U N I W E R S Y T E T Z I E L O N O G Ó R S K I
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Janusz Adamczyk

Wykorzystanie LCA (Life Cycle Assessment) do oceny środowiskowej budynku

P R A C A D O K T O R S K A

PROMOTOR:
dr hab. inż. Magdalena Graczyk, prof. UZ

Zielona Góra, 2005

Pani dr hab. inż. Magdalenie Graczyk, prof. UZ
składam serdeczne podziękowanie za cenne uwagi
i pomoc przy realizacji niniejszej pracy

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM 5

STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM.....6

WSTĘP 7

ROZDZIAŁ 1.
ROZWÓJ ZRÓWNOWAŻONY JAKO WYZNACZNIK DZIAŁALNOŚCI BUDOWLANEJ 10

1.1. Wpływ budownictwa na środowisko 10
1.2. Istota, cechy i uwarunkowania budownictwa zrównoważonego 13
1.3. Rozwój metod oceny oddziaływania budynku na środowisko 26
1.4. LCA jako metoda oceny oddziaływania budynku na środowisko i jej miejsce w standardach ISO 14000 29

ROZDZIAŁ 2.
CEL, ZAKRES I TEZY BADAWCZE PRACY.....33

ROZDZIAŁ 3.
METODYKA ŚRODOWISKOWEJ OCENY CYKLU ISTNIENIA W ODNIESIENIU DO OBIEKTÓW BUDOWLANYCH.....35

3.1. Założenia wstępne 35
3.2. Metodyka oceny cyklu istnienia budynku wg standardów serii ISO 140041-43..... 39
3.2.1. Definicja celu i zakresu LCA 39
3.2.2. Analiza zbioru wejść i wyjść.....41
3.2.3. Ocena wpływu cyklu istnienia 41
3.2.4. Interpretacja oceny cyklu istnienia 44
3.3. Obliczanie końcowej oceny cyklu istnienia z wykorzystaniem techniki komputerowej (program SimaPro 5.1).....46

ROZDZIAŁ 4 .
OPIS OBIEKTU BADAŃ 51

4.1. Opis techniczny budynku jednorodzinnego.....51
4.2. Zestawienie materiałów i wyrobów budowlanych wg książki przedmiarów.... 54

ROZDZIAŁ 5.
LCA FAZY WYTWORZENIA MATERIAŁÓW I WYROBÓW BUDOWLANYCH 59

5.1. Wprowadzenie do procesów wytwarzania materiałów i wyrobów budowlanych..... 59
5.2. Tok i wyniki obliczeń LCA na przykładzie betonu komórkowego 62
5.2.1. Procedura EDIP/UMIP 96..... 68
5.2.2. Procedura EPS 2000 69
5.2.3. Procedura CML 2 baseline 2000..... 69
5.2.4. Procedura Ecopoint 97 (CH) 70
5.2.5.Procedura Ecoindicator 99..... 73
5.3. LCA wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych zastosowanych w analizowanym budynku..... 79

ROZDZIAŁ 6.
LCA FAZY BUDOWY 80

6.1. Wprowadzenie do oceny cyklu istnienia fazy budowy 80
6.2. LCA modułów budynku wykonywanych bezpośrednio na placu budowy.... 81
6.2.1. LCA robót ziemnych 81
6.2.2. LCA modułu - fundamenty 82
6.2.3. LCA modułu - przegrody budowlane (ściany zewnętrzne i wewnętrzne) 84
6.2.4. LCA modułu - strop....87
6.2.5. LCA modułu - dach.... 90
6.3. LCA gotowych modułów budowy 92
6.3.1. LCA modułu - okna.... 92
6.3.2. LCA modułu - drzwi zewnętrzne 93
6.3.3. LCA modułu - system grzewczy (kocioł gazowy).... 94

ROZDZIAŁ 7.
LCA FAZY UŻYTKOWANIA BUDYNKU....96

7.1. Wprowadzenie do fazy użytkowania budynku 96
7.2. Bilans energetyczny analizowanego budynku 97
7.3. LCA termicznej fazy użytkowania 100
7.4. Bilans ilościowy zużywanej wody, odprowadzanych ścieków i wytworzonych odpadów komunalnych 101

ROZDZIAŁ 8.
OPTYMALIZACJA EKONOMICZNA I ŚRODOWISKOWA
ZEWNĘTRZNEJ PRZEGRODY BUDOWLANEJ 103

8.1. Wprowadzenie do optymalizacji współczynnika przenikania ciepła....103
8.2. Matematyczny model optymalizacji grubości warstwy izolacyjnej z uwzględnieniem kryterium ekonomicznego....105
8.3. Optymalizacja środowiskowa z uwzględnieniem wariantowości materiałów izolacyjnych i konstrukcyjnych zastosowanych w przegrodzie budowlanej. 109

ROZDZIAŁ 9.
LCA BUDYNKU Z UWZGLĘDNIENIEM WSZYSTKICH FAZ ISTNIENIA....117

9.1 Wprowadzenie do kompleksowej oceny bilansu ekologicznego (LCA) budynku 117
9.2. Kompleksowe LCA fazy produkcji, fazy budowy i fazy użytkowania 120

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE....122

SPIS LITERATURY....124

SPIS TABEL I RYSUNKÓW 133

ZAŁĄCZNIKI 137

WYKORZYSTANIE LCA
(LIFE CYCLE ASSESSMENT)
DO OCENY ŚRODOWISKOWEJ BUDYNKU

S T R E S Z C Z E N I E

Konieczność dążenia do dynamicznego rozwoju budownictwa ze względów społecznych, a z drugiej strony fakt, że wznoszenie obiektów budowlanych, ich użytkowanie i likwidacja ma znaczący udział w powiększaniu zagrożeń ekologicznych stał się inspiracją do poszukiwania nowych instrumentów oceniających w sposób kompleksowy wpływ tego obszaru działalności na środowisko.

W niniejszej dysertacji takiej waśnie wielokryterialnej ocenie poddano domek jednorodzinny o typowym rozwiązaniu projektowym.

W teoretycznej części pracy naświetlono wpływ obiektów budowlanych na środowisko i zwrócono uwagę na fakt, iż sektor budowlany konsumuje aż 40% wytworzonej energii i jest tym samym odpowiedzialny za wysoką emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Omówiono także istotę i cechy budownictwa zrównoważonego, które powinno na każdym etapie istnienia budynku dążyć do minimalizacji zużycia energii i zasobów naturalnych przy możliwie najmniejszym obciążeniu środowiska.

W empirycznej części pracy wykonano bilanse ekologiczne (LCA) dla wszystkich faz istnienia budynku – od fazy wytworzenia materiałów i wyrobów budowlanych po fazę budowy aż do fazy użytkowania budynku z wykorzystaniem metod obliczeniowych holenderskiego programu komputerowego SimaPro 5.1. Opracowano także metodę rozrachunku ekonomiczno-środowiskowego przegrody zewnętrznej, która jest elementem budowy o największym procentowym udziale w całej konstrukcji budynku jednorodzinnego.

THE USE OF LCA
(LIFE CYCLE ASSESSMENT)
IN ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THE BUILDING

A B S T R A C T

The necessity to pursue the dynamic development of the construction industry for social reasons, as well as the fact that building new objects, using them and liquidating play a crucial part in increasing the ecological hazards, became a stimulus for searching new assessment instruments measuring the influence of this activity area on the environment in a complex way.

In the following dissertation a detached house of a typical design solution was subjected to a multicriterial assessment.

In the theoretical part of the thesis the influence of building objects on the environment was highlighted and the construction sector was remarked to consume 40% of the produced energy, being, therefore, responsible for the high carbon dioxide emission into the atmosphere. The notion and features of balanced construction industry were discussed, which should pursue minimizing the consumption of energy and natural resources together with the possibly lowest environment burden.

In the empirical part of the thesis ecological balances (Life Cycle Assessment) for all the building existence phases were conducted – from the materials and building articles production phase to the building utilization phase – with the use of numerical methods of the Dutch computer programme SimaPro 5.1. The economic – environmental accounting method was elaborated for an external partition, which is the building element of the greatest percentage share in the whole construction of a detached house.

W S T Ę P

Powszechna na początku XXI wieku świadomość głębokiego kryzysu ekologicznego o wymiarze globalnym powoduje, że szczególną uwagę przywiązuje się do zagadnień związanych z jakością środowiska i jego ochroną. Panujący od wielu lat liberalizm ekonomiczny, nastawienie na generowanie zysków, nie uwzględnianie skutków społecznych i ekologicznych w działalności gospodarczej, spowodowało zachwianie równowagi ekosystemów i pojawienie się barier uniemożliwiających utrzymanie dalszej dynamiki wzrostu gospodarczego.

Z tego powodu przed współczesną gospodarką stoi wiele wyzwań. Za priorytetowe dla wszystkich sektorów produkcyjnych i usługowych należy uznać realizowanie koncepcji rozwoju zrównoważonego rozumianego jako rozwój harmonizujący cele społeczne, ekonomiczne i środowiskowe, zaspokajający potrzeby współczesnych społeczeństw i stwarzający szansę zaspokojenia potrzeb i aspiracji także przyszłych pokoleń.

Założenia zrównoważonego rozwoju wskazują zarówno na konieczność poszukiwania rozwiązań technicznych i technologicznych racjonalizujących gospodarkę surowcami i energią, jak i na konieczność poszukiwania uniwersalnych narzędzi diagnostycznych za pomocą których można byłoby identyfikować zagrożenia środowiskowe w różnych dziedzinach gospodarki i podjąć środki zaradcze w celu ich zmniejszenia i efektywnej ochrony ekosystemów.

Budownictwo należy do jednej z ważniejszych dziedzin gospodarki i ze względów społecznych jego rozwój powinien mieć charakter dynamiczny. Z drugiej zaś strony, działalność budowlana stanowi duże zagrożenie dla środowiska naturalnego. Dlatego od urbanistyki, architektury i budownictwa oczekuje się dziś podporządkowania rozwiązań strukturalno-materiałowych i energetycznych zasadom zrównoważonego rozwoju. Zatem wynik działalności budowlanej musi być oceniany nie tylko miarą zadowolenia społecznego, ale także miarą efektywności ekonomicznej i wielkością interwencji środowiskowych.

Głównym celem poznawczym pracy jest przygotowanie metody, która umożliwiłaby ocenę dowolnego obiektu budowlanego w pełnym cyklu jego istnienia „od kołyski po grób" oraz pozwoliła na identyfikację tych faz istnienia budynku, które cechują się największym obciążeniem środowiska w celu jego zmniejszenia.

Jednym z instrumentów umożliwiających wszechstronne szacowanie ekologicznych skutków działalności budowlanej jest bilans ekologiczny. O dużej popularności tego instrumentu świadczy fakt umieszczenia go w światowych standardach serii ISO 14000x - (LCA) *Life Cycle Assessment - Ocena cyklu istnienia (*ISO 14040, 14041, 14042, 14043, 14048, 14049).

Ocena cyklu istnienia adaptowana na potrzeby budownictwa pozwala właśnie na takie szerokie zestawienie i porównanie oddziaływania na środowisko obiektów budowlanych w różnych fazach cyklu ich istnienia: wytworzenie materiałów i wyrobów budowlanych, faza budowy, faza użytkowania oraz faza rozbiórki i recyklingu materiałów budowlanych. LCA umożliwia nie tylko identyfikację zagrożeń środowiskowych, ale także ich kwantyfikację.

Celem aplikacyjnym pracy jest opracowanie metody rozrachunku środowiskowo-ekonomicznego wybranego elementu budowy, tj. ściany zewnętrznej z uwagi na duże możliwości optymalizacji współczynnika przenikania ciepła, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia użycia energii na etapie użytkowania budynku i obniżenia emisji gazów cieplarnianych.

Realizacja powyższych celów wychodzi naprzeciw wymaganiom sformułowanym, między innymi, w *Dyrektywie Rady Wspólnot Europejskich w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych (89/106/EEC) oraz Dyrektywy EPBD – 2002/91/EC dotyczącej jakości energetycznej budynków (Energy Performance of Buildings Directive)* i dobrze wpisuje się w nurt koncepcji budownictwa zrównoważonego.

Niniejsza dysertacja składa się z dziewięciu rozdziałów. Pierwszy z nich stanowi obszerne wprowadzenie w podejmowaną problematykę. Identyfikuje wpływ budownictwa na środowisko, określa istotę, cechy i uwarunkowania budownictwa zrównoważonego, prezentuje rozwój metod oceny oddziaływania budynku na środowisko oraz możliwości wykorzystania do tych ocen LCA i wskazuje zarazem na miejsce bilansów ekologicznych w standardach ISO 14000.

W rozdziale drugim sformułowano cel i zakres pracy. Rozdział trzeci stanowi opis metodyki środowiskowej oceny cyklu istnienia w odniesieniu do obiektów budowlanych oraz omówienie metod oceny i procedur obliczeniowych stosowanych w programie komputerowym SimaPro 5.1.

Opis obiektu badań przedstawiony został w rozdziale czwarty. Rozdział piąty pracy zawiera obliczenia LCA fazy wytworzenia materiałów i wyrobów budowlanych zastosowanych w analizowanym budynku, a rozdziały szósty i siódmy odpowiednio: LCA fazy budowy i LCA fazy użytkowania.

W rozdziale ósmym zaprezentowano metodę optymalizacji ekonomiczno-środowiskowej przegrody zewnętrznej budynku, z uwzględnieniem wariantowości

w doborze zarówno materiałów izolacyjnych, jak podstawowych materiałów konstrukcyjnych.

Rozdział dziewiąty przedstawia kompleksowe LCA budynku jednorodzinnego. Praca zakończona jest podsumowaniem i wyprowadzeniem wniosków z przeprowadzonych badań.

R O Z D Z I A Ł I

ROZWÓJ ZRÓWNOWAŻONY JAKO WYZNACZNIK DZIAŁALNOŚCI BUDOWLANEJ

1.1. Wpływ budownictwa na środowisko

Jedną z cech charakteryzujących współczesną gospodarkę jest jej duża interwencja środowiskowa, która przybrała wymiar konfliktów globalnych. Wszelkie zjawiska jakie nieustannie zachodzą w strukturach gospodarczych noszą znamiona nieustannej presji antropogenicznej i związane są z przekształcaniem zasobów środowiskowych i współzależnej z nimi przestrzeni dla potrzeb człowieka. Także budownictwo jest tym sektorem gospodarki, który powoduje duże obciążenie środowiska obok takich gałęzi przemysłu, jak przemysł wydobywczy, energetyczny, hutniczy i chemiczny [58; 153; 45; 8; 21; 22; 11; 63; 75; 115; 5].

Środowiskowe efekty działalności budowlanej związane są, między innymi z uszczuplaniem zasobów surowcowych, w tym nośników energetycznych i przestrzeni. Jeśli nawet przyjąć, że wpływ pojedynczego obiektu budowlanego nie stwarza wysokiego zagrożenia, to fakt, iż oddziaływanie na środowisko jest generowane jednocześnie i długotrwale przez masową liczbę obiektów przyczynia się do kumulacji negatywnych efektów w ekosystemach na dużą skalę, na różnych etapach działalności budowlanej i dotyczy:

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

Materiały i wyroby budowlane są wytwarzane z surowców pobieranych ze środowiska i następnie w procesach produkcyjnych, o różnym stopniu

zaawansowania technologicznego, przetwarzane są na wyroby finalne o zdefiniowanych parametrach użytkowych, które w efekcie końcowym decydują o szeroko rozumianej jakości budynku. W procesach produkcji materiałów budowlanych zużywa się nośniki energetyczne, wodę i wiele innych materiałów i surowców, a jednocześnie do środowiska usuwa się ścieki technologiczne, odpady stałe i szkodliwe substancje gazowe [28; 37; 34; 35; 164; 41; 108; 38].

Aktualnie trwają prace nad przygotowaniem deklaracji środowiskowych dla materiałów i wyrobów budowlanych, które mogą być wykorzystane przez producentów w strategiach marketingowych oraz przezprojektantów w praktyce projektowej. Przykładem takich działań może być duński program MVDB (Environmental Product Declaration for Building Product), holenderski MRPI (Environmental Relevant Product Information) i MEPB (Material Based Environmental Profile for Building), czy szwedzki BVD (Building Product Declarations) [23; 30; 29].

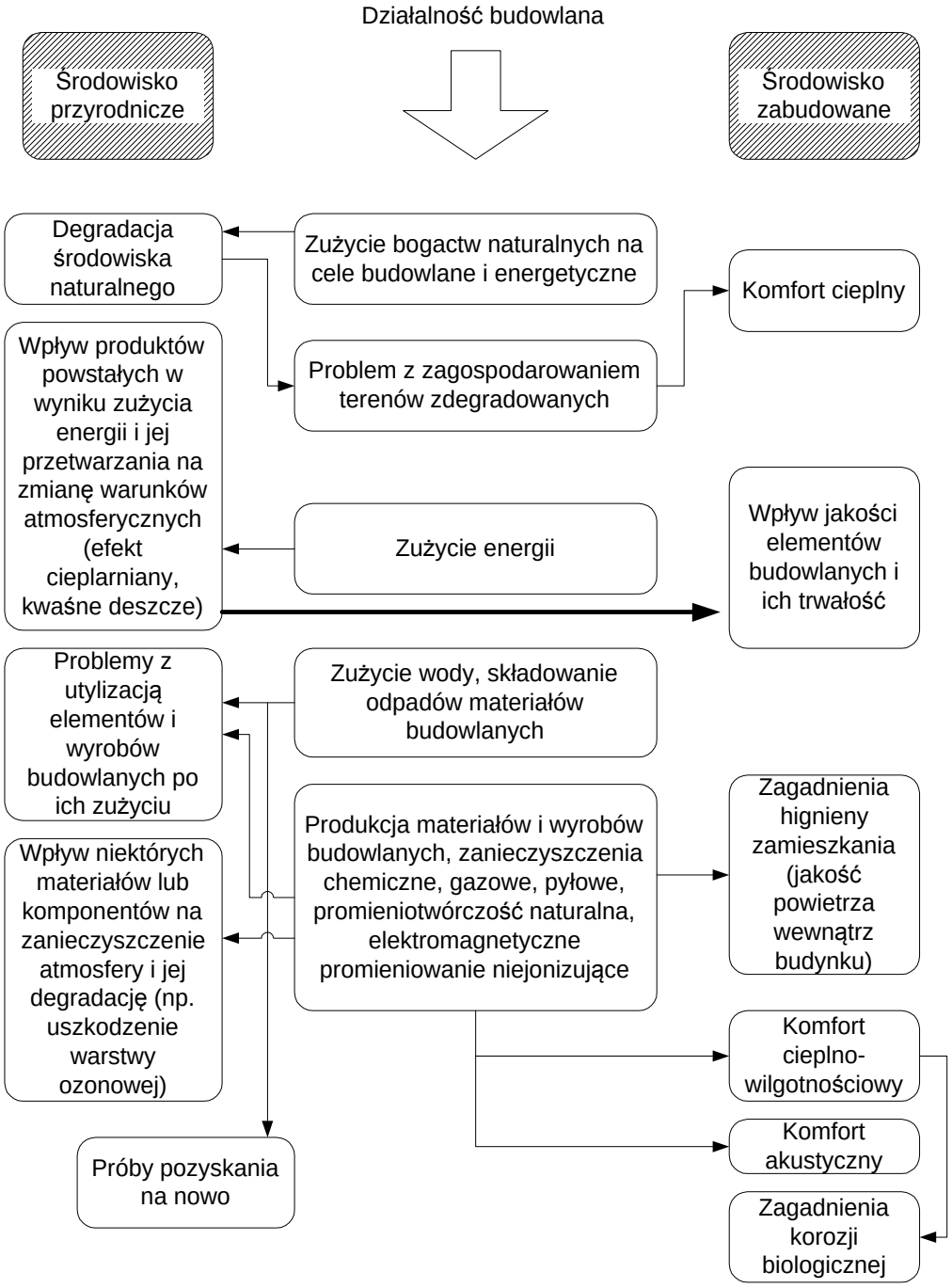
Na etapie realizacji prac budowlanych negatywny wpływ na środowisko wiąże się z oczyszczaniem i przygotowaniem terenu (usunięciem szaty roślinnej i żyznej warstwy gleby, wyrównaniem gruntu), budową dróg dojazdowych i tymczasowych zabudowań, a także koniecznością magazynowania na placu budowy materiałów i wyrobów, często niebezpiecznych. Ponadto w trakcie budowy występują dodatkowe uciążliwości jak hałas, wibracje, zniekształcenia krajobrazu, naruszenia poziomu wód gruntowych, przemieszczanie mas ziemi itp. Prace budowlane są także nierozerwalnie związane ze zużyciem nośników energetycznych [36; 134; 58; 139].

Szczególnie duży wpływ na obciążenie środowiska ma faza użytkowania (eksploatacji) budynku, która dla warunków europejskich może wynosić nawet około 100 lat. Sumaryczne zużycie energii niezbędnej dla zapewnienia właściwego komfortu cieplnego w naszych warunkach klimatycznych jest w fazie użytkowania znacznie wyższe, ze względu na jej długi horyzont czasowy, niż na etapie wytwarzania materiałów budowlanych, czy też samego procesu budowy [114; 42; 140]. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż sektor budownictwa w państwach UE jest odpowiedzialny za konsumpcję aż 40 % wytwarzanej energii i tym samym jest sprawcą wysokiej emisji dwutlenku węgla do atmosfery - gazu, który aż w 50% jest odpowiedzialny za efekt cieplarniany [13; 14].

