do ziemi i wody:
 - odpadów stałych będące rezultatem procesu budowlanego oraz związanych z demontażem lub rozbiórką obiektu (gruz betonowy, ceglany, zanieczyszczona ziemia);
 - odpadów eksploatacyjnych (komunalnych);
 - odpadów budowlanych niebezpiecznych lub zanieczyszczonych substancjami niebezpiecznymi (zwierające PCB, azbestowe, smarowe, rozpuszczalniki, kleje);
 - ścieków bytowo-gospodarczych odprowadzanych do oczyszczalni;
 - ścieków komunalnych odprowadzanych do zbiorników i powodujących ich eutrofizację.

- Aspektów środowiskowych:
 - zmiany krajobrazu w otoczeniu budynku spowodowane prowadzonym procesem inwestycyjnym;
 - oddziaływanie na bioróżnorodność środowiska naturalnego w otoczeniu budynku.

Podstawowe oddziaływania środowiskowe powstałe w okresie cyklu życia obiektu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Aspekty oddziaływań w metodzie LCA w budownictwie

Aspekt środowiskowy	Aspekt społeczny	Aspekt ekonomiczny
Zmiana klimatu ^a	Komfort hydrotermalny	Koszty cyklu życia
Globalne ocieplenie ^b [ekwiwalenty dwutlenku węgla CO ₂ /kg emisji]	Wilgotność względna [%]	Koszt wykonania obiektu [PLN]
Emisje do powietrza wody i gleby	Zimowa sprawność cieplna [%]	Koszty konserwacji [PLN]
Niszczenie warstwy ozonowej [ekwiwalenty trichlorofluorometanu -CFC-11/kg emisji]	Letnia sprawność cieplna [%]	Koszty eksploatacji [PLN]
Zakwaszenie gleby [ekwiwalenty dwutlenku siarki SO ₂ /kg emisji]	Jakość powietrza wewnętrznego	Koszty rozbiórki [PLN]
Eutrofizacja gleby [ekwiwalenty fosforanu – PO ₄ /kg emisji]	Zawartość cząstek stałych [mg/m ³]	Wartość rezydualna [PLN]
Smog ozonowy [ekwiwalenty etanu – C ₂ H ₆ /kg emisji]	Tlenek węgla [mg/m ³]	
Odpady toksyczne do ziemi [m ³ gleby/g emisji]	Dwutlenek węgla [mg/m ³]	
Odpady toksyczne do wody [m ³ wody/g emisji]	Ozon [mg/m ³]	
Odpady toksyczne do powietrza [m ³ powietrza/g emisji]	Formaldehyd [mg/m ³]	
Gospodarka wodna	Organiczne cząstki lotne [mg/m ³]	
Zużycie wody pitnej [m ³]	Komfort akustyczny	
Wykorzystanie wody deszczowej [m ³]	Izolacja od dźwięków powietrznych [dB]	
Uszczupienie zasobów naturalnych	Izolacja od dźwięków uderzeniowych [dB]	
Zużycie łądu [m ²]	Czas echa [ms]	
Uszczupienie zasobów mineralnych [kg, m ³]	Wygoda widzenia	
Zużycie paliw kopalnych [kg, m ³]	Wykorzystanie światła naturalnego [luks]	
	Natężenie oświetlenia [luks]	

^a – wskaźnik, ^b – parametr, (jednostka opisowa parametru)

Źródło: opracowanie własne.

5. Zintegrowany proces projektowania obiektów budowlanych

Zintegrowany proces projektowania obiektów budowlanych jest metodą pozwalającą na identyfikację oraz uwzględnienie już na etapie wstępnego projektowania inwestycji wszelkich procesów mających negatywny wpływ na środowisko. Proces taki składa się z wielu etapów, które można pogrupować w następujące fazy⁶:

- faza ustaleń wstępnych;
- faza opracowania koncepcji architektonicznej obiektu budowlanego;
- faza wyboru wariantu do dalszej analizy;
- analiza wybranej koncepcji;
- wybranie finalnej koncepcji do szczegółowego opracowania;
- przygotowanie projektu technicznego;
- przygotowanie oferty i negocjacje;
- realizacja obiektu;
- eksploatacja obiektu.

Faza wstępna obejmuje wybór uczestników procesu i uformowanie się multi-dyscyplinarnego zespołu projektowego, który pozwoli na opracowanie koncepcji budynku w pełni odpowiadającego wymogom zrównoważonego rozwoju. W skład tego zespołu powinni wejść: inwestor, specjalista od spraw marketingu, specjalista od spraw zarządzania, architekt, projektant konstrukcji, inżynier geotechnik, projektant instalacji sanitarnych, projektant instalacji elektrycznych, inżynier mechanik – specjalista od spraw wewnętrznych instalacji mechanicznych, inżynier akustyk specjalista od spraw oświetlenia, architekt krajobrazu, architekt wnętrz, specjalista od spraw budownictwa zrównoważonego oraz ekonomista. Nad pracą zespołu powinien czuwać kierownik zespołu projektowego, mający szeroką wiedzę na temat procesu inwestycyjnego, którego głównym celem powinna być organizacja prac zespołu. Powinna to być także osoba umiejąca wyjaśnić inwestorowi lub klientowi wszelkie aspekty podejmowanych decyzji projektowych, która byłaby naturalnym łącznikiem pomiędzy zespołem projektowym a inwestorem lub osobą zamawiającą projekt. Przy tworzeniu zespołu projektowego należy się upewnić, czy wybrane osoby posiadają odpowiednie doświadczenie związane z projektowaniem obiektów budowlanych opartych na zasadach zrównoważonego rozwoju oraz czy w skład zespołu wchodzi minimum jedna osoba umiejąca dokonać analizy energetycznej obiektu.