Nie bez wpływu na środowisko jest również faza rozbiórki budynku. Na tym etapie zużywana jest także energia i gromadzone są w środowisku te materiały rozbiórkowe, które nie podlegają recyklingowi. Sektor budownictwa w Polsce na przestrzeni 2003 r. wytworzył ogółem 133,7 tys. ton odpadów z czego 83,8 tys. ton odpadów poddane zostało odzyskowi, natomiast 14,6 tys. ton

odpadów budowlanych zostało zdeponowanych na składowiskach odpadów [86; 89; 82; 143; 15; 33].

Schemat powiązań działalności budowlanej z wpływem na środowisko przyrodnicze i środowisko zabudowane przedstawiono na rys.1.1.



Rys. 1.1. Schemat powiązań działalności budowlanej z wpływem na środowisko przyrodnicze i zabudowane. Źródło: [135]

Właśnie to szerokie i wieloaspektowe oddziaływanie sektora budowlanego na środowisko stało się impulsem do wypracowania odpowiednich procedur oceny, które pozwalałyby na uchwycenie wszystkich powiązań i zależności jakie zachodzą między działalnością budowlaną a środowiskiem, w celu ich poprawy i respektowania zasad budownictwa zrównoważonego.

1.2. Istota, cechy i uwarunkowania budownictwa zrównoważonego

Tematyka rozwoju zrównoważonego w budownictwie w dziedzinie konstrukcji budowlanych została podjęta przez Conseil International du Bâtiment (CIB) w 1995 roku. Następnie w 1998 roku na konferencji w Gävle (Szwecja), została sprecyzowana wiodąca rola procesu budowlanego w zrównoważonym rozwoju w wyniku opracowania przez CIB Agendy 21 w zakresie Budownictwa Zrównoważonego, stanowiącej pośredni dokument pomiędzy Agendą z Rio i Agendą Habitat [135].

W obecnym stuleciu, potrzeba wprowadzenia rozwoju zrównoważonego do wszystkich obszarów działalności gospodarczej została jednoznacznie sformułowana w maju 2001 roku przez Komisje Europejską, która na posiedzeniu w Göteborgu przedstawiła Radzie Europy propozycję „Strategii Unii Europejskiej na rzecz idei zrównoważonego rozwoju" [1]. W Strategii Göteborskiej podkreślono konieczność wprowadzenia problematyki środowiskowej do wszystkich polityk sektorowych oraz sformułowano najważniejsze zadania dla realizacji rozwoju zrównoważonego, a mianowicie:

- ograniczenie zmian klimatycznych oraz wzrost zużycia „czystej" energii;
- odpowiednie postępowanie z zagrożeniami zdrowia publicznego;
- racjonalne korzystanie z zasobów naturalnych;
- usprawnienie systemów komunikacji i działania na rzecz optymalizacji wykorzystania przestrzeni.

Zgodnie z powyższym, budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju powinno dążyć we wszystkich fazach okresu jego trwania do minimalizacji zużycia energii i zasobów naturalnych przy możliwie najmniejszym obciążeniu środowiska. Podstawą do realizacji zrównoważonego rozwoju w budownictwie jest identyfikacja głównych czynników i ich elementów składowych decydujących o relacjach ze środowiskiem zarówno na etapie procesu inwestycyjnego jak i w okresie eksploatacji budynku (tab. 1.1).

Wierzbicki w swojej pracy podał definicję budownictwa zrównoważonego, która został sformułowana przy okazji opracowania wskaźnika dotyczącego

zrównoważonego budownictwa CRISP (*Construction and Related Sustainbility Indycators*). Brzmi ona następująco: *Pojęcie zrównoważonego budownictwa ma na celu stworzenie i odpowiedzialne zarządzanie zdrowym obszarem zabudowanym, opartym na zasadzie efektywnego i ekologicznego wykorzystania zasobów naturalnych. Uwzględnia ono aspekt środowiska i jakości życia, ponadto kwestie kulturowe i sprawiedliwości społecznej oraz ekonomiczne ograniczenia* [154; 136; 132; 64; 90; 133; 84; 85; 17; 65; 144; 105; 131].

Okres oceny	**Główne czynniki**	**Elementy składowe**
Proces inwestycyjny	programowanie i projektowanie obiektu budowlanego	✓ usytuowanie budynku (harmonia ze środowiskiem) ✓ racjonalne wykorzystanie terenu ✓ ochrona wód i powietrza ✓ wymagania techniczno-użytkowe ✓ planowanie trwałości elementów i budynków
	produkcja wyrobów budowlanych	✓ pozyskiwanie surowców ✓ proces produkcji przyjazny środowisku ✓ wykorzystanie odpadów przemysłowych
	proces realizacji obiektu budowlanego	✓ oddziaływanie okresowe w czasie budowy ✓ trwałe skutki dla środowiska
Obiekt budowlany w okresie użytkowania	warunki życia człowieka w budynku	✓ czynniki fizyczne ✓ czynniki chemiczne ✓ czynniki biologiczne bezpieczeństwo i dogodność użytkowania ✓ trwałość transformacji funkcjonalnej
	oddziaływanie budynku na środowisko	✓ emisja gazów ✓ emisja hałasu i drgań ✓ odprowadzenie i oczyszczanie ścieków ✓ składowanie i utylizacja odpadów komunalnych
	trwałość budynku	✓ łatwość utrzymania dobrego stanu technicznego ✓ pewność izolacji ochronnych ✓ skutki remontów, modernizacji i rozbiórki budynków ✓ możliwość recyklingu wbudowanych materiałów

Tablica 1.1. Miejsce i zakres zrównoważonego budownictwa w całości zagadnień zrównoważonego rozwoju. Źródło: [154]

Zasady zrównoważonego rozwoju w budownictwie dotyczą głównie [135]:

- zrównoważenia modeli produkcji i konsumpcji w odniesieniu do lokalnych uwarunkowań środowiskowych (jako „lokalne" rozumiane są uwarunkowania krajowe, regionalne i subregionalne);

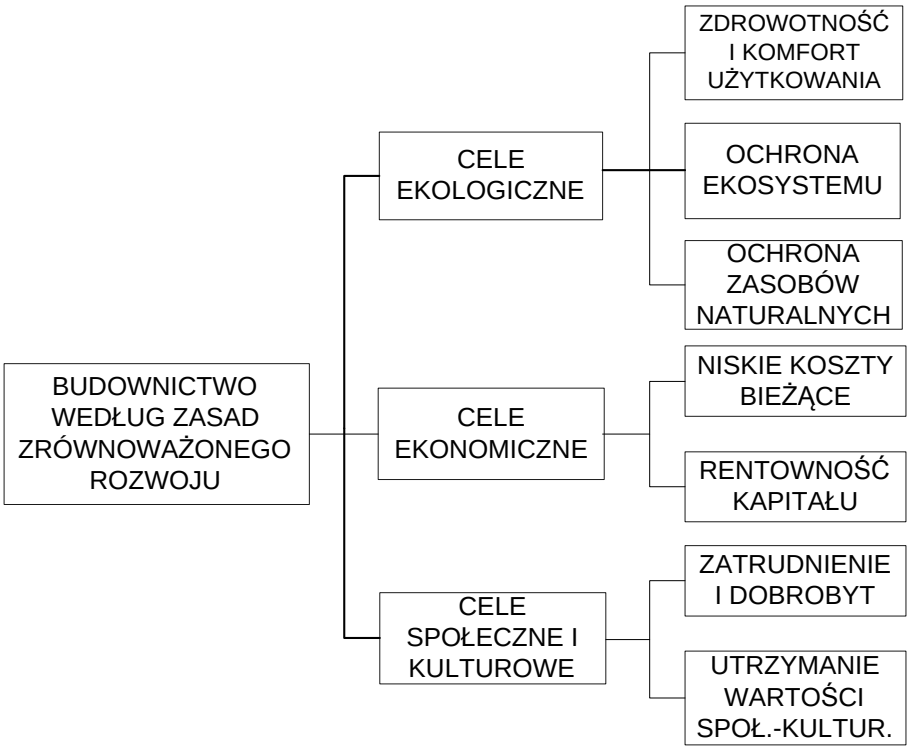
- dostosowania narodowych przepisów prawnych do pojęcia strategii zrównoważonego rozwoju w poszczególnych dziedzinach życia gospodarczego i ekonomicznego;
- rozwoju i poszerzenia wiedzy dotyczącej związku pomiędzy rozwojem demograficznym, a czynnikami rozwoju zrównoważonego;
- planowania i zarządzania terenami jako zasobem naturalnym, przez promowanie zrównoważonego użytkowania terenów;
- promowania zintegrowanego zabezpieczenia środowiskowej infrastruktury, przez odpowiedni system zarządzania wodą, oczyszczaniem ścieków i odpadów stałych;
- promowania zrównoważonego systemu zarządzania energią i systemem transportu w osiedlach mieszkaniowych;
- promowania lokalizacji osiedli na terenach zdewastowanych i zagrożonych pod względem różnorodności biologicznej;
- promowania działalności zmierzającej w kierunku zrównoważonego budownictwa;
- nierozłącznego rozpatrywania problemów środowiska i jego rozwoju w aktach prawnych, planowaniu i zarządzaniu;
- efektywnego wykorzystania instrumentów ekonomicznych, rynkowych i innych do promocji zrównoważonego rozwoju;
- opracowania systemu rozrachunku środowiskowo-ekonomicznego;
- ochrony atmosfery przez odpowiednią gospodarkę źródłami energii ich formą wykorzystania w budownictwie, transporcie i w przemyśle;
- klasyfikacji i oznakowania wyrobów chemicznych z określeniem stopnia ryzyka ich stosowania;
- minimalizacji odpadów i zanieczyszczeń;
- promowania systemów tzw. czystszej produkcji;
- rozwoju edukacji w zakresie poszerzania wiedzy na temat zrównoważonego rozwoju.

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

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

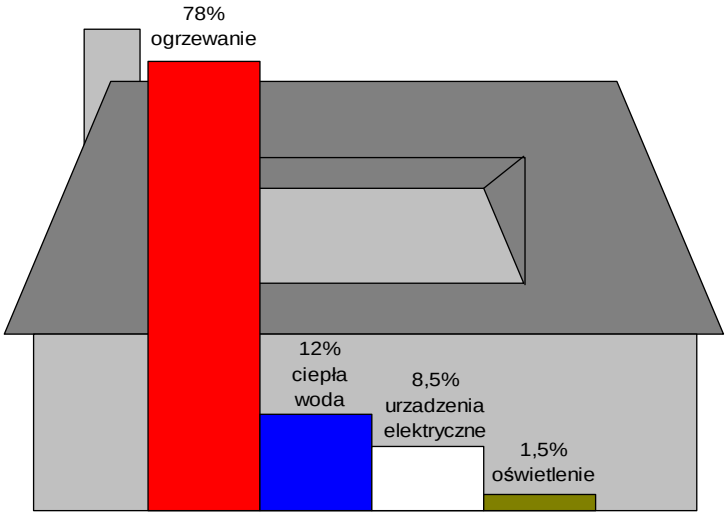
Priorytetowe cele zrównoważonego budownictwa są zróżnicowane w poszczególnych krajach. Wiąże się to między innymi ze zróżnicowaniem pod względem ekonomicznym. Kraje bardziej rozwinięte koncentrują się na wprowadzaniu nowych, prośrodowiskowych technologii oraz na rozwijaniu innowacyjności i badaniach, podczas gdy w krajach rozwijających się rozwój budownictwa koncentruje się raczej na społecznym i ekonomicznym zrównoważeniu [135].

Działalność budowlana realizowana według zasad zrównoważonego rozwoju i tym samym jej przyszłościowy model powinna uwzględniać w równym zakresie cele ekologiczne, ekonomiczne i społeczno-kulturalne (rys. 1.2).



Rys. 1.2. Budownictwo wg zasad zrównoważonego rozwoju. Źródło: [74]

Rozwój budownictwa zrównoważonego **jest uwarunkowany przede wszystkim energetycznie i ekologicznie**. Szacuje się, że sektor budowlany jest odpowiedzialny za konsumpcję 40% wytwarzanej energii, z czego zdecydowanie większa część energii zostaje zużyta podczas eksploatacji budynku [76; 80; 135; 60; 137; 163]. Strukturę zużycia energii w budynku przedstawia rys. 1.3.



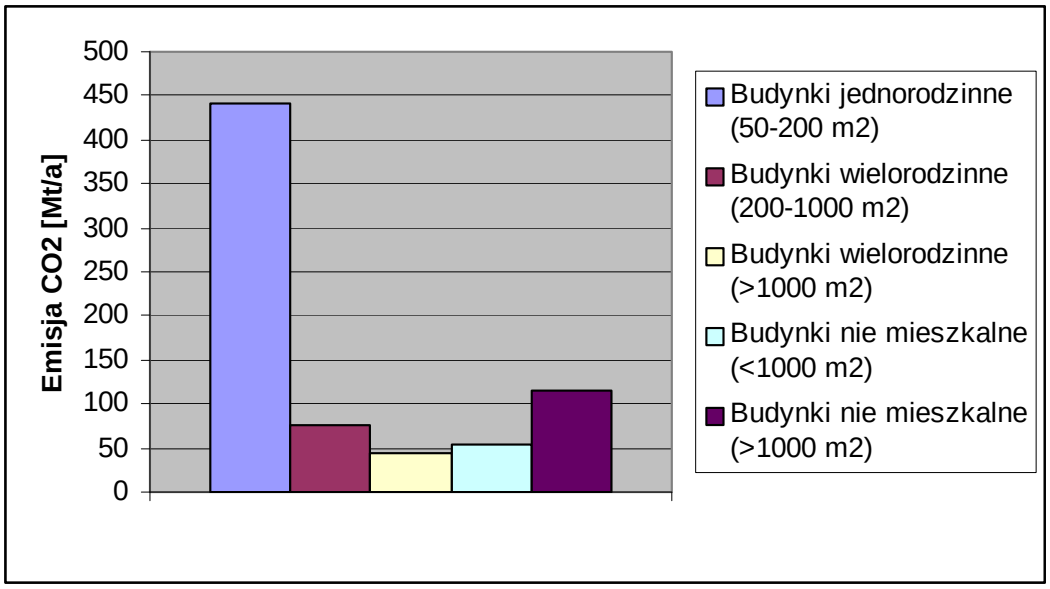
Rys. 1.3. Zużycie energii w budownictwie. Źródło: [80]

Największa części energii podczas całego cyklu istnienia budynku, jest zużywana na ogrzewanie i na wentylację, przy czym istnieją dwie podstawowe możliwości zmniejszenia konsumpcji energii w sektorze budownictwa. Pierwsza z nich to zwiększenie wymagań projektowych dla nowych budynków w celu zminimalizowania strat ciepła, a druga możliwość dotyczy ustanowienia obowiązku certyfikacji energetycznej budynku, która niesie za sobą duży potencjał obniżenia zużycia energii [10].

Należy podkreślić, że w obu tych obszarach w ostatnim okresie zrobiono wiele, ale europejscy eksperci uważają, iż nadal jest możliwa znaczna oszczędności energii podczas eksploatacji budynków, która jest oceniona w polskich warunkach na 22% do 2020 roku [106].

Produkcja energii na potrzeby sektora budowlanego związana jest integralnie z emisją do atmosfery dwutlenku węgla.

Emisja CO_2 spowodowana zużyciem energii na cele grzewcze jest szczególnie wysoka w budownictwie jednorodzinnym. Jest to spowodowane faktem, iż domki jednorodzinne posiadają niski wskaźnik stosunku powierzchni użytkowej do powierzchni zewnętrznej budynku i tym samym cechują się wyższym wskaźnikiem strat energii cieplnej (rys. 1.4.) [93].



Rys. 1.4. . Emisja CO_2 przez różne rodzaje zasobów budowlanych Europy Zachodniej. Źródło: [113]

Ocenia się, iż wprowadzenie w życie od 2006 roku Dyrektywy 2002/91/EC dotyczącej jakości energetycznej budynków (*Energy Performance of Buildings Directive - EPBD*) i tym samym wyzwolenie możliwości obniżenia potencjału emisji gazów cieplarnianych spowodowane upowszechnieniem termomodernizacji zasobów budownictwa mieszkaniowego w krajach Unii Europejskiej[1] (tablica 1.2) przyniosłoby następujące korzyści:

- całkowite zmniejszenie emisji CO_2 w granicach 82 Mt CO_2/a związane z ogrzewaniem typowych budynków;
- ten potencjał mógłby zostać jeszcze powiększony o dodatkowe 69 Mt CO_2/a jeśli w Dyrektywie wprowadzony zostanie zapis dotyczący objęcia modernizacją wszystkich wielorodzinnych i nie mieszkalnych budynków powyżej 200 m^2;
- gdyby zakres obowiązku modernizacji budynków obejmował również budynki jednorodzinne, możliwości redukcji emisji zwiększyłyby się o kolejne 316 Mt CO_2/a.

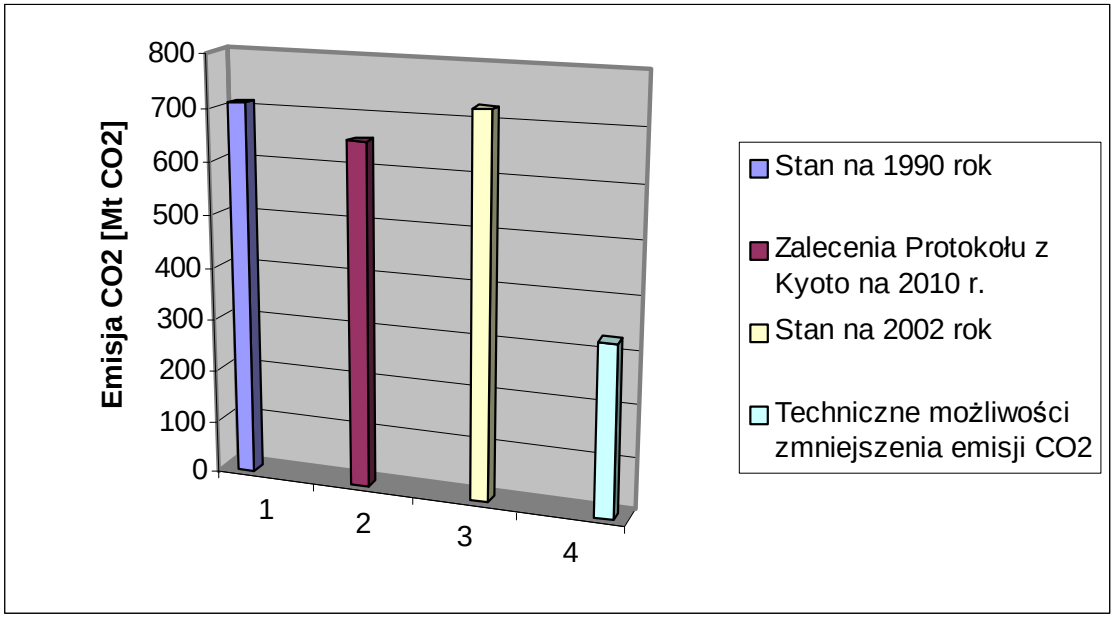
Powyższa Dyrektywa ma się zatem przyczynić nie tylko do racjonalnego zarządzania energią cieplną w sektorze budownictwa mieszkaniowego, ale także do zaangażowania państw członkowskich w wypełnienie Protokołu z Kyoto [137], w którym zawarto zapis obligatoryjnego zmniejszenia emisji CO_2 do atmosfery o około 8 % do roku 2010, względem roku wyjściowego 1990.

[1] Piętnaście krajów dawnej Unii Europejskiej

Zmniejszenie emisji do atmosfery ma być wynikiem poprawy sprawności energetycznej zarówno nowych budynków jak i istniejących, o powierzchni większej niż 1000 m² [14; 93; 113] (rys. 1.5.).

	Zimna strefa	Umiarkowana strefa	Ciepła strefa	EU - 15
Techniczne możliwości				
Wymagania Dyrektywy EPBD	2	68	12	82
Wymagania Dyrektywy EPBD powiększone o budynki większe niż 200 m²	5	118	29	151
Wymagania Dyrektywy EPBD powiększone o wszystkie budynki	14	319	65	398
Zestawienie dodatkowych ograniczeń emisji CO_2 (techniczne możliwości)				
Wymagania Dyrektywy EPBD powiększone o budynki większe niż 200 m²	3	50	17	69
Wymagania Dyrektywy EPBD powiększone o wszystkie budynki	12	251	53	316

Tablica 1.2. Techniczny potencjał zmniejszenia emisji CO_2 w wyniku działania Dyrektywy EPBD oraz możliwości rozszerzenia oddziaływania Dyrektywy. Źródło: [93]



Rys. 1.5. Emisja CO_2 przez zasoby budowlane Unii Europejskiej. Źródło: [113]

Analizując koszty związane z zakupem lub wytworzeniem energii cieplnej na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej zauważa się, że stanowią one dominujący składnik wszystkich kosztów utrzymania i użytkowania budynków. Koszty związane z energią cieplną stanowią średnio 80% całości kosztów eksploatacji. Praktyka pokazuje, że zmniejszenie zużycia energii, a tym samym obniżenie kosztów eksploatacyjnych, jest możliwe i wiąże się z wprowadzeniem metod racjonalizacji gospodarowania energią na potrzeby ogrzewania budynku obejmujących [4]:

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

Termin **budynek energooszczędny** nie został jeszcze zdefiniowany w polskich przepisach budowlanych, wskutek czego w Polsce nie jest to pojęcie jednoznaczne. Zwyczajowo terminem tym określany jest budynek, którego sezonowe zapotrzebowanie na ciepło jest niższe niż wynika to z obowiązujących przepisów [61]. Należy jednak podkreślić, że pojęcie budynek energooszczędny zmierza coraz bardziej w stronę pojęcia „domu zrównoważonego ze środowiskiem",
pod każdym względem przyjaznego użytkownikowi i otoczeniu. Jako taki, ma on spełniać wymagania dotyczące komfortowej jakości mikroklimatu pomieszczeń z jednoczesnym obniżeniem destrukcyjnej ingerencji w stan środowiska. Równocześnie powinien on być dostępny dla właściciela lub najemcy po przystępnej cenie i gwarantować akceptowalne w danej społeczności koszty eksploatacyjne [69].

Dla budynków jednorodzinnych wymagania dotyczące ochrony cieplnej pomieszczeń, a zwłaszcza izolacyjności termicznej zewnętrznych przegród budowlanych oblicza się (alternatywnie) uwzględniając:

- **współczynnik przenikania** ciepła dla ścian **U**[2] [W/m^{2}K] (w poprzednich normach oznaczany literą k);
- **wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło E**[3]**.**

[2] **Współczynnik przenikania ciepła U** *to stosunek gęstości ustalonego strumienia cieplnego do różnicy temperatur powietrza po obu stronach przegrody. Współczynnik przenikania ciepła jest odwrotnością współczynnika oporu cieplnego.*

W literaturze technicznej do klasyfikacji energooszczędnych budynków mieszkalnych stosowane są różne wartości graniczne wskaźnika zapotrzebowania na ciepło E (tab. 1.3).

Kraj	*E_o – budynek energooszczędny*	
	kWh/(m²/a)	kWh/(m³/a)
Polska	**< 70**	**< 23**
RFN	**< 55**	**< 18**

Tablica 1.3. Wartości wskaźnika E budynków mieszkalnych energooszczędnych. Źródło: [61]

W tablicy 1.4 przedstawiono wymagane wartości współczynnika przenikania ciepła U przez przegrody budowlane w budynku jednorodzinnym.

Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	**U_{max} [W/m²K]**
Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym) a) przy T_i[4] > 16°C: • warstwowe[5], z izolacją o współczynniku przewodzenia ciepła λ≤0,05 W/(mK) • pozostałe b) przy T_i ≤ 16°C, nie zależnie od rodzaju ściany	 0,30 0,50 0,80
Stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy T_i > 16°C b) przy 8°C < T_i ≤ 16°C	0,30 0,50
Stropy nad nieogrzewanymi piwnicami i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi	0,60
Ściany wewnętrzne oddzielające pomieszczenia ogrzewane od nieogrzewanych	1,00
Ściany piwnic nieogrzewanych	bez wymagań

Tablica 1.4. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrody budowlane w budynku jednorodzinnym. Źródło: [118]

[3] **Wskaźnik E** *oblicza się jako stosunek sezonowego zapotrzebowania na energię cieplną do kubatury ogrzewanej części budynku, wskaźnik ten nie może przekroczyć wartości granicznej, która zależy od stosunku pola powierzchni wszystkich przegród zewnętrznych (łącznie z dachem) części ogrzewanej do kubatury części ogrzewanej. Wskaźnik **E** lepiej opisuje właściwości cieplne budynku niż współczynnik przenikania **U**.*

[4] Obliczeniowa temperatura w pomieszczeniu.

[5] Tynki zewnętrzny i wewnętrzny nie są tu uznawane za warstwy.

Śliwowski [142] podaje, że średnie zużycie energii cieplnej na ogrzewanie w ciągu jednego roku m^2 powierzchni użytkowej mieszkania w budynkach wielorodzinnych wykonanych z „wielkiej płyty" wynosi aż 380 kWh/m^2pu/a.

Na roczne zużycie energii cieplnej na ogrzewanie mieszkania w budynkach wielorodzinnych składają się straty ciepła [80]:

- przez ściany zewnętrzne ok. 36% całości zużytej energii;
- na skutek wymiany powietrza (przy dwukrotnym na godzinę) ok. 42%;
- przez okna (dla okien o współ. U=2,8 [W/m^2K] i powierzchni okna równej 17% powierzchni elewacji) ok. 14%;
- przez stropodachy i stropy nad piwnicami, ok. 4%.

Suma wszystkich strat ciepła przewyższa 90% i w tych obszarach należy szukać źródeł oszczędności energii cieplnej przez odpowiednie rozwiązania projektowe i technologiczne.

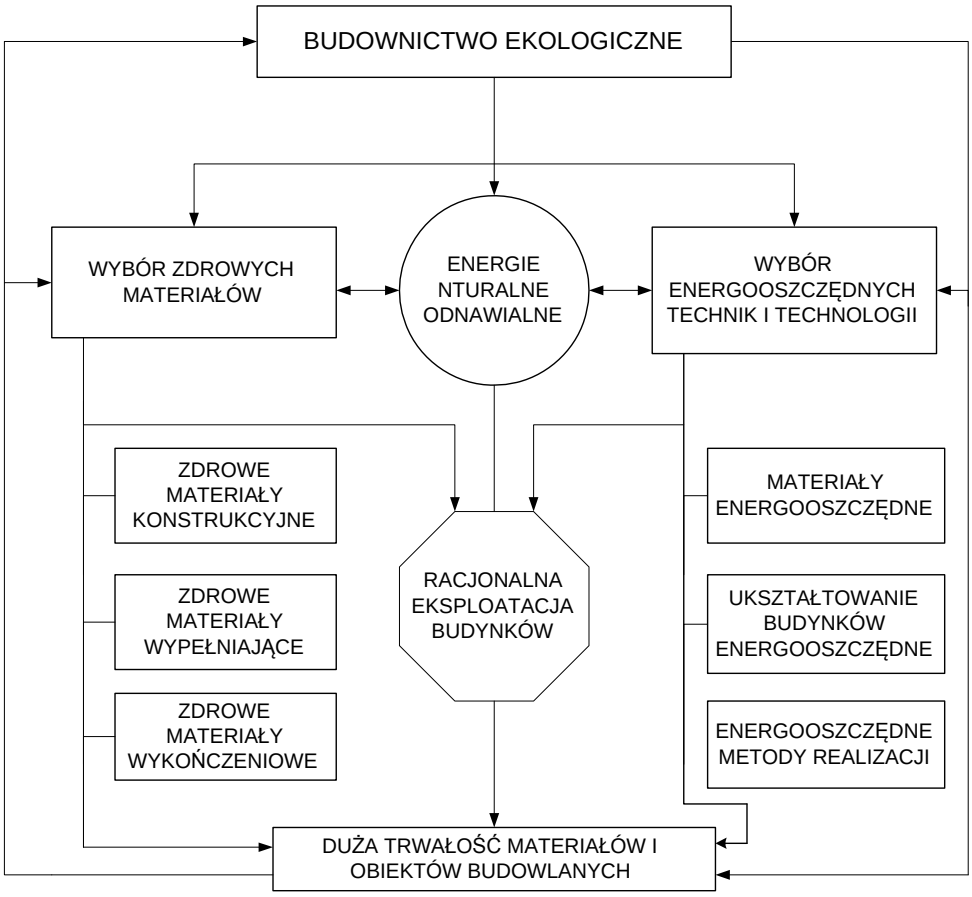
Dla potencjalnego inwestora bilans energetyczny budynku jest jedną z najważniejszych informacji determinujących decyzję o zakupie domu lub mieszkania. Znajomość tego bilansu pozwala oszacować jakie będą średnie koszty ogrzewania. Warto ponieść większe nakłady inwestycyjne podczas doboru materiałów izolacyjnych na przegrody zewnętrzne, albowiem ich jakość w znaczący sposób wpływa na zmniejszenie kosztów ogrzewania podczas eksploatacji budynku [160].

W aspekcie uwarunkowań środowiskowych, należy podkreślić, że budownictwo ekologiczne nie stawia sobie za cel samowystarczalnych energetycznie i bezemisyjnych budynków, ale próbuje ludzką przestrzeń pobytu i przestrzeń życiową ukształtować w harmonii z naturą, poprawić samopoczucie zdrowotne mieszkańców i pracowników przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia energii na wybudowanie i eksploatację budynków i zmniejszeniu ogólnej ingerencji w środowisko.

Mikoś [80] cele stawiane przed budownictwem ekologicznym formułuje następująco:

1. znaczna poprawa zdrowotności budynków, czyli minimalizacja potencjału szkodliwego dla zdrowia;
2. znaczne zmniejszenie obciążenia środowiska naturalnego spowodowanego przez budynki i ich zespoły, czyli minimalizacja zanieczyszczeń otoczenia;
3. minimalizacja zużycia energii podczas wznoszenia i w czasie eksploatacji budynków i obiektów oraz maksymalne wykorzystanie energii odnawialnej;
4. kształtowanie rozwiązań budynków i ich zespołów z maksymalnym wykorzystaniem naturalnej roślinności jako płaszcza biologicznego budynków.

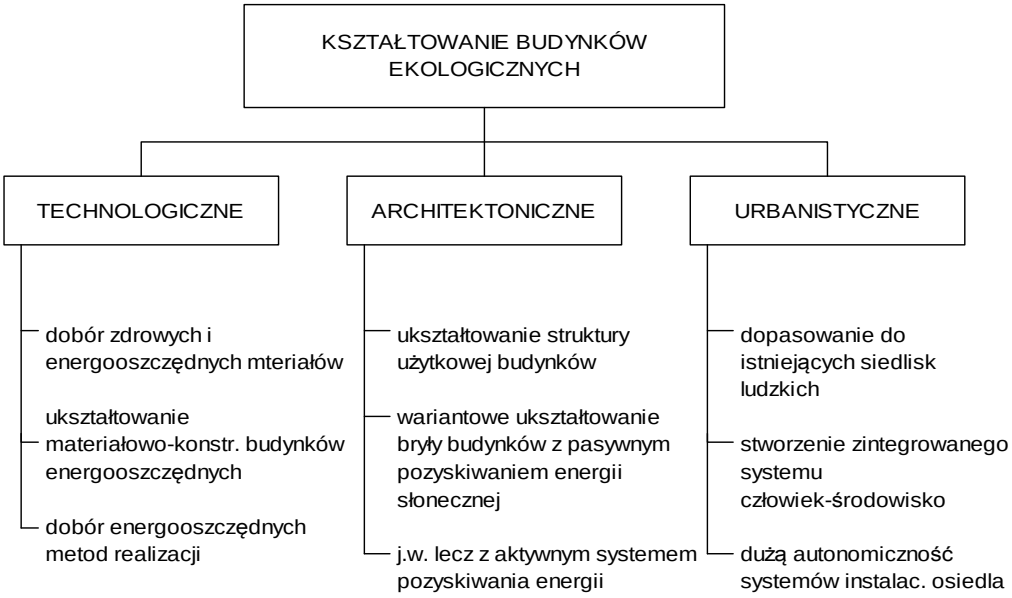
Schemat struktury działań w zakresie budownictwa ekologicznego został przedstawiony na rysunku 1.6.



Rys. 1.6. Schemat struktury działań w zakresie budownictwa ekologicznego. Źródło: [80]

W środowisku domowym - w mieszkaniu, pracy, w urzędach spędzamy ponad 80 % swojego życia. Łatwo wiec zrozumieć, że właściwe warunki wewnątrz zamkniętych pomieszczeń mają często dużo większy wpływ na kondycję ludzkiego organizmu niż pogoda, zanieczyszczone powietrze - mówiąc ogólnie - środowisko zewnętrzne. Do niedawna nikt nie podejrzewał, że chroniczne zapalenia gardła, nawracające alergiczne wysypki, złe samopoczucie, mogą mieć swoje źródło w niewłaściwie dobranych materiałach budowlanych. Dopiero pod koniec lat 70-tych w pismach medycznych pojawiło się określenie "Zespołu Chorego Budynku" (*Sick Buildig Syndrome - SBS*), pod którym krył się zespół dolegliwości, których podłoża dopatrywano się w oddziaływaniu na organizm elementów konstrukcyjnych, oraz materiałów użytych do wyposażenia wnętrz. Naukowcy zaczęli szczegółowo przypatrywać się „domowemu” środowisku. Zauważono, że u wielu osób niektóre dolegliwości

nasilają się podczas przebywania w domu, biurze lub innym zamkniętym pomieszczeniu [53; 117; 80; 157]. Dlatego też problem „zdrowych" materiałów budowlanych i budynków stał się istotnym i rozległym obszarem badawczym, wymagającym pilnego rozwiązania. Na rysunku 1.7 przedstawiono schemat kształtowania budynków ekologicznych.



Rys. 1.7. Schemat kształtowania budynków ekologicznych. Źródło: [80]

Dotychczasowa wiedza na temat SBS pozwala wyodrębnić najczęstsze przyczyny problemów zdrowotnych osób, użytkujących „chore budynki". Są to [11; 80]:

- czynniki chemiczne (emisja szkodliwych substancji);
- zjawiska radiacyjne (w tym także jonizacja powietrza na skutek promieniowania radioaktywnego);
- czynniki biologiczne (grzyby, pleśnie i drobnoustroje);
- czynniki projektowe (słabe oświetlenie, brak światła naturalnego);
- ograniczona wymiana powietrza wewnętrznego (zła jakość powietrza, przegrzewanie powietrza);
- oddziaływania wibracyjne i hałas[6].

Materiały budowlane coraz częściej są oceniane przez konsumentów nie tylko na podstawie ich przydatności w danej fazie procesu budowlanego, lecz również ze względu na ich właściwości i oddziaływanie na zdrowie ludzkie.

[6] Hałas – wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania mechaniczne ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz elementy organizmu człowieka – wg. Sadowski J. i Szudrowicz B.

Konsumenci opowiadają się za stosowaniem materiałów pochodzenia naturalnego lub biologicznego i jako gorsze postrzegają materiały z tworzyw sztucznych lub syntetycznych, co potwierdza aspiracje społeczeństwa do życia w „zdrowym otoczeniu".

I tak, np. wśród materiałów termoizolacyjnych, jako najbardziej przyjazna dla człowieka i środowiska postrzegana jest wełna celulozowa, która zyskuje na świecie coraz więcej zwolenników świadomych tego, jak istotny wpływ na jakość życia w budynku mają dostępne dziś technologie i materiały stosowane w budownictwie. Do zalet tego materiału można zaliczyć [79]:

- ekologiczny charakter zarówno produktu jak i procesu jego wytwarzania;
- zdolność „oddychania" - dzięki nie stosowaniu paroizolacji zapewnia przyjazny mikroklimat wewnątrz izolowanych przegród;
- izolacja powstaje prawie w 80% z recyklingu celulozy;
- bardzo dobre właściwości izolacji akustycznej;
- odporny na grzyby i pleśnie;
- trudnopalny – nie rozprzestrzeniający ognia.

Uwarunkowania ekologiczne maja także wpływ na przyjęte rozwiązania techniczne w zakresie systemów grzewczych zastosowanych w budynkach. Tradycyjne nośniki energii zastępowane są coraz częściej nośnikami energii odnawialnej. Do takich rozwiązań można zaliczyć, zastosowanie [16; 159; 80; 127; 78]:

- kolektorów słonecznych;
- pomp ciepła;
- ścian aktywnych słonecznie (np. ściana Trombe'a-Michela);
- kolektory ścienne powietrzne;
- okna słonecznie aktywne, itd.

Rubik [127], opisuje wiele rozwiązań dotyczących pozyskiwania nośników ciepła niskotemperaturowego dla pompy ciepła. Jednym ze sposobów pozyskania ciepła jest powietrze atmosferyczne, które charakteryzuje się bardzo istotną właściwością, a mianowicie użytecznym przedziałem temperatury od 4 ÷ 15 ^{o}C. Podaje również informacje, że produkowane są pompy ciepła przystosowane do eksploatacji przy temperaturze powietrza zewnętrznego do -15 ^{o}C. Cytując za materiałami informacyjnymi firmy OCTOPUS pompy ciepła najnowszej generacji mogą pracować nawet przy -35 ^{o}C temperatury powietrza zewnętrznego. Należy tutaj podkreślić, że ten sposób pozyskania ciepła z powietrza atmosferycznego należy do najmniej inwazyjnych w środowisko przyrodnicze.

Nowe podejście do projektowania i realizacji budownictwa zrównoważonego wymaga, aby budowlę oceniać jako element środowiska, rozpatrywany nie tylko w obrębie działki, lecz także w jego otoczeniu, zespole zabudowy, krajobrazie, jako konsumenta energii, producenta odpadów, trwale zmieniającego i kształtującego środowisko mieszkalne człowieka. Podejście to jest wzmocnione poprzez regulacje prawne mające bezpośredni, lub pośredni wpływ na wprowadzanie zasad zrównoważonego w sektorze budownictwa, które można podzielić na ustawy i rozporządzenia oraz normy. Pierwsze wyznaczają nieprzekraczalne ramy działalności, drugie uściślają wymagania stawiane konkretnym etapom procesu budowlanego [118-126; 148-153].

Respektowanie zasad zrównoważonego rozwoju obliguje sektor budownictwa do wznoszenia budynków spełniających określone kryteria społeczne, ekologiczne i ekonomiczne. Polskie doświadczenia minionego dziesięciolecia wyraźnie wskazują, że pozostawienie tego problemu wyłącznie mechanizmom rynkowym okazuje się nie do końca skuteczne, a spotykana nie najwyższa jakość użytkowa powstających obiektów i często niekontrolowane i nadmierne wykorzystywanie naturalnych zasobów jest zdecydowanie dalekie od wymagań zrównoważonego budownictwa, stanowiąc nierzadko ewidentne przykłady marnotrawstwa dostępnych zasobów środowiska (także nośników energetycznych).

Wspieranie aktywnej polityki budowlanej opartej na koncepcji rozwoju zrównoważonego oraz pożądanej kulturowo i społecznie rewaloryzacji istniejących zasobów mieszkaniowych staje się nakazem chwili. Wymaga to weryfikacji utartych poglądów na temat kształtowania wizji budownictwa przyszłości i przejścia od optymalizacji ekonomicznej, w odniesieniu do budynku jako dzieła materialnego, do optymalizacji środowiskowej, w zakresie kształtowania przestrzeni potrzebnej do życia i działalności człowieka [135].

Uzasadnia to konieczność wypracowania wielokryterialnych metod oceny obiektu budowlanego, w pełnym cyklu jego istnienia.

1.3. Rozwój metod oceny oddziaływania budynku na środowisko

W latach 90-tych, równolegle do działań zmierzających do racjonalnego użytkowania energii w budownictwie, rozwinięto szereg różnych metod ocen oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko. W założeniu podstawowym, oceny te miały dostarczać informacji umożliwiających tworzenie deklaracji środowiskowej budynku, a jednocześnie miały stymulować do

stosowania nowoczesnych i przyjaznych dla środowiska materiałów i technologii budowlanych. Najbardziej znany jest brytyjski system oceny BREEAM z 1990 roku (*Building Research Estebilistment Enviromental Assessment Method*). Znalazł on już praktyczne zastosowanie przy ocenie budynków komercyjnych, głównie biurowych ze względu na wymagania firm zajmujących się ich wynajmem w warunkach wysokiej konkurencji na rynku nieruchomości budowlanych. Metoda BREEAM uzupełniona została programem komputerowym ENVEST, który umożliwia porównanie dwóch rozwiązań zastosowanych w obiekcie na podstawie tzw. profili środowiskowych materiałów i elementów budowlanych zebranych w bibliotece danych programu, która powstała w wyniku wieloletniej współpracy przemysłu i ośrodków badawczych.

Na bazie BREEM powstał w Kanadzie podobny system oceny pod nazwą BREEM Canada 1992 i późniejszy BEEPAC z 1994 roku.

W USA w 1998 roku opracowano system znany pod akronimem LEED (*Leadership in Energy and Enviromental Desing*). Metoda ta została opracowana i jest nadal rozwijana przez członków US Green Building Council reprezentujących wszystkie grupy interesu przemysłu budowlanego, tj. producentów materiałów budowlanych, wykonawców, użytkowników, ośrodki badawcze i legislacyjne.