Kolejną istotną częścią fazy przedprojektowej jest zebranie informacji dotyczących miejsca realizacji inwestycji. Należy uwzględnić dostępność do środków transportu publicznego, sprawdzić, czy teren przeznaczony pod budowę nie znajduje się na obszarach przyrodniczo cennych lub obszarach przeznaczonych pod gospodarkę rolną, ocenić istniejącą infrastrukturę pod względem przyszłej przydatności dla projektowanej inwestycji. Ponadto, w fazie tej ważne jest omówienie projektu z sąsiadującymi mieszkańcami i instytucjami oraz uwzględnienie ich

⁶ D. J. Balcomp, A. Curtner, *Multi criteria decision-making process for building*, Report AIM-2000-2898 related to Task 23 of International Energy Agency, Nevada 2000.

zaleceń. Trzeba się także zastanowić nad możliwością zmniejszenia powierzchni zabudowy lub kubatury obiektu.

Faza opracowania koncepcji architektonicznej składa się dwóch głównych części: wstępnej analizy energetycznej obiektu oraz wstępnego oszacowania wielkości eksploatacyjnych obiektu. Należy poprzez dobór odpowiedniej masy termicznej obiektu oraz jego orientację geograficzną dokonać oceny możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego oraz działania wiatru w celu redukcji zapotrzebowania energetycznego obiektu oraz zwiększenia jego pojemności cieplnej. Trzeba również wykonać ocenę możliwości wykorzystania oświetlenia naturalnego, zapewnienia jakości powietrza wewnętrznego oraz sposobu wentylacji pomieszczeń a także przeprowadzić szczegółową analizę energetyczną obiektu, analizę cyklu życia oraz analizę kosztów życia obiektu (LCC). Szczegółowo należy rozważyć⁷:

- możliwość ograniczenia poboru ciepła przez przegrody zewnętrzne poprzez odpowiednie ukształtowanie otoczenia lub jego zadrzewienie (w naszych warunkach klimatycznych głównie od strony wschodniej lub zachodniej obiektu);
- możliwość ograniczenia przepływu ciepła przez przegrody zewnętrzne przez właściwy dobór poszczególnych warstw przegrody oraz zapewnienie jej szczelności;
- rozmieszczenie otworów okiennych w przegrodach, które zapewni maksymalne wykorzystanie światła dziennego do doświetlenia pomieszczeń, nie powodując jednocześnie nadmiernego ich nagrzewania od promieni słonecznych oraz zapewniając wystarczającą izolację przeciwko utracie ciepła;
- zastosowanie zacieniających zewnętrznych elementów obudowy budynku;
- zastosowanie stropów akumulacyjnych o grubości warstwy betonu kumulacyjnego maksymalnie 100 mm, mogących gromadzić energię termiczną w porze dziennej i emitować ją w porze nocnej;
- dobór odpowiednich, energooszczędnych źródeł światła sztucznego oraz efektywnego systemu zarządzania oświetleniem obiektu;
- zastosowanie naturalnej lub sztucznej wentylacji;
- możliwość przygotowania ciepłej wody użytkowej przy wykorzystaniu paneli słonecznych.

Dogłębna analiza możliwości ułatwi wybór optymalnej koncepcji architektonicznej.

Podsumowanie

Analiza cyklu życia obiektu budowlanego jest pojęciem dużo szerszym niż analiza oddziaływania obiektu na środowisko. Całościowa ocena powinna uwzględniać nie tylko aspekt środowiskowy związany z uszczupleniem zasobów

⁷ J. A. Clarke, *Energy simulation in building design*. Butterworth-Heineman, Oxford 2001.

naturalnych środowiska oraz powstającymi emisjami do wody, powietrza i ziemi, lecz również aspekt ekonomiczny oraz społeczny całego cyklu życia obiektu budowlanego, zarówno podczas jego budowy, eksploatacji oraz rozbiórki i utylizacji odpadów. Podczas analizy wpływów środowiskowych budynku można się posłużyć narzędziami i bazami danych specjalnie opracowanymi w celu uwzględnienia wszystkich wpływów środowiskowych podczas całego cyklu życia obiektu. Pozwalają one już na etapie opracowywania koncepcji architektonicznej obiektu oszacować jego podstawowe cechy w aspekcie zrównoważonego rozwoju, jak trwałość, uniwersalność oraz wielkość oddziaływań środowiskowych. Trwałość obiektu budowlanego rozumiana jako czasookres jego eksploatacji nie jest łatwa do przewidzenia, ale analizując możliwe scenariusze eksploatacji obiektu można spróbować je urealnić.