Metoda LEED koncentruje się na:

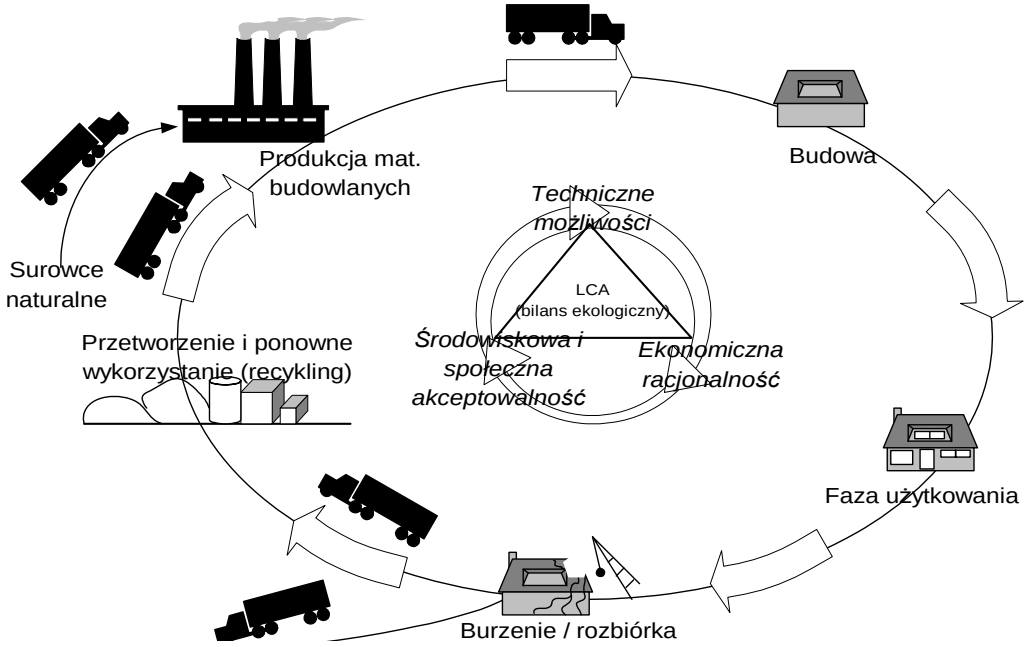
- zdefiniowaniu „zielonego" budynku o określonych walorach środowiskowych poprzez przyjęcie jednakowego standardu oceny;
- promocji zintegrowanej metody projektowania budynku;
- ustaleniu wzorców w dziedzinie budownictwa ekologicznego o zminimalizowanym oddziaływaniu na środowisko;
- stymulowaniu ekologicznego współzawodnictwa;
- podnoszenie świadomości konsumentów, co do korzyści płynących z zastosowania proekologicznego budownictwa;
- transformacji rynku budowlanego.

LEED jest oceną punktową umożliwiającą zakwalifikowanie budynku na podstawie ilości uzyskanych punktów do odpowiedniej kategorii w zakresie oddziaływania na środowisko (brązowej, srebrnej, złotej lub platynowej), co nie pozostaje bez wpływu na ukształtowanie się jego wartości rynkowej.

W drugiej połowie lat 90-tych rozwinięto szereg innych metod oceny oddziaływania, których podstawą jest ocena cyklu istnienia budynku LCA (Life Cycle Assesment), np. ECO QUANTIUM (Holandia), ESCALE i EQUER

(Francja), ECOEFECT (Szwecja), ECOPROFILE (Norwegia) czy ATHENA (Kanada) [92].

Cechą wspólną wymienionych metod jest próba oceny „od kołyski do grobu" dla wszystkich atrybutów środowiskowych związanych z budynkiem. Takie podejście do oceny jest wynikiem przekonania, że oddziaływanie budynku na środowisko powinno objąć pełen cykl istnienia budowli (rys.1.8.), a więc produkcję materiałów budowlanych rozszerzoną o pozyskiwanie surowców, ich przeróbkę, transport, proces budowy z uwzględnieniem zastosowanych technologii, użytkowanie budynku, a nawet jego rozbiórkę i recykling materiałów budowlanych [18; 32; 157; 2; 7; 52; 56; 138; 35; 145].



Rys. 1.8. Cykl istnienia budynku. Źródło: [44]

Trusty [146] metody oceny oddziaływania budynku na środowisko dzieli na cztery poziomy:

- narzędzia porównania produktów i informacji na temat ich pochodzenia (Poziom 1, np.: BEES, SimaPro);
- narzędzia wspomagania decyzji dla całego budynku (Poziom 2, np.: ATHENA, Eco-Quantum, ENVEST);
- narzędzia całościowej oceny budynku, struktury lub systemu (Poziom 3, np.: BREEAM, GBTool, EcoEffect, Ecoprofile, ESCALE, LEED);
- narzędzia i techniki wspomagające (Poziom 4, np.: Baseline Green, Green Balance, Green Building Advisor, LCNetbase, Whole Building Design Guide).

Według Kohlera [62] analiza LCA obiektów budowlanych rozwinęła się i dalej się rozwija w dwóch kierunkach:

- badania oddziaływania wyrobów budowlanych, procesów i usług na środowisko;
- badania kosztów obiektów charakteryzujących się znacznymi kosztami eksploatacji i długim okresem użytkowania.

Wyczerpujące omówienie zagadnień związanych z analizą energetyczno-ekologiczną obiektów budowlanych i określeniem równoważnych oddziaływań na środowisko z ostatnich pięciu lat to przede wszystkim opracowania Górzyńskiego [39; 40; 38] i Eyerera [31].

1.4. LCA jako metoda oceny oddziaływania budynku na środowisko i jej miejsce w międzynarodowych standardach serii ISO 14000_x

Wraz z rozwojem opisanych powyżej metod oceny oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko, szczególnego znaczenia nabierają te, które koncentrują się na pełnym cyklu istnienia budynku. Jak to już wspomniano w rozdziale 1.3 , jedną z takich metod, będącą relatywnie nową techniką oceny aspektów środowiskowych - jest LCA (*Life Cycle Assessment*). Ocena cyklu życia jest także uniwersalną techniką zarządzania środowiskowego, a jej niewątpliwą zaletą jest dążenie do uwzględnienia wszystkich czynników, które mogą potencjalnie wpływać na środowisko i związane są z określonym wyrobem lub działaniem. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) definiuje analizę cyklu istnienia jako *„koncepcję i metodologię stosowaną dla pełnego obrazu skutków ekologicznych związanych z określonym produktem lub działalnością poprzez analizę (ocenę) całego cyklu istnienia danego procesu, produktu lub działalności”* [147].

Definicja ta została rozwinięta przez (SETAC) Amerykańskie Stowarzyszenie Toksykologii Środowiska i według niej: *„oceny cyklu istnienia są zobiektywizowanym procesem mającym na celu oszacowanie obciążenia środowiska spowodowanego przez dany produkt, proces produkcyjny lub działalność, poprzez określenie zużycia energii i materiałów oraz zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska, ocenę skutków środowiskowych związanych ze zużyciem energii, materiałów i emisji zanieczyszczeń i w końcu ocenę możliwości poprawy w zakresie oddziaływania na środowisko*" [50; 49].

Ostateczna definicja LCA została przyjęta przez SETAC w 1995 roku. Zgodnie z nią LCA to technika mająca na celu ocenę zagrożeń środowiskowych

związanych z systemem wyrobu lub działaniem, zarówno przez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii oraz odpadów wprowadzanych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Ocena dotyczy całego okresu istnienia wyrobu lub działania-począwszy od wydobycia i przetwórstwa surowców mineralnych, procesu produkcji wyrobu, dystrybucji, stosowania, wtórnego wykorzystania, utrzymywania, recyklingu i końcowego zagospodarowania oraz transportu [67].

Należy podkreślić, iż pierwowzorem dla metody LCA był **bilans ekologiczny,** którego definicja jest w dużym stopniu zbieżna z przedstawionymi powyżej definicjami LCA. Niemiecki Urząd Ochrony Środowiska (*Umweltbundesamt*) definiuje bilans ekologiczny jako *„możliwie szerokie porównanie oddziaływań na środowisko dwóch lub większej liczby różnych produktów*[7]*, grup produktów, systemów, sposobów i zaleceń wykonywanych czynności. Służy on ujawnieniu słabych stron, polepszeniu własności ekologicznych produktu, określeniu prawidłowych decyzji przy wyborze i zakupach materiałów, wspieraniu produktów i sposobów postępowania przyjaznych środowisku, porównywaniu alternatywnych zaleceń oraz uzasadnieniu decyzji dotyczących handlu"* [87].

Według Becka, Schmidta i Häusleina bilans ekologiczny *„jest systematyczną i obszerną analizą identyfikującą całościowe oddziaływanie na środowisko ze szczególnym uwzględnieniem słabych stron, ich wnikliwą oceną i ustaleniem środków zaradczych celem trwałego zmniejszenia obciążenia środowiska"* [9; 129].

Podstawowym założeniem tak sformułowanych definicji ekobilansu jest systemowy sposób analizy obejmujący w sposób kompleksowy funkcjonowanie wielu elementów makrosystemu, tj. subsystemu zaopatrzenia (pozyskania surowców), subsystemu produkcji, dystrybucji wyrobów, recyklingu odpadów oraz gospodarki surowcami, wodą i energią. Należy również dodać, że ekobilans nie tylko skupia się na elementach składowych makrosystemu, lecz również analizuje związki między tymi elementami i ich wzajemne oddziaływanie oraz relacje ze środowiskiem w przestrzeni i czasie.

Brak znormalizowanej metodyki i ujednoliconej definicji pojęcia „bilans ekologiczny" zainspirował prace legislacyjne w tym zakresie. W efekcie tych prac, bilans ekologiczny wprowadzony został do rodziny norm ISO 14000 *(ISO – International Organisation of Standardization)*, co zaowocowało powstaniem dokumentów normalizacyjnych dotyczących oceny cyklu istnienia opracowanych przez ISO/TC 207 oraz ich polskich odpowiedników (tab. 1.5.).

[7] W normach PN-EN ISO 14040 stosowany jest termin „wyrób" obejmujący nie tylko „systemy wyrobu, lecz również systemy usług" [142, s.7]

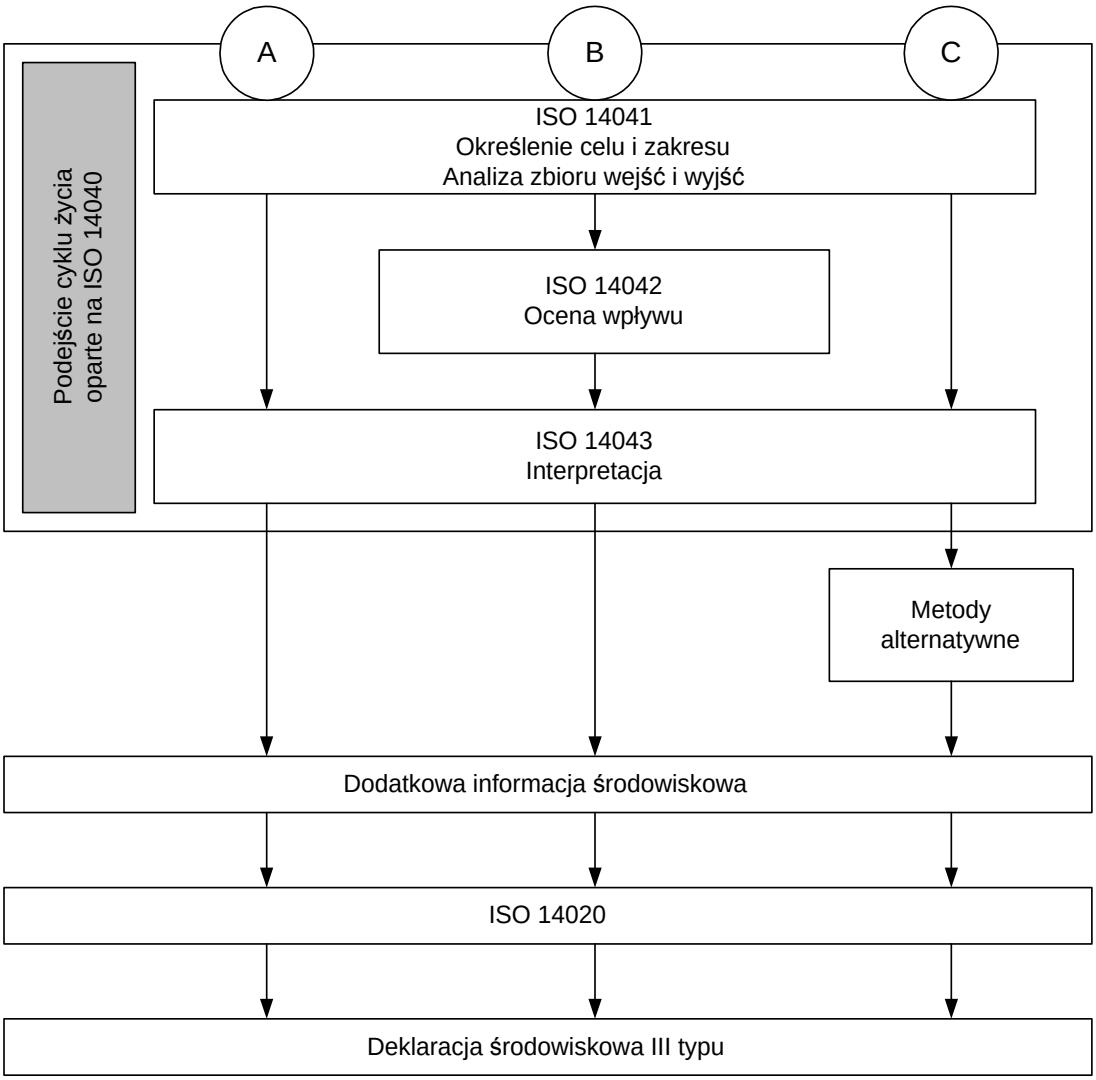
Po wprowadzeniu międzynarodowych standardów serii ISO 14040-14043, w literaturze przedmiotu i praktyce procesowej, dopuszcza się zamienne stosowanie określeń **ekobilans i LCA** mimo, iż niektórzy autorzy nadal podnoszą nieznaczne różnice występujące między nimi [3; 4].

Oznaczenie	Tytuł	Zakres
ISO 14040:1998 **PN-EN ISO 14040:2000**	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura; *Environmental managment - Life cycle assessment – principles and framework*	Struktura, ogólne zasady i wymagania dotyczące opracowania i dokumentowania LCA produktów
ISO 14041:1998 **PN-EN ISO 14041:2002**	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru; *Environmental managment - Life cycle assessment – goal and scope definition and inventory analilysis*	Wytyczne celu i zakresu LCA, a także opracowanie danych wejściowych i wyjściowych
ISO 14042:2000 **PN-EN ISO 14042:2002**	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Ocena wpływu cyklu życia; *Environmental managment - Life cycle assessment – life cycle impact assessment*	Wytyczne dotyczące oceny wpływu cyklu życia
ISO 14043:2000 **PN-EN ISO 14043:2002**	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Interpretacja cyklu życia; *Environmental managment* - Life cycle assessment – life cycle interpretation	Interpretacja wyników LCA
ISO TR/14047:2002 (PN brak)	Zarządzanie środowiskowe - Ocena wpływu cyklu życia - Przykłady zastosowania ISO 14042	Przykłady stosowania wytycznych zawartych w ISO 14042
ISO/TS 14048:2002 (PN brak)	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Format dokumentowania danych	Informacje dotyczące zasad formatowania danych wspomagających proces oceny cyklu życia. Format dokumentowania danych może być wykorzystany do zarządzania danymi środowiskowymi (elektronicznego komunikowania danych oceny działalności i benchmarkingu). Ułatwienie wykorzystania LCA w projektowaniu prośrodowiskowym, deklaracjach środowiskowych wyrobu, ekoznakowaniu
ISO/TR 14049:2000 (PN brak)	Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Przykłady ilustrujące zastosowania ISO 14041 do określania celu i zakresu oraz analizy zbioru	Przykłady stosowania wytycznych zawartych w ISO 14041

Tablica 1.5. Rodzina norm ISO 14000 dotycząca LCA. Źródło: Opracowanie własne

Bilans ekologiczny rozumiany jako ocena cyklu istnienia jest integralnie połączony z innymi dokumentami normalizacyjnymi (normy z grupy ISO 14020) dotyczącymi etykietowania środowiskowego i opracowania deklaracji

środowiskowych III typu (ISO/TR 14025) co znacznie rozszerza możliwości jego zastosowania – rys.1.9.



Rys.1.9. Zastosowanie procedur LCA według ISO 14040 do opracowania deklaracji środowiskowej. Źródło: ISO/TR 14025:2000

Deklaracje środowiskowe III typu podają skwantyfikowane informacje środowiskowe dotyczące wszystkich znaczących aspektów, opartych na procedurach i wynikach analizy cyklu istnienia (LCA) zgodnie z normami ISO 14040-43, ale mogą być również uzupełniane dodatkowymi informacjami, które nie dotyczą zagadnień związanych bezpośrednio z LCA, ale pozostających w związku z właściwościami środowiskowymi. Deklaracje III typu mogą być:

- opracowane przez producenta materiałów i wyrobów budowlanych,
- częścią programu, w którym sektor przemysłowy, np. budownictwa lub niezależna jednostka opracowuje format (zbiór kategorii parametrów, minimalne wymagania, formę prezentacji) i angażuje trzecie strony.

R O Z D Z I A Ł 2

CEL, ZAKRES I TEZY PRACY

Potrzeba działania na rzecz dynamicznego rozwoju budownictwa wynikająca z realizacji celów społecznych z jednej strony, z drugiej zaś strony fakt, iż działalność budowlana stanowi duże zagrożenie dla środowiska, stały się inspiracją do poszukiwania nowych technik i metod oceniających w sposób kompleksowy wpływ obiektów budowlanych na środowisko. W tym nurcie mieści się zaprezentowana w pracy wielokryterialna ocena wpływu obiektów budowlanych na środowisko, umożliwiająca także wskazanie kierunków działań zmierzających do ich doskonalenia w aspekcie środowiskowym zgodnie z koncepcją rozwoju zrównoważonego, która zakłada, między innymi zmniejszenie wykorzystania surowców energetycznych oraz ograniczenia wytwarzania substancji (emisji) szkodliwych dla ekosystemów i zdrowia ludzkiego.

Głównym celem pracy jest przygotowanie metody, która umożliwiłaby ocenę dowolnego obiektu budowlanego w pełnym cyklu jego istnienia „od kołyski po grób" oraz pozwoliła na identyfikację tych faz istnienia budynku w których występują największe obciążenia środowiskowe w celu ich zmniejszenia. Metoda ta powinna końcowy rezultat oceny przedstawiać w postaci kwantyfikowalnych wskaźników i tym samym stwarzać możliwość porównywania poszczególnych faz istnienia budynku między sobą i/lub całego budynku z innymi budynkami pełniącymi tę samą funkcję oraz generować propozycję prośrodowiskowo zorientowanych zmian w ich cyklu istnienia.

Realizacja głównego celu wymaga zdefiniowania systemu w ramach którego będą prowadzone badania ze względu na złożoność i różnorodność zagadnień występujących przy ocenie obiektów budowlanych. Nadrzędna potrzeba, spełnienia przez budynek wymagań podstawowych i konieczność

ukształtowania jego parametrów użytkowych już na etapie projektowania, uzasadnia realizację celów szczegółowych na które składają się:

- ocena cyklu istnienia materiałów i wyrobów budowlanych zastosowanych w konkretnym projekcie;
- ocena cyklu istnienia poszczególnych elementów budynku, z jednoczesną substytucją materiałów składających się na ten element;
- ocena cyklu istnienia na etapie użytkowania budynku z uwzględnieniem przede wszystkim jego charakterystyki energetycznej;
- opracowanie systemu rozrachunku środowiskowo-ekonomicznego wybranego elementu budowy, tj. ściany zewnętrznej z uwagi na duże możliwości optymalizacji współczynnika przenikania ciepła i uzyskania korzyści środowiskowych w fazie użytkowania budynku.

Hipotezy badawcze pracy sformułowano następująco:

- LCA jest instrumentem pozwalającym w sposób kompleksowy ocenić wpływ obiektu budowlanego na środowisko z jednoczesną hierarchizacją analizowanych faz istnienia w oparciu o kwantyfikowalne wskaźniki;
- LCA jest techniką pozwalającą na połączenie optymalizacji ekonomicznej i środowiskowej przegrody zewnętrznej, co w konsekwencji powinno prowadzić do zmniejszenia zużycia energii i obniżenia emisji gazów cieplarnianych.

Udowodnienie powyższych hipotez badawczych wychodzi naprzeciw wymaganiom sformułowanym, między innymi, w Dyrektywie Rady Wspólnot Europejskich w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych (89/106/EEC) i Dyrektywy EPBD – 2002/91/EC dotyczącej jakości energetycznej budynku (*Energy Performance of Buildings Directive*), a dotyczy generalnie oszczędności energii i ochrony przed emisjami gazów cieplarnianych, zgodnie z realizacją koncepcji budownictwa zrównoważonego.

R O Z D Z I A Ł 3

METODYKA ŚRODOWISKOWEJ OCENY CYKLU ISTNIENIA W ODNIESIENIU DO OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

3.1. Założenia wstępne

Metodyka środowiskowej oceny cyklu istnienia rozwinęła się dynamicznie w latach 90tych i dorobek w tym obszarze przedstawiony został, między innymi w [54; 24; 147; 50; 70; 61a÷61d; 130]. Od 1998 roku, tj. od wydania norm serii ISO 140040-43 nadano jej sformalizowany charakter, zgodnie z którym prawidłowo przeprowadzona analiza LCA obejmuje cztery następujące po sobie etapy opisane w powyższych normach (rys. 3.1):

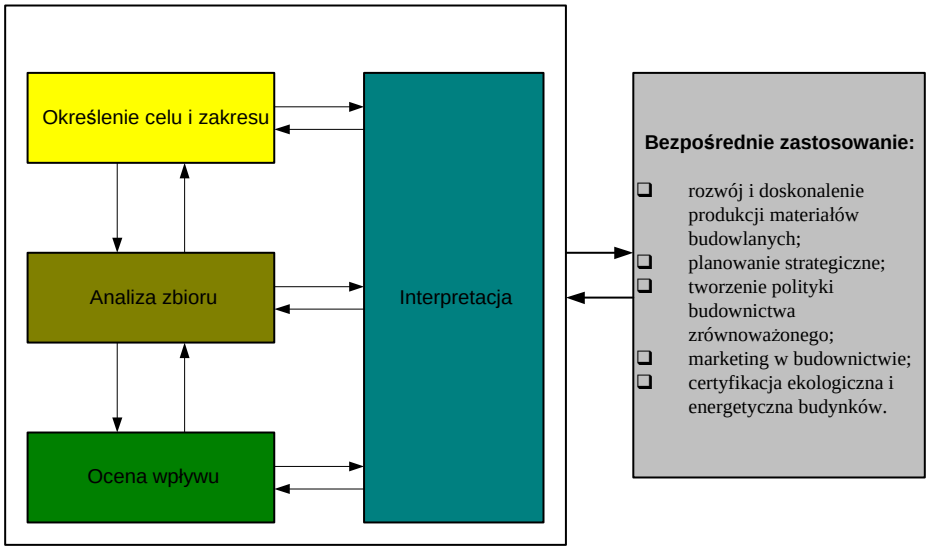
- Określenie celu i zakresu (*Goal and Scope Definition*);
- Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI – *Life Cycle Inwentory*);
- Ocena wpływu cyklu życia (LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*);
- Interpretacja (*Interpretation*).

Adaptowania metodyki LCA do oceny obiektów budowlanych wymaga całościowej analizy systemu - wewnętrznego (obiektu budowlanego) i ustalenia jego relacji z systemem zewnętrznym (środowiskiem) (rys. 3.2).

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

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

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

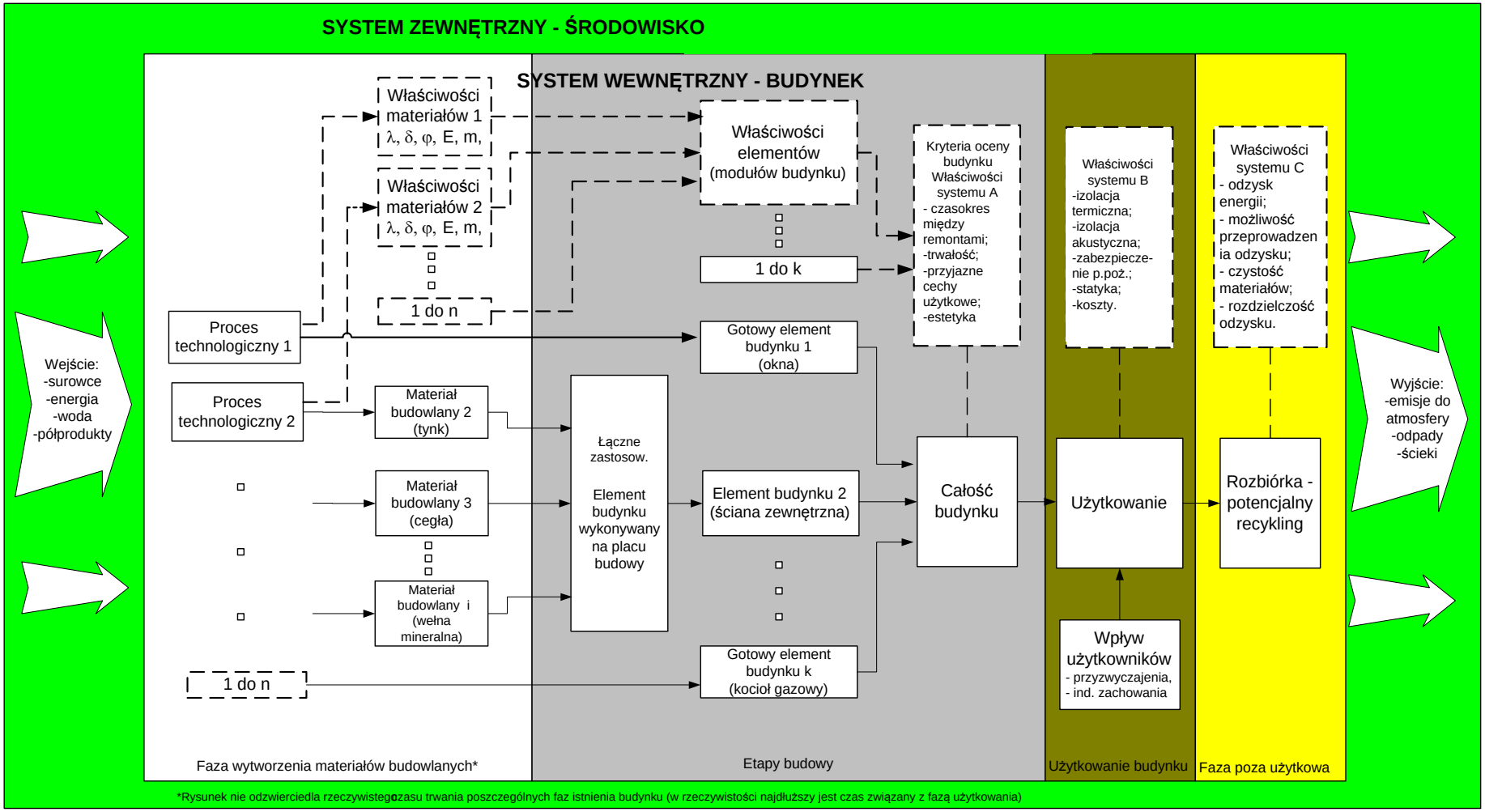


Rys. 3.1. Fazy oceny cyklu życia. Źródło: opracowanie własne na podstawie [100]

Na fazę wytworzenia materiałów i wyrobów budowlanych składa się (1 do n) procesów technologicznych, w wyniku których powstaje (1 do n) wyrobów charakteryzujących się określonymi właściwościami, np. współczynnikiem przenikania ciepła, porowatością, wytrzymałością, ciężarem właściwym, wymiarami, itp. Materiały o porównywalnych właściwościach i takich samych cechach użytkowych mogą na etapie wytworzenia różnić się wielkością interwencji środowiskowych, w zależności od zastosowanych technologii.

Faza budowy obejmuje poszczególne elementy/moduły budynku, (1 do k). Niektóre z tych elementów, np. przegrody budowlane (ściany zewnętrzne i wewnętrzne) strop, dach, które składają się na jego integralną całość, wykonywane są bezpośrednio na placu budowy. Każdy z tych elementów może być wykonany z różnych materiałów o zdefiniowanych właściwościach, które z kolei wpływają na wymagane właściwości danego elementu. Na przykład, ściana zewnętrzna musi spełniać określone parametry statyczne, ale także powinna charakteryzować się określonym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Jej końcowe właściwości będą zależały zatem od permutacji materiałów z których jest wykonana (np. cegła, warstwa izolacyjna ze styropianu, tynk zewnętrzny lub alternatywnie – bloczek gazobetonowy, ekofiber, tynk). Zastosowanie elastycznego podejścia w doborze materiałów składających się na poszczególne elementy budynku wpływa w efekcie końcowym na bilans ekologiczny (LCA) całości. W ten sposób fizycznie takie same budynki mogą charakteryzować się różnymi bilansami ekologicznymi, a identyfikacja wielkości oddziaływania na środowisko w poszczególnych kategoriach wpływu pozwala

już na etapie projektowania wybrać rozwiązania bardziej dla środowiska korzystne.



Rys. 3.2. LCA obiektu budowlanego w ujęciu systemowym. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [31]

Niektóre elementy budynku dostarczane są na budowę w postaci gotowej i wymagają jedynie prac montażowych, np. okna, system grzewczy, rynny, schody.

Faza budowy kończy się z chwilą oddania budynku do użytkowania. Gotowy budynek charakteryzuje się zbiorem właściwości „A", na które składają się zarówno wymagania techniczne jak i wymagania użytkowników, np. trwałość, funkcjonalność, estetyka.

Faza użytkowania charakteryzuje się zbiorem właściwości subsystemu „B", które zostały określone już na etapie projektu i fazy budowy poprzez dobór określonych materiałów determinujących skuteczność izolacji termicznej, akustycznej jak również wydajność zastosowanych systemów grzewczych i stopień zabezpieczenia przeciw pożarowego budynku oraz jego trwałość. Właściwości subsystemu „B" w połączeniu z przyzwyczajeniami i zachowaniami użytkowników wpływają na wielkość interwencji środowiskowych generownych podczas tej fazy.

Faza likwidacji określona jest zbiorem właściwości „C" na które składają się możliwości recyklingu materiałów budowlanych powstałych w wyniku rozbiórki budynku. Istotną cechą jest możliwość ich selektywnego gromadzenia w połączeniu z dużym stopniem czystości w celu utylizacji i ewentualnego ponownego wykorzystania w cyklach istnienia nowych wyrobów, o tym samym lub innym przeznaczeniu.

Tak więc, analizowany budynek tworzy pewną całość (system wewnętrzny) utworzoną z części mniejszych (subsystemów), następujących po sobie sekwencyjnie w określonej przestrzeni i czasie, wzajemnie powiązanych sprzężeniami zwrotnymi. System ten funkcjonuje w powiązaniu z otoczeniem - systemem zewnętrznym jakim jest środowisko i technosfera.

Oddziaływanie systemu wewnętrznego na otoczenie (na system zewnętrzny) odbywa się na „wejściu" poprzez pobór ze środowiska i technosfery surowców i materiałów oraz energii, które są wykorzystywane i przetwarzane w poszczególnych procesach we wszystkich fazach istnienia budynku. Procesy te generują powstawanie odpadów i emisji materiałowych i poza materiałowych, które na „wyjściu" z systemu wewnętrznego usuwane są do środowiska powodując w nim określone szkody ekologiczne.

LCA obiektu budowlanego ma szczególne znaczenia dla identyfikacji „słabych miejsc" procesów odbywających się w systemie wewnętrznym, albowiem ich poprawa może wpływać zarówno na zmniejszenie presji budownictwa na zasoby środowiska, jak i zmniejszać poziom emisji wydalanych do systemu zewnętrznego.

3.2. Metodyka oceny cyklu istnienia budynku wg standardów serii ISO 14040-14043I

3.2.1.Definicja celu i zakresu LCA (*Goal and Scope Definition*) (ISO 14041)

Ten etap jest szczególnie istotny ponieważ determinuje sposób prowadzenia badań oraz stopień ich szczegółowości. Celem badań jest określenie oddziaływania na środowisko budynku mieszkalnego, jednorodzinnego z garażem, wolnostojącego parterowego z możliwością zagospodarowania poddasza o powierzchni użytkowej 137,1 m^2 (kubatura budynku 720 m^3) oraz próba zmniejszenia tego negatywnego oddziaływania poprzez permutacje materiałów zastosowanych w poszczególnych elementach budynku. Celem badań jest także identyfikacja najbardziej dominujących pod względem uciążliwości środowiskowych faz istnienia budynku oraz podjęcie na etapie projektowania próby ich poprawy. Realizacja tych celów w efekcie końcowym może służyć opracowaniu deklaracji środowiskowej budynku, coraz bardziej pożądanej w warunkach dużej konkurencji na rynku nieruchomości.

Cel badań determinuje szczegółowość, wnikliwość i zakres badań oraz odpowiednie rodzaje danych potrzebnych do przeprowadzenia oceny. Zrozumienie celu i zastosowania badań daje podstawę do określenia i zdefiniowania dwóch kwestii:

- systemu wyrobu (produktu) oraz jego granic;
- jednostek funkcjonalnych.

Określenie **systemu wyrobu** jest to zidentyfikowanie wszystkich operacji związanych z wyrobem i/lub działaniem. System rozumiany jest jako zbiór materiałowo i energetycznie połączonych procesów jednostkowych, które spełniają jedną lub więcej określonych funkcji. Granice systemu determinują, które procesy jednostkowe powinny być włączone do oceny cyklu istnienia, a które można pominąć przy opracowaniu bilansu obiektu budowlanego. W niniejszej pracy system budynku obejmuje fazę wytworzenia wyrobów i materiałów budowlanych, fazę budowy i fazę użytkowania budynku, określoną przedziałem czasowym ekonomicznie uzasadnionego okresu użytkowania rozumianego jako okres eksploatacji obiektu budowlanego, podczas którego właściwości użytkowe obiektu są utrzymywane na poziomie umożliwiającym spełnienie wymagań podstawowych[8]. Zwykle jest to przedział czasowy do pierwszego kapitalnego remontu. Poza

[8] Wymagania podstawowe zgodnie z *Prawem budowlanym* dotyczą: bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, bezpieczeństwa użytkowania, odpowiednich warunków higieniczno-zdrowotnych oraz ochrony środowiska, ochrony przed hałasem i drganiami, oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych

systemem pozostawiono dalszy okres fazy użytkowej i fazę rozbiórki. Uzasadnienie dla tak przyjętych granic systemu stanowi fakt, iż długi czas użytkowania budynku, do okresu pierwszego remontu wynoszący przy prawidłowo prowadzonej konserwacji i prawidłowym użytkowaniu 20 – 25 lat [72] powoduje, że trudno ocenić jakie materiały i wyroby będzie można wykorzystać do remontu i w jakim stopniu wpłyną one na właściwości subsystemu „B". Można przypuszczać, z dużym prawdopodobieństwem, że wykorzystanie w tym czasie najlepszych dostępnych technik budowlanych i lepszych jakościowo, ze względu na postęp technologiczny materiałów będzie oddziaływało w efekcie końcowym na poprawę bilansu ekologicznego budynku w fazie użytkowania.

Z tych samych względów poza granicami systemu pozostawiono fazę rozbiórki. Prawdopodobnie usprawniony system recyklingu materiałów budowlanych i lepsze techniki i technologie ich przetworzenia w perspektywie nawet 100 letniego okresu użytkowania budynku będą stanowiły ewidentną korzyść środowiskową i aby uniknąć randomizacji tej fazy istnienia budynku nie oceniono.

Jednostka funkcjonalna powinna odpowiadać celowi i zakresowi badań, a głównym jej zadaniem jest zapewnienie odniesienia dla normowania danych wejściowych i wyjściowych systemu. Z tego też względu powinna być ona jasno określona i mierzalna. Po zdefiniowaniu jednostki funkcjonalnej należy określić ilość wyrobu niezbędną do wykonania funkcji - czyli tzw. **strumień odniesienia**. W sytuacji, gdy LCA jest przeprowadzana w celu całościowego określenia oddziaływania na środowisko konkretnego budynku, jako jednostkę funkcjonalną przyjęto cały budynek mieszkalny o powierzchni 137,1 m^2 pełniący określoną funkcję (budynek jednorodzinny), posiadający właściwości i cechy użytkowe zdefiniowane w subsystemie „B" – rys. 3.2.

Mając jednak na uwadze fakt, iż system budynek składa się z kilku subsystemów, ustalono dla ich oceny dodatkowe jednostki funkcjonalne i tak, w fazie produkcji materiałów i wyrobów budowlanych jako jednostki przyjęto: jednostkę masy (kg), objętości (m^3) i jednostkę powierzchni (m^2) badanego wyrobu. Na etapie fazy budowy jako jednostkę funkcjonalną przyjęto jednostkę objętości (np. m^3 ławy fundamentowej) lub jednostkę powierzchni analizowanego elementu budowy (np. m^2 ściany zewnętrznej), a na etapie fazy użytkowania ogrzanie m^2 powierzchni budynku w sezonie grzewczym.

Należy podkreślić, że LCA jest techniką iteracyjną, a to oznacza że zakres badań może ulegać modyfikacji w miarę gromadzenia danych, a także możliwe jest ewentualne rozszerzenie przyjętych na wstępie granic systemu jeśli w trakcie przeprowadzania walidacji i oceny niepewności danych na etapie analizy zbioru stwierdzi się taką konieczność.

3.2.2. Analiza zbioru wejść i wyjść – inwentaryzacja danych (*LCI – Life Cycle Inwentory*) (ISO 14041)

Założenia tego etapu są wzorowane na wspomnianych wcześniej bilansach materiałowo – energetycznych. Dane wejściowe – zestawienia ilości materiałów i energii wchodzącej do systemu oraz dane wyjściowe - ilości emisji, które opuszczają system jako uwolnienia materiałowe i poza materiałowe do środowiska, są gromadzone i analizowane w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej w ramach zdefiniowanych wcześniej procesów jednostkowych i przyjętych granic systemu. Jakościowe i ilościowe dane włączone do zbioru powinny być identyfikowane w obrębie każdego procesu jednostkowego, który znalazł się wewnątrz systemu. Procedury zastosowane do gromadzenia danych mogą się zmieniać w zależności od zakresu procesu jednostkowego lub zamierzonego wykorzystania badań.

Inwentaryzacja danych jest zbilansowaniem "*tego co wchodzi do systemu wyrobu i tego co system opuszcza*" i jest tym etapem LCA, który został opracowany oraz ujednolicony w największym stopniu. Sprzyja temu zastosowanie programów komputerowych, dysponujących bogatą bazą danych oraz umożliwiających przetwarzanie danych uzyskanych bezpośrednio z praktyki procesowej [26].

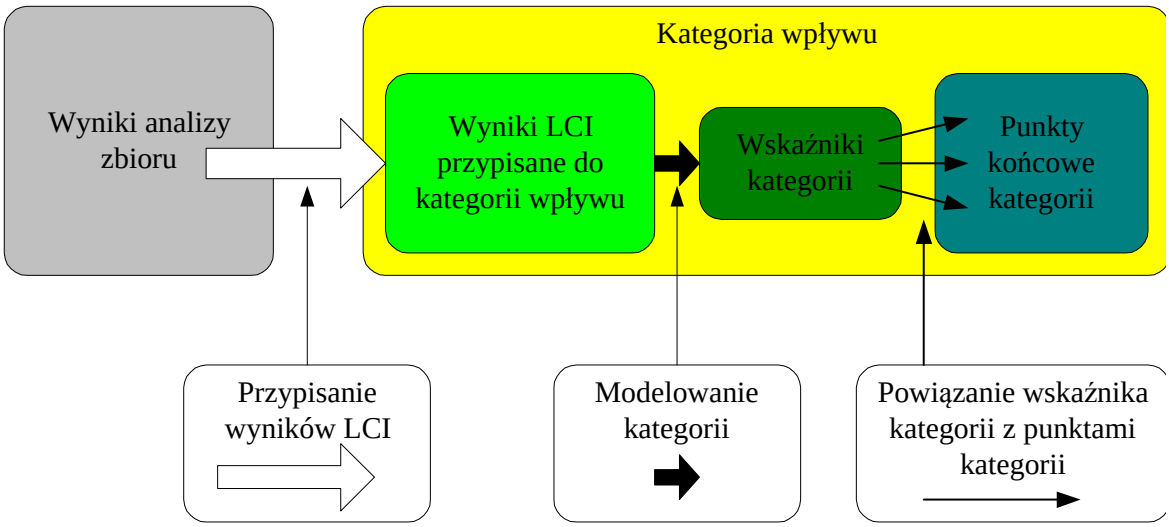
Szczegółowe przykłady stosowania ISO 14041 do określenia celu i zakresu oraz analizy zbioru wejść i wyjść w cyklu życia przedstawiono w raporcie technicznym ISO/TR 14049.

3.2.3. Ocena wpływu cyklu istnienia (*LCIA – Life Cycle Impact Assessment*) (ISO 14042)

Etap ten ukierunkowany jest na zrozumienie i ocenę wielkości oraz znaczenia potencjalnych wpływów systemu wewnętrznego - budynku, na system zewnętrzny - środowisko. Na tym etapie wykorzystuje się modelowanie kwestii środowiskowych, nazwanych kategoriami wpływu oraz stosowanie wskaźników kategorii środowiskowych.

Na rys. 3.3 zilustrowano przypisanie wyników analizy zbioru do kategorii wpływu, przekształcenie i agregację wskaźników kategorii przy wykorzystaniu modelu charakteryzowania i związane z nimi punkty końcowe kategorii[9] [47].

[9] Kategoria wpływu wg normy ISO 14042 jest to „klasa reprezentująca rozpatrywane kwestie środowiskowe do których mogą być przypisane wyniki LCI, a wskaźnik kategorii jest to ilościowe przedstawienie kategorii wpływu".



Rys. 3.3. Ogólna koncepcja oceny wpływu cyklu życia LCIA. Źródło: [47]

Podział kategorii według rodzaju oddziaływania na środowisko zgodnie z klasyfikacją SETAC przedstawiono w tabeli 3.1.

Kategoria	Oznaczenie zakresu	Rodzaje oddziaływań
1.	R, E	Wykorzystanie surowców
2.	E	Efekt cieplarniany
3.	E, M	Niszczenie warstwy ozonowej
4.	M	Działanie toksyczne dla człowieka
5.	E	Działanie toksyczne na organizmy żywe
6.	E	Zakwaszenie gleby i wody
7.	E	Eutrofizacja zbiorników wodnych
8.	M, E	Tworzenie smogu fotochemicznego
9.	R, E	Wykorzystanie powierzchni
10.	M	Obciążenia
11.	M	Zagrożenia zdrowia w miejscu pracy
12.	E	Promieniowanie i oddawanie ciepła
13.	E, M	Odpady
14.	E, M	Naruszenie równowagi środowiskowej – jakość środowiska

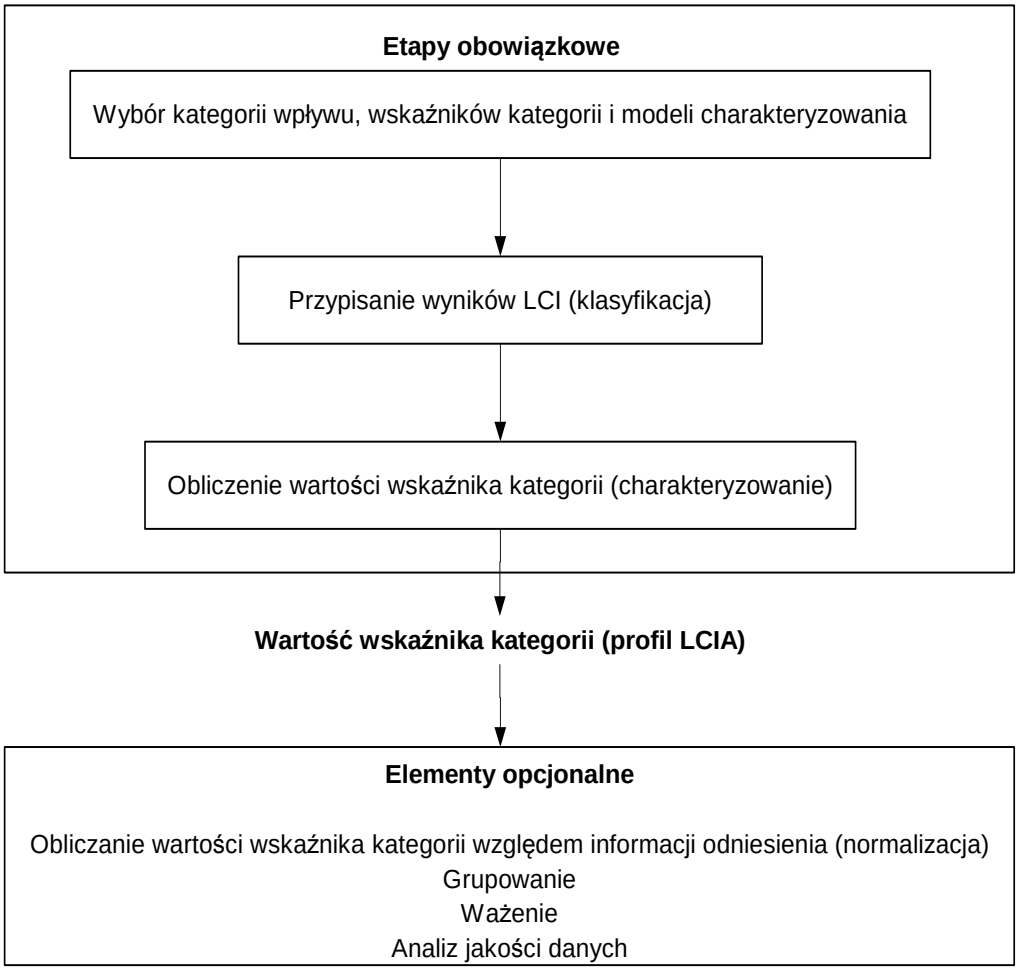
E — funkcjonowanie ekosystemu, M — zdrowie i samopoczucie człowieka, R — surowce

Tablica 3.1. Kategorie oddziaływań na środowisko wg SETAC. Źródło: [20]

Należy podkreślić, że ocena wpływu cyklu życia zgodnie z normą ISO 14042 obejmuje elementy obowiązkowe i opcjonalne, co obrazuje rys. 3.4.

Elementami obowiązkowymi są:

- wybór i określenie kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania,
- klasyfikacja, tzn. przypisanie danych zbioru do kategorii wpływu,
- charakteryzowanie, modelowanie danych zbioru w ramach kategorii wpływu w postaci wskaźnika kategorii, dające w wyniku wartości wskaźników kategorii - obliczenie wartości wskaźnika, które obejmuje wybór i zastosowanie parametrów charakteryzowania do przekształcenia przypisanych wyników LCI na jednostki ogólne oraz agregację przekształconych wyników LCI w wartość liczbową wskaźnika (patrz tablica 3.2.).



Rys. 3.4. Elementy fazy LCIA. Źródło: [98]

Oprócz elementów obowiązkowych w LCIA mogą być uwzględnione również poniższe elementy opcjonalne:

- normalizacja, tzn. obliczanie wartości wskaźnika kategorii względem informacji odniesienia, polegające na przekształceniu wartości wskaźnika przez wybraną wartość odniesienia; przykładem wartości odniesienia są całkowite emisje lub zużycie zasobów dla danego obszaru (kraju, regionu);
- grupowanie, tzn. porządkowanie i w miarę możliwości uszeregowanie kategorii wpływu, polegające na przypisaniu kategorii wpływu do jednego lub więcej zbiorów, charakterystyk, takich jak emisje i zasoby lub skali przestrzennej - globalnej, regionalnej lokalnej określonej hierarchii, na przykład wysokiego, średniego i niskiego priorytetu;
- ważenie, tzn. przekształcenie wartości wskaźnika różnych kategorii wpływu za pomocą parametrów liczbowych, które może obejmować przekształcenie wartości wskaźnika lub znormalizowanych wartości z wykorzystaniem wybranych współczynników ważenia oraz agregowanie przekształconych wartości wskaźnika lub wartości znormalizowanych w obrębie kategorii wpływu (ważenie jednych wpływów w stosunku do innych);
- analiza jakości danych obejmuje dodatkowe techniki i informacje, które mogą być niezbędne dla lepszego zrozumienia znaczenia, niepewności i wrażliwości wyników LCIA, np. dla przeprowadzenia procesu iteracyjnego.

Szczegółowe przykłady stosowania ISO 14042 do oceny wpływu w cyklu życia będą podane w raporcie technicznym ISO/TR 14047.

Wyniki LCI (kg/jednostkę funkcjonalną)		Parametr charakteryzowania efekt cieplarniany (GWP – Global Warrming Potential)	Wartość wskaźnika
CO_2	2	1	2
CH_4	0,5	0,5	0,25
CFC	0,001	200	0,20
			2,45 kg równoważnego CO_2

Przekształc
wyniki LC

Tablica. 3.2. Kategoria wpływu – Globalne ocieplenie. Źródło: [47]

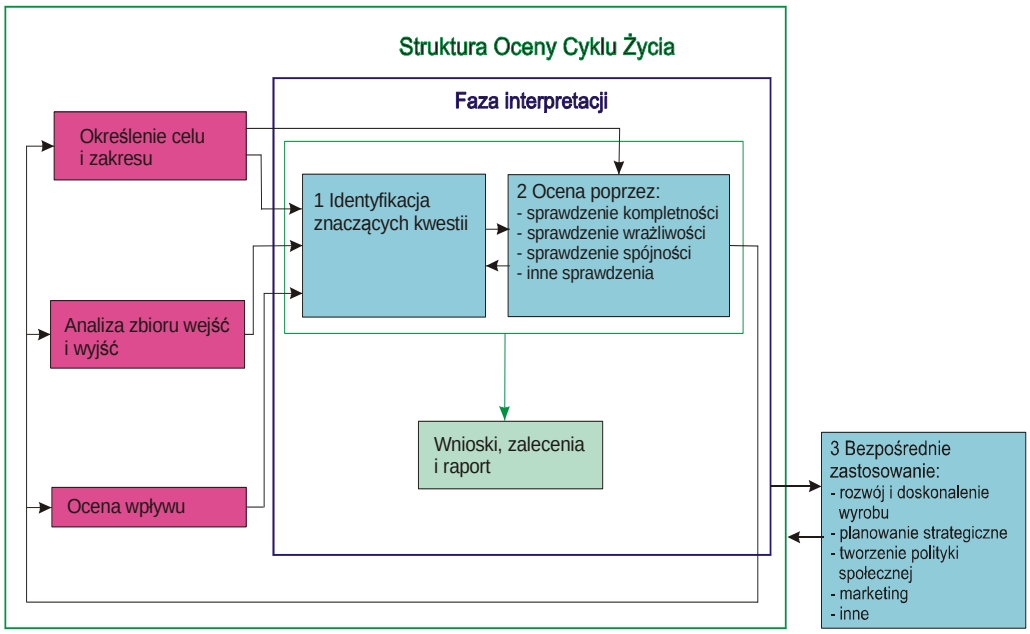
3.2.4. Interpretacja oceny cyklu istnienia (*Interpretation*) (ISO 14043)

Interpretacja oceny cyklu istnienia jest systematyczną procedurą identyfikacji, kwalifikacji, weryfikacji i ostatecznej oceny informacji uzyskanych w wyniku analizy inwentaryzacyjnej LCI i/lub LCIA. Na tym etapie formułuje się końcowe wnioski – zgodnie z założonym na początku celem i zakresem badań. Można w tej fazie wskazać te fazy cyklu istnienia budynku, które generują największe zagrożenia dla

środowiska. Etap interpretacji może obejmować iteracyjny proces przeglądu i aktualizacji zakresu LCA, jak również rodzaju i jakości zgromadzonych danych pod kątem zgodności z określonym celem.

Jednocześnie w tej fazie ustala się sposoby zminimalizowania wpływu na środowisko, np. na etapie projektowania i budowy - poprzez zamianę materiałów budowlanych na bardziej „przyjazne" środowisku, charakteryzujące się mniejszą wartością LCA na etapie ich wytworzenia oraz poprzez optymalizację grubości warstwy izolacyjnej w przegrodzie budowlanej w celu poprawy współczynnika przenikania ciepła, na etapie użytkowania budynku - poprzez zastosowanie rozwiązań zmniejszających zapotrzebowanie na ciepło w sezonie grzewczym.

Powiązanie elementów fazy interpretacji z innymi fazami LCA przedstawiono na rys. 3.5.



Rys. 3.5. Powiązanie elementów fazy interpretacji z innymi fazami LCA. Źródło: [101]

Ocena (wg rysunku 3.5) ma na celu uzyskanie i ugruntowanie zaufania do badań oraz wiarygodności wyników badań LCA lub LCI oraz zaprezentowanie wyraźnego i zrozumiałego poglądu na rezultaty badań.

Wnioski z badań LCA lub LCI powinny być formułowane z uwzględnieniem wzajemnych zależności między innymi elementami fazy interpretacji. Konsekwencją wniosków są zalecenia dla podejmujących decyzje. Ostatnim elementem fazy interpretacji jest raport, który powinien zawierać kompletne i bezstronne sprawozdanie z badań.

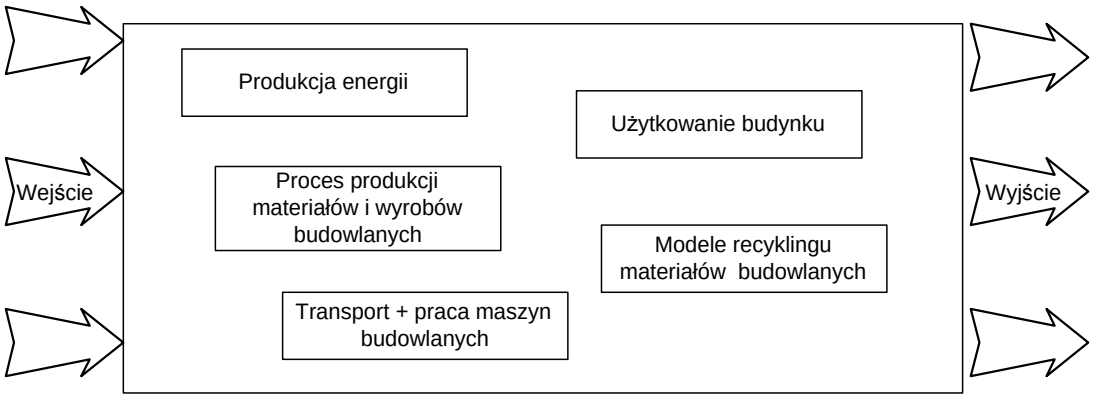
Ocena cyklu istnienia (LCA) wymaga gromadzenia, opracowywania i wymiany dużej ilości danych dotyczących materiałów i procesów. Zbieranie i wymianę

danych, ich dostępność, zapewnienie porównywalności i jakości danych stosowanych w LCA ułatwia specyfikacja techniczna **ISO/TS 14048**, wprowadzająca znormalizowany format dokumentowania danych LCA, który może być wykorzystywany również do elektronicznego komunikowania danych dotyczących systemu wyrobu. ISO/TS 14048 ułatwia również wykorzystanie LCA w coraz szerszych zastosowaniach, takich jak projektowanie pod kątem środowiska, deklaracje środowiskowe wyrobu, ekoznakowanie.

3.3. Obliczenie końcowej oceny cyklu istnienia z wykorzystaniem techniki komputerowej (program Sima Pro 5.1)

Rozwój zakresu analizy przepływów i występowanie jednostek funkcjonalnych o coraz to większym stopniu złożoności powodują, że przeprowadzenie badań LCA mających na celu wybór optymalnego rozwiązania lub nawet tylko ocenę oddziaływań systemu na środowisko jest trudne lub wręcz niemożliwe bez zaangażowania specjalistycznych narzędzi w postaci programów komputerowych. Dotyczy to zwłaszcza modelowania systemów, analizy scenariuszy i optymalizacji rozwiązań.

Podstawą charakterystyki budynku jest analiza wpływów i sprzężeń zwrotnych zarówno w systemie wewnętrznym (budynku), jak i uchwycenie powiązań i relacji z systemem zewnętrznym – środowiskiem. Bilans ekologiczny budynku jest opisywany przez około 400 przepływów input i output (wejściowych i wyjściowych) (przepływy masy i energii). Permutacje łańcuchów procesowych (modele przygotowania wyrobów i materiałów budowlanych oraz poszczególnych elementów budowy), wytworzenie energii, rodzaje zastosowanego transportu i praca sprzętu budowlanego, wpływy fazy użytkowania budynku, modele recyclingu podwyższają zmieniające się parametry o dalsze 200 wpływów. Bez zawansowanych technik komputerowych przeprowadzenie końcowej oceny byłoby niemożliwe.



Rys. 3.6. Zmienne wielkości LCA budynku. Źródło: [31]

Ocenę końcową LCA wspomaga obecnie ponad czterdzieści komercyjnych wersji programów. Pod względem możliwości aplikacyjnych i dużego rozpowszechnienia na uwagę zasługuje zwłaszcza **program SimaPro 5.1** opracowany przez Pre Consultans B.V. w Holandii i wykorzystywany w niniejszej pracy.

Wykorzystując SimaPro 5.1 do oceny cyklu życia wyrobu, można skorzystać z kilku procedur obliczeniowych[10], takich jak:

- CML[11] 1992;
- CML 2 linia bazowa 2000;
- Eko-wskaźnik 95;
- Eko-wskaźnik 99;
- Ekopunkty 97 (CH);
- EDIP/UMIP[12] 96;
- EPS[13] 2000.

Struktura metod obliczania oddziaływania na środowisko stosowana w programie SimaPro jest następująca:

- Charakteryzacja;
- Ocena szkód w środowisku;
- Normalizacja;
- Określanie średniej ważonej.

Program SimaPro jest wyposażony w bogatą bibliotekę zawierającą standardowe dane wejściowe do opracowania projektu oraz wyszukiwarkę, umożliwiającą dostęp do wszystkich typów danych w oprogramowaniu i w ocenie końcowej stwarza możliwość porównania interwencji środowiskowych wyrobów na podstawie uzyskanych jednostek *Pt*[14]. Umożliwia on również analizowanie i/lub porównywanie produktów o złożonych cyklach istnienia [77].

Baza danych składa się z trzech części:

- dane pochodzące z rozpatrywanego projektu, do których użytkownik wprowadza informacje zawarte w projekcie;

[10] Szczegółowo wady i zalety wszystkich procedur zaprezentowano w rozdz. 5 pkt.5.2.1. – 5.2.5.

[11] CML – Centre of Environmental Science- Centrum Nauki o Środowisku

[12] EDIP/UMIP – Environmental Design of Industrial Products in Danish UMIP – Środowiskowo Zorientowane Projektowanie Produktów Przemysłowych – Dania UMIP

[13] EPS – Environmental Priority Strategies in Product Design – Priorytetowe Strategie Środowiskowe w Projektowaniu Produktów

[14] Pt **punkt eko-wskaźnika (Pt)** oraz jego podwielokrotności np. mili-punkt (mPt). Wartość 1 Pt reprezentuje jedną tysięczną rocznego obciążenia środowiska jednego mieszkańca Europy. Wartość tę oblicza się poprzez podzielenie całego obciążenia środowiska w Europie przez liczbę mieszkańców i pomnożenie przez 1000 (czynnik skali).

- biblioteka danych, która zawiera dane służące jako źródło informacji do wykonywanego projektu;
- baza danych ogólnych, w której przechowywane są dane służące do wszystkich pozostałych baz danych i projektów, takie jak przeliczniki jednostek i centralna lista nazw substancji.

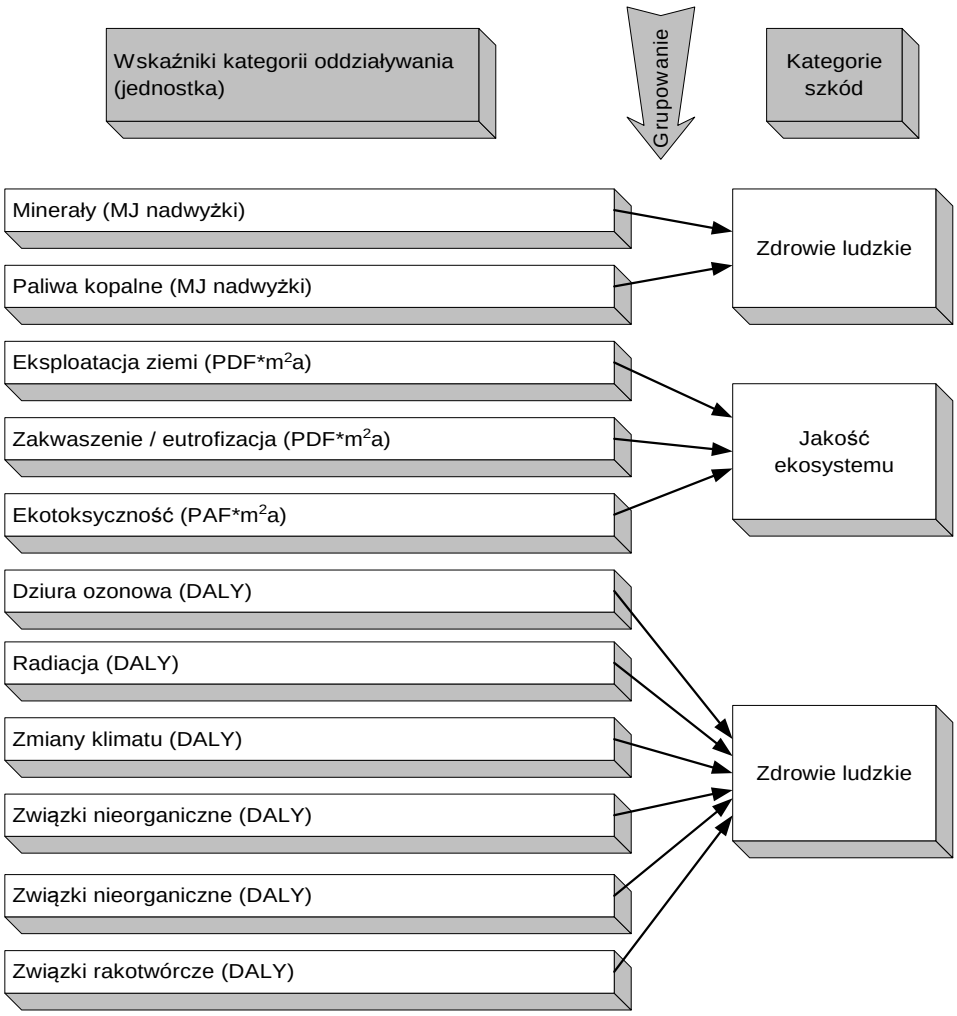
W celu ułatwienia interpretacji wyników w metodach oceny oddziaływania Eko-wskaźnik 99 i EPS 2000, ze względu na różnorodność i szeroki zasięg kategorii oddziaływania ekowskaźników, została wprowadzona procedura agregacji do trzech kategorii szkód (patrz rys.3.6.). Przypisując kategorie oddziaływania do określonych kategorii szkód, uzyskuje się możliwość łatwiejszej interpretacji oddziaływania na środowisko.

Funkcja szkody przedstawia relację pomiędzy wpływem produktu lub/i procesu, czy też obiektu na środowisko, a szkodą wyrządzoną w stosunku do ludzkiego zdrowia, jakości ekosystemu i zubożenia surowców naturalnych.

W kategorii szkody **zdrowie ludzkie** (*Human Health*), mieszczą się ilość i czas trwania chorób oraz stracone lata życia spowodowane przedwczesną śmiercią z powodu zanieczyszczenia środowiska. Pod uwagę brane są takie kategorie, jak: zmiany klimatyczne, niszczenie warstwy ozonowej, nasilenie efektów o charakterze kancerogennym, promieniowanie jonizujące i magnetyczne oraz czynniki mające wpływ na układ oddechowy. Jednostką oceny szkodliwości dla zdrowia jest DALY *(Disability Adjusted Life Years),* która wskazuje strumień substancji szkodliwych w tonach w ciągu roku. Skala szacowania niepełnosprawności mieści się w zakresie 0 ÷ 1 i może być wyrażana w procentach. Zero oznacza całkowitą sprawność organizmu, a jeden - zgon. Analiza szkodliwości obejmuje m.in. połączenie wpływu na zdrowie z końcową wartością wskaźnika DALY oraz uwzględnia liczbę lat przeżytą w upośledzeniu YLD *(Years Lived Disabled)* i liczbę lat utraconych YLL (*Years of Life Lost).*

W kategorii szkody **jakość ekosystemu** (*Ecosystem Quality*) ujmowane są te kategorie oddziaływania, które mające wpływ na zróżnicowanie gatunków, w szczególności wpływ na tkankę naczyniową roślin i na niższe organizmy. Pod uwagę brane są takie wskaźniki jak:

- ekotoksyczność, wyrażona jako procent wszystkich gatunków żyjących w środowisku w warunkach toksycznych oddziaływań - toksycznego stresu, który jest transformowany na obserwowalne szkody;
- zakwaszenie i eutrofizacja modelowane łącznie jako szkody wśród roślin naczyniowych;
- eksploatacja i przekształcanie powierzchni ziemi, oszacowane na podstawie występowania roślin naczyniowych jako funkcji zużycia ziemi i rozmiaru powierzchni.



Rys. 3.7. Procedura grupowania kategorii oddziaływania.
Źródło: [111]

Ekotoksyczność określa „potencjalnie narażona frakcja" PAF *(Potentially Affected Fraction)* wyrażona w procentach. W przypadku zakwaszenia i eutrofizacji jako wskaźnik stosuje się „potencjalnie zanikła frakcję" — PDF *(Potentially Disappeared Fraction).* Odnosi się ona do zaniku organizmów, które uznane jako strategiczne dla ekosystemu powinny w nim występować w określonej ilości, gdyby nie występowały zmiany kwasowości lub zmiana poziomu składników odżywczych. W przypadku zużycia ziemi również wykorzystuje się PDF, jednakże w odniesieniu do wszystkich gatunków. Model szkód jest tu odnoszony do warunków lokalnych i regionalnych przetworzenia i użytkowania ziemi. Jednostką wyrażającą szkody dla ekosystemu jest PDF odniesiona do powierzchni ziemi w ciągu roku (PDF · m^2 · rok).

W kategorii **surowce naturalne** (*Resources*) ujmowana jest dodatkowa energia, która będzie potrzebna w przyszłości, by wydobyć niższej jakości minerały i surowce kopalne, w gorszych warunkach geologicznych. Bieżące wydobycie powoduje wzrost

zużycia energii w przyszłych procesach wydobycia, ponieważ w pierwszej kolejności są eksploatowane złoża o najwyższej koncentracji i jakości surowca, najłatwiejszych warunkach wydobycia, a tym samym o niższych kosztach niż w przyszłości. Ocena wagi zużycia surowców jest przeprowadzana z uwzględnieniem zarówno energii potrzebnej do wydobycia minerałów, jak i ich koncentracji. Szkodę stanowi oczekiwany wzrost zużycia energii odniesiony do 1 kg surowca.

Naruszenie rolniczych i sypkich surowców takich jak piasek i żwir brane jest pod uwagę w wykorzystaniu gruntów.

Program SimaPro był już używany do szacowania oddziaływania budynków albo części budynków w Holandii, Wielkiej Brytanii, Danii i Norwegii [71].

R O Z D Z I A Ł 4

OPIS OBIEKTU BADAŃ

4.1. Opis techniczny budynku jednorodzinnego

Projekt analizowanego budynku jednorodzinnego został wykonany na zamówienie inwestora w autorskiej pracowni projektowej „Horyzont". Budynek zlokalizowany jest na działce (nr ew. 353/97) w Droszkowie gm. Zabór o powierzchni 1000 m^2, zorientowany jest elewacją frontową w kierunku południa i jest obiektem wolnostojącym parterowym z możliwością zagospodarowania poddasza. Obiekt jest zlokalizowany w I strefie śniegowej (obciążenie charakterystyczne śniegiem gruntu *Q=0,70 kPa),* w I strefie wiatrowej (charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru *q=0,250 kPa)* oraz w strefie o umownej głębokości przemarzania gruntu h_z= 1,0 m.

Budynek charakteryzuje się zwartą bryłą i nakryty jest dachem wielospadowym z dachówki ceramicznej. Ściany zewnętrzne wykonane są jako jednowarstwowe z bloczków gazobetonowych. Tynki zewnętrzne wykonano według technologii tradycyjnej cementowo-wapienne. Stolarkę okienną i drzwiową rozwiązano w sposób typowy (okna PVC), drzwi płycinowe.

Ogólne dane techniczne budynku przedstawiono poniżej:

Powierzchnia zabudowy: 184,2 m^2

Powierzchnia całkowita: 186,1 m^2

Powierzchnia użytkowa: 137,1 m^2

Kubatura: 720 m^3

Szczegółowe zestawienie użytkowych powierzchni zawiera tab. 4.1.

PARTER			PIĘTRO		
L.p.	**Pomieszczenie**	**Pow. [m^2]**	**L.p.**	**Pomieszczenie**	**Pow. [m^2]**
1	Wiatrołap	4,7	1	Przedpokój	9,1
2	Hall	13,1	2	Sypialnia	11,3

3	Pokój dzienny	36,8	3	Sypialnia	10,1
4	Sypialnia	16,0	4	Łazienka	8,7
5	Łazienka	8,6			
6	Ubikacja	4,7			
7	Kuchnia	14,1			

Tablica 4.1. Zestawienie powierzchni pomieszczeń.
Źródło: [112]

Elewacje – frontowa, tylna i dwie boczne przedstawione są na rys. 4.1.a. – d.

Rys. 4.1.a. Elewacja frontowa

Rys. 4.1.b. Elewacja tylna

Źródło: [112]

Rys. 4.1.c. Elewacja boczna 1

Rys. 4.1.d. Elewacja boczna 2

Źródło: [112]

Rzuty parteru i poddasza przedstawione na rys. 4.2-4.2. odzwierciedlają funkcje obiektu.

Rzut parteru:

1. wiatrołap 4,7 m²;
2. hall 13,1 m²;
3. pokój dzienny 36,8 m²;
4. kuchnia, jadalnia 14,1 m²;
5. WC 4,7 m²;
6. sypialnia 16,0 m²;
7. łazienka 8,6 m².

Rys. 4.2. Rzut parteru wraz z oznaczeniem funkcji poszczególnych pomieszczeń

Rzut poddasza:

1. przedpokój 9,1 m²;
2. sypialnia 11,3 m²;
3. sypialnia 10,1 m²;
4. łazienka 8,7 m².

Rys. 4.3. Rzut poddasza wraz z oznaczeniem funkcji poszczególnych pomieszczeń.
Źródło: [112]

Istotnym parametrem z punktu widzenia oceny cyklu istnienia budynku są przedstawione poniżej współczynniki przenikania ciepła dla zewnętrznych przegród budowlanych analizowanego obiektu:

- ściany zewnętrzne gazobeton 36,5 cm U=0,36 [W/m²K];
- podłoga na gruncie z warstwą styropianu gr. 5cm U=0,25 [W/m²K] - R=4,0 [m²K/W] < R_{max};
- dach ocieplony wełną mineralną gr. 18cm U=0,21 [W/m²K];
- współczynnik przenikania ciepła dla drzwi zewnętrznych U_{max} < 2,6;
- współczynnik przenikania ciepła dla szyb okiennych U_{max} < 2,6.

4.2. Zestawienie materiałów i wyrobów wg książki przedmiarów

W celu przeprowadzenia oceny LCA zastosowanych do budowy analizowanego domku materiałów i wyrobów dokonano ich zestawienia na podstawie książki przedmiarów w tab. 4.2. [66].

Lp.	*Nazwa*	*Ilość/Jedn.*
1.	Bale 70 mm kl. III	0,013 m^3
2.	Bale iglaste obrzynane wymiarowe nasycone kl. II	0,075 m^3
3.	Belki stropowe prefabrykowane żelbetowe TERIVA	178,67 mb
4.	Beton zwykły B-15	16,24 m^3
5.	Beton zwykły B-20	64,95 m^3
6.	Beton zwykły B-7,5	5,56 m^3
7.	Blacha st. płask 0,5 mm, powłoka poliester	5,61 m^2
8.	Bloczki YTONG 60x20x24 cm	17,97 m^3
9.	Bloczki YTONG 60x20x36,5 cm	31,36 m^3
10.	Bloczki YTONG 60x20x7,5 cm	2,37 m^3
11.	Cegła bud. pełna 25x12x6,5 cm	2313 szt.
12.	Cegła dziurawka (drąż) 25x12x6,5 cm, kl. 5	346 szt.
13.	Farba do gruntowania ścian i tynków	179,2 dm^3
14.	Dachówka ceramiczna typu "S"	3423 szt.
15.	Dachówka ceramiczna typu "S" szczytowa	34 szt.
16.	Deski iglaste obrzynane 19-25 mm kl. III	2,52 m^3
17.	Deski iglaste obrzynane 25 mm kl. III	0,248 m^3
18.	Deski iglaste obrzynane 28-45 mm kl. III	0,762 m^3
19.	Deski iglaste obrzynane 38 mm kl. III	0,183 m^3
20.	Drewno okrągłe na stemple budowlane	0,246 m^3
21.	Drewno opałowe	877,01 kg
22.	Drut stalowy okrągły	50,3 kg

Lp.	*Nazwa*	*Ilość/Jedn.*
23.	Farba gruntująca	179,2 kg
24.	Farba emulsyjna	156,13 dm^3
25.	Folia poliet. izolacyjna, grub. 0,3 mm	449,2 m^2
26.	Folia poliet. zbrojona dachowa	283,8 m^2
27.	Grzejniki C.O.	12 szt.
28.	Gąsiory półokrągłe typu "S"	127 szt
29.	Gips budowlany szpachlowy	201 kg
30.	Gwoździe budowlane okrągłe gołe	132,15 kg
31.	Gwoździe stolarskie	0,35 kg
32.	Kątowniki równoramienne na progi drzwiowe	8,95 kg
33.	Krawędziaki iglaste wymiarowe kl. II	10,08 m^3
34.	Kształtka U - 60x25x36,5 cm	5,41 mb
35.	Kształtowniki walcowane - dwuteowniki	757,48 kg
36.	Lakier chemoutwardzalny na drewno	52,2 dm^3
37.	Lepik asfalt. stos. na zimno	382,3 kg
38.	Lepik asfaltowy stos. na gorąco	408,5 kg
39.	Listwy iglaste kl III	0,654 m^3
40.	Listwy przyścienne z drewna liściastego	0,05 m^3
41.	Łaty iglaste 50x45 mm	1,53 m^3
42.	Łaty iglaste 75x22 mm	0,48 m^3
43.	Masa asfaltowa	14,85 kg
44.	Nadproża prefabrykowane YN/24	6 szt.
45.	Nadproża prefabrykowane YN/36,5	12 szt.
46.	Okna fabrycznie wykończone - kształty nietypowe PVC	5,28 m^2
47.	Okna i drzwi balkonowe fabrycznie wykończone PVC	19,93 m^2
48.	Ościeżnice drzwiowe stalowe	8 szt.

Lp.	*Nazwa*	*Ilość/Jedn.*
49.	Papa asfaltowa na tekturze izolacyjna	454,38 m^2
50.	Piasek	53,5 m^3
51.	Płyta gips. karton wodoodporna 12,5 mm	197,25 m^2
52.	Płyta gips. karton zwykła gr. 12,5 mm	15,93 m^2
53.	Parkiet mozaikowy bukowy, gr. 10 mm	153,62 m^2
54.	Płyta z wełny min. półtwarda "80"gr. 60 mm	27,89 m^2
55.	Płytki "Gres" o wym. 30,0x30,0x1,0 cm gat. I	82,76 m^2
56.	Płytki klinkierowe	31,59 m^2
57.	Płyty chodnikowe betonowe 35x35x5 cm	35 m^2
58.	Płyty styropianowe samogasnące odm. 15	2,36 m^2
59.	Płyty styropianowe samogasnące odm. 20	16,1 m^2
60.	Płyty z wełny mineralnej gr. 18 cm	158,92 m^2
61.	Parapety uniwersalne ze spienionego PVC	28 mb
62.	Pręty gładkie śr. do 7 mm	186,37 kg
63.	Pręty żebrowane śr. 8-14 mm	786,42 kg
64.	Pręty żebrowane o śr. ponad 16 mm	120,36 kg
65.	Profil "C75", 73,8x50x0,6 mm pod pł. g-k	55,51 mb
66.	Profil "U75", 75x40x0,6 mm pod pł. g-k	20,58 mb
67.	Pustaki spalinowe ceramiczne typ P 19x19x24 cm	130 szt.
68.	Pustaki stropowe z betonu lekkiego TERIVA	717 szt.
69.	Roztwór asfaltowy do gruntowania	363 kg
70.	Rury spustowe systemu rynnowego 110 mm	15 mb
71.	Rynny dachowe 150 mm	59,9 mb
72.	Siatka tkana Rabitza	7,58 m^2
73.	Siatka z włókna szklanego	91,6 m^2
74.	Skrzydła drzwiowe płytowe wewnętrzne	8 szt.

Lp.	*Nazwa*	*Ilość/Jedn.*
75.	Skrzydło drzwiowe wejściowe z ościeżnicą	1 szt.
76.	Sucha mieszanka tynkarska mineralna	675,4 kg
77.	Sucha zaprawa samopoziomująca	1493,4 kg
78.	Śruby, podkładki, nakrętki	58,63 kg
79.	Wkręty stalowe	11,36 kg
80.	Zaprawa cementowa M 12	10,66 m^3
81.	Zaprawa cementowa M 50	0,384 m^3
82.	Zaprawa cementowa M 80	0,053 m^3
83.	Zaprawa cementowo-wapienna M 30	0,007 m^3
84.	Zaprawa cementowo-wapienna M 50	2,26 m^3
85.	Zaprawa cementowo wapienna M 15	11,915 m^3
86.	Zaprawa spoinująca	32,37 kg
87.	Zaprawa wapienna M 4	1,691 m^3
88.	Zaprawa do betonu komórkowego	810,42 kg
89.	Instalacja C.O. - miedź	Ø 10 – 12m Ø 12 – 21m Ø15 – 10m
90.	Zlew dwukomorowy	1 szt.
91.	Instalacja gazowa – stalowa + przyłącze	Ø1/2”–11m Ø3/4”–5m Ø1”–7m
92.	Instalacja wodociągowa PP + przyłącze	R”16”-33m R”20”-10
93.	Instalacja kanalizacyjna PP	Rura „32”-20m
94.	Przewód instalacji elektrycznej podtynkowej	YDYt 3x1-50m; YDYt 2x1 –50m; YDYt 3x1.5- 50m

Lp.	*Nazwa*	*Ilość/Jedn.*
95.	Instalacja kanalizacyjna PVC + przyłącze	„50”-5m „110”-15m „160”-15m
96.	Spłuczka ustępowa	2 szt.
97.	Umywalka	3 szt.
98.	Wanna łazienkowa	1 szt.
99.	Deska sedesowa	2 szt.
100.	Miska ustępowa	2 szt.

Tab.4.2. Zestawienie materiałów i wyrobów budowlanych według książki przedmiarów.
Źródło**:** opracowanie własne na podstawie [66]

R O Z D Z I A Ł 5

LCA FAZY WYTWORZENIA MATERIAŁÓW I WYROBÓW BUDOWLANYCH

5.1. Wprowadzenie do procesów wytwarzania materiałów i wyrobów budowlanych

Materiały i wyroby budowlane wytwarza się z surowców pobieranych ze środowiska. Ich pozyskiwanie, podobnie jak transport do zakładów przetwórczych i procesy technologiczne w tych zakładach stosowane, wymagają zaangażowania nośników energetycznych. Określony materiał lub wyrób (produkt finalny) może być wytwarzany w jednym lub kilku zakładach, z uwzględnieniem różnych technologii, w których obok podstawowego surowca zużywa się także surowce pomocnicze, materiały dodatkowe i wodę.

Oprócz wyrobu finalnego, w poszczególnych procesach jednostkowych powstają produkty pośrednie oraz emisje do środowiska, określane jako produkty niezamierzone czy też nie intencyjne, ale w sposób nierozdzielny związane z daną technologią wytwarzania. Emisje do środowiska to przede wszystkim ścieki technologiczne o zróżnicowanym ładunku zanieczyszczeń, emisje gazowe i pyłowe do powietrza atmosferycznego i odpady przemysłowe obciążające powierzchnię ziemi.

Emisje zanieczyszczeń powstają nie tylko na poszczególnych etapach procesów technologicznych, ale także związane są z procesami przygotowania energii i z transportem surowców, półproduktów i gotowych wyrobów.

Należy podkreślić, że w budownictwie pojęcia wyroby i materiały budowlane są stosowane często zamiennie, chociaż w *Prawie Budowlanym* w artykule 3 wyrób budowlany zdefiniowano jako *„wyrób wytworzony w celu wbudowania, wmontowania, zainstalowania lub zastosowania w sposób trwały w obiekcie budowlanym"*. Ta definicja wyrobu jest zbliżona do definicji przedstawionej w dyrektywie Unii Europejskiej [27].

Wierzbicki wprowadza wyraźne rozróżnienie pomiędzy materiałem a wyrobem budowlanym przyjmując jako kryterium stopień przetworzenia przemysłowego i gotowość do zastosowania w procesie budowlanym [155]. Takie podejście pozwala zaliczyć, np. okna, drzwi, cegły do grupy wyrobów, a stal zbrojeniową, cement, wapno do grupy materiałów budowlanych.

Stosuje się także podział materiałów na trzy grupy:

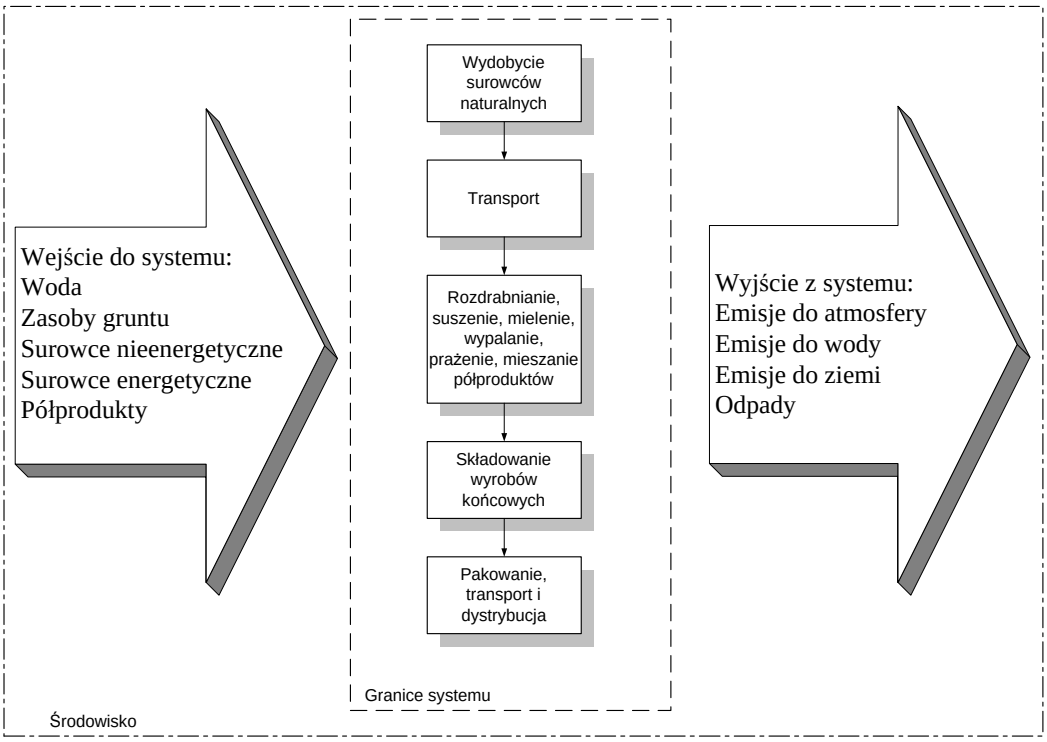
- tradycyjne materiały budowlane,
- materiały i wyroby typu chemicznego,
- materiały i wyroby metalowe.

Wytwarzanie tradycyjnych materiałów budowlanych charakteryzuje się wieloma wspólnymi cechami technologicznymi i podobnymi procesami jednostkowymi [38]:

- wydobycie surowców mineralnych,
- transport,
- rozdrabnianie i suszenie,
- mielenie,
- wypalanie, prażenie, topienie,
- mielenie i mieszanie półproduktów,
- składowanie wyrobów końcowych,
- opakowanie, transport i dystrybucja.

Ilość i kolejność procesów jednostkowych może w pewnym zakresie ulec zmianie, ale generalnie charakterystyka przebiegu procesu i jego relacje środowiskowe są porównywalne. Poglądowy schemat ilustrujący proces produkcji wyrobu budowlanego i jego powiązanie ze środowiskiem przedstawiono na rys. 5.1.

Wytwarzanie materiałów i wyrobów chemicznych, takich jak: farby, kleje, tworzywa, pianki itp., jest znacznie bardziej skomplikowane technologicznie ponieważ
z reguły procesy te charakteryzują się większą ilością procesów jednostkowych oraz szerokim spektrum oddziaływania na środowisko. Również wytwarzanie materiałów i wyrobów metalowych cechuje się złożonością procesów technologicznych
i dużą różnorodnością emitowanych do środowiska zanieczyszczeń.



Rys. 5.1. Poglądowy schemat procesu produkcji wyrobu budowlanego i jego powiązanie ze środowiskiem. Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzenie bilansu ekologicznego pierwszej fazy istnienia budynku - wytworzenie wyrobów i materiałów niezbędnych do jego wykonania, wymagało zestawienia wszystkich materiałów wg książki przedmiarów robót, a następnie wykonania dla każdego z nich w oparciu o „drzewa procesowe" (indywidualne schematy technologiczne) pełnej oceny LCA – od pozyskania surowców do gotowego wyrobu. Było to zadanie trudne i pracochłonne, tym bardziej, że LCA dla większości materiałów budowlanych przygotowano w oparciu o dane uzyskane bezpośrednio z praktyki procesowej polskich producentów. Dla niektórych materiałów i wyrobów, ze względu na duże trudności przy gromadzeniu danych, wynikające często z wyraźnej niechęci producentów do współpracy, wykorzystano dane z biblioteki programu SimaPro. W załączniku 2 w tablicach II.1÷II.13 dla każdego analizowanego materiału i wyrobu podane jest źródło danych.

Poniżej, w rozdziale 5.2 zaprezentowano na przykładzie betonu komórkowego (bloczków gazobetonowych) sposób obliczania skumulowanego wskaźnika zanieczyszczeń z wykorzystaniem układu równań bilansowych oraz dokładny przebieg „krok po kroku" procedury obliczeniowej LCA z wykorzystaniem metod programu SimaPro 5.1.

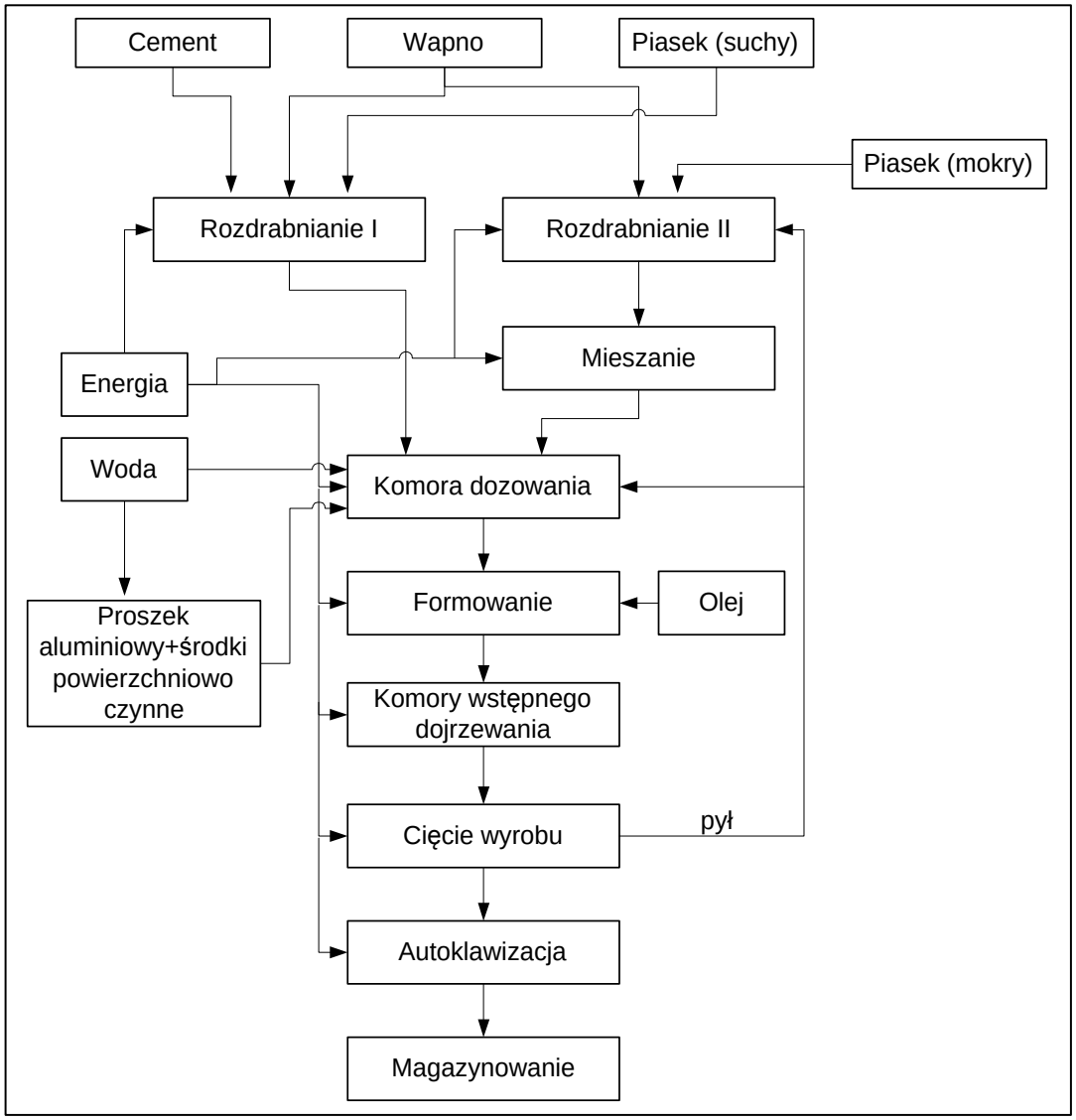
5.2. Tok i wyniki obliczeń LCA na przykładzie betonu komórkowego (gazobetonu)

Materiał ten, a właściwie wybór projektu budynku z jego wykorzystaniem, nie jest przypadkowy. O powyższym wyborze zadecydował fakt, iż właśnie beton komórkowy jako materiał budowlany zajmuje drugie miejsce (za ceramiką) wśród materiałów stosowanych do budowy przegrody zewnętrznej budynków na całym obszarze Europy Środkowej [81]. Polska jest największym producentem betonu komórkowego w Europie, z 42% udziałem w rynku, tuż za Polską plasują się Niemcy z 35% udziałem. W Polsce w 2003 roku w 31 wytwórniach wyprodukowano 4,35 mln m^3 betonu komórkowego [162].

W zależności od warunków surowcowo-lokalizacyjnych, w Polsce stosowane są różne technologie produkcji bloczków z betonu komórkowego, charakteryzujące się różnymi zestawami składników [162]:

- *spoiwa (cement + wapno lub samo wapno);*
- *kruszywa (piasek kwarcowy lub popiół lotny powstający ze spalania węgla w elektrowniach albo piasek + popiół);*
- *środek porotwórczy (rozdrobnione aluminium w postaci pasty lub proszku);*
- *środek powierzchniowo czynny;*
- *woda;*
- *dodatki poprawiające właściwości reologiczne masy.*

Istnieje też możliwość, co jest szczególnie ważne w aspekcie oszczędności pierwotnych zasobów surowcowych, wykorzystania do produkcji betonu komórkowego surowców odpadowych, takich jak: piaski odpadowe, wapno pokarbidowe, odpadowe surowce siarczanowe, łupki, żużle. Istotnym jest także fakt, że proces produkcyjny charakteryzuje się dużą wydajnością (z 1 m^3 masy zarobowej otrzymuje się do 2,5 m^3 gotowego wyrobu – to znaczne zwiększenie objętości powoduje proszek glinowy dodawany do masy zarobowej, który w środowisku alkalicznym wydziela wodór i „nagazowuje" zaprawę nadając jej strukturę porowatą) oraz energii w relacji do technologii wytwarzania innych materiałów. Ilości szkodliwych dla środowiska emisji wytworzonych w procesie produkcyjnym są niewielkie [55; 162].



Rys. 5.2. Schemat technologiczny produkcji bloczków z betonu komórkowego według technologii „Unipol" (wariant piaskowy) – drzewo procesów. Źródło: [57]

Dużym walorem gazobetonu jest możliwość jego recyklingu i ponownego użycia w procesie produkcji, ewentualnie również w innym obiekcie budowlanym, jak i możliwość wykorzystania go do budowy dróg. Współczesne technologie wytwarzania betonu komórkowego, właściwości i parametry użytkowe budynków wykonanych z tego wyrobu wykazują, iż zarówno proces produkcji, jak i zastosowanie betonu komórkowego wpisuje się w wymagania zrównoważonego rozwoju budownictwa [161].

Produkcja bloczków z betonu komórkowego według technologii „Unipol" (rys. 5.2.) jest metodą w warunkach krajowych najnowocześniejszą, o dużych możliwościach rozwoju. Istotą tej technologii jest uaktywnienie części kruszywa przez jego domielanie łącznie ze spoiwem wapienno-cementowym. Ze względu na użyte surowce w technologii „Unipol" rozróżnia się trzy warianty:

I – tzw. piaskowy, w którym kruszywem jest piasek kwarcowy mielony z wodą na szlam; spoiwo stanowi mlewo otrzymywane z wspólnego przemiału: wapna palonego, cementu i piasku;

II – tzw. popiołowy, kruszywo: nie mielony popiół lotny; spoiwo - mlewo: mielone wapno palone, cement, gips dwuwodny i popioły lotne;

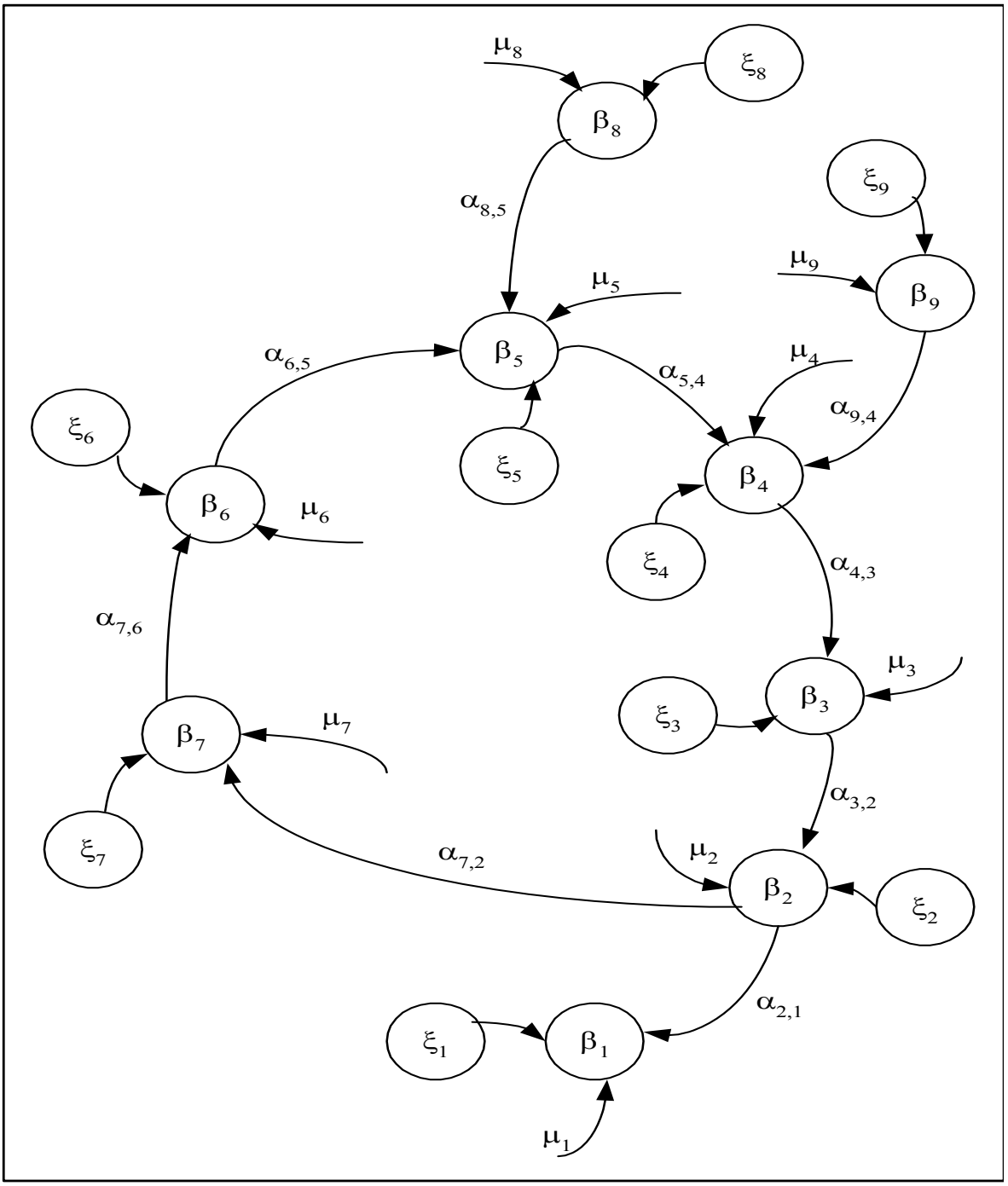
III – tzw. piaskowo-popiołowy, kruszywo: piasek kwarcowy mielony z wodą i nie mielone popioły lotne; spoiwo – mlewo: mielone wapno palone, cement, gips dwuwodny, piasek i ewentualnie popioły lotne [141].

W analizowanym budynku, beton komórkowy (odmiana 500) zastosowano jako materiał konstrukcyjny przegrody budowlanej zewnętrznej o grubości 36,5 cm i zgodnie z wymaganiami określonymi w *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [118] jest to wystarczająca grubość w aspekcie wymagań konstrukcyjnych (statycznych) dla ścian jednorodnych i wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła $U \leq 0{,}50$ W/m^2 K.

W celu obliczenia wskaźnika skumulowanej emisji zanieczyszczeń charakteryzującego produkcję betonu komórkowego zastosowano model grafu pozwalający na sformułowanie układu równań bilansowych dla poszczególnych jednostkowych operacji procesu [39].

Proces technologiczny wytwarzania bloczków z betonu komórkowego podzielono na dziewięć procesów jednostkowych: 1 – rozdrabnianie surowców I, , 2 – rozdrabnianie surowców II, 3 – mieszanie rozdrobnionego surowca, 4 - dozowanie składników, 5 – mieszanie środków powierzchniowoczynnych i proszku aluminiowego, 6 – formowanie wyrobu, 7 – dojrzewanie wstępne, 8 – cięcie wyrobu, 9 – autoklawizacja.

Graf przedstawiony na rys. 5.3 uwzględnia zarówno liczbę operacji cząstkowych procesu, która wynosi n=9, jak i liczbę dostarczanych z zewnątrz surowców, materiałów i nośników energii, która również wynosi m=9. Dlatego liczba wszystkich wierzchołków grafu wynosi $m + n = 18$. Krawędzie reprezentujące nośniki energii oraz surowce i materiały wprowadzane do procesu produkcyjnego z zewnątrz do wierzchołka oznaczonego ξ_i, opatrzonego etykietą zmiennej niezależnej o wartości równej skumulowanemu obciążeniu środowiska dla jednostki – i-tego nośnika energii i surowca – mają mnożnik wagowy krawędzi wynoszący a_{ij}=1.



Rys. 5.3. Model grafu obrazujący przenoszenie emisji zanieczyszczeń w procesie produkcji bloczku betonu komórkowego. Źródło: Opracowanie własne

Każdy wierzchołek grafu reprezentuje określony półwyrób, który jest wyróżniony etykietą zawierającą zarówno nazwę półproduktu, jak i charakteryzujące go skumulowane obciążenie środowiska. Krawędź skierowana z wierzchołka β_i do wierzchołka β_j oznacza, że przenoszenie obciążenia β_j zależy od zmiennej β_i, a nie odwrotnie. Każdej krawędzi a_{ij} przypisuje się liczbę określającą

krotność obciążenia przenoszonego z wierzchołka β_i do β_j, czyli obciążenie przenoszone z wierzchołka β_i do wierzchołka β_j wyrazi się iloczynem $a_{ij}\ \beta_i$. Wierzchołki ξ_i określają wszystkie obciążenia wprowadzone z zewnątrz do poszczególnych ogniw procesu. Obciążenie wewnętrzne μ_j, wprowadzane do każdego wierzchołka, powstaje w procesie bezpośredniego wytwarzania półwyrobu *j*.

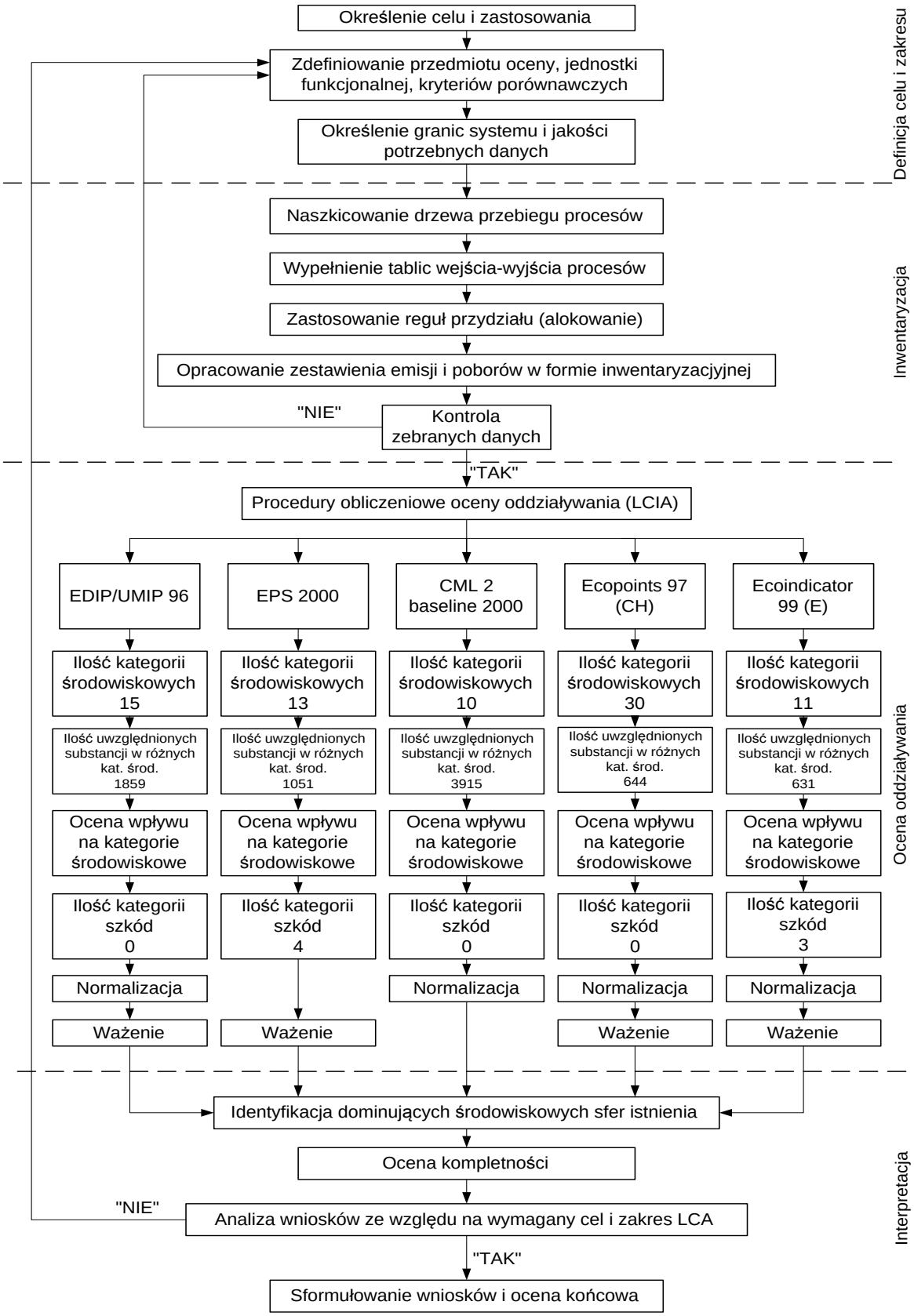
Wszystkie wierzchołki grafu oznaczone symbolem β_j reprezentuje jedno równanie układu przenoszenia obciążeń, w którym wartość β_j jest równa sumie iloczynów wag wszystkich krawędzi wchodzących i etykiet wierzchołków początkowych β_j tych krawędzi, powiększonej o obciążenie μ_j, pochodzące z procesu *j*.

Układ równań bilansowych skumulowanej emisji zanieczyszczeń (5.1) dla analizowanego grafu (rys. 5.3) przedstawia się następująco:

$$\begin{aligned}
&\alpha_{2,1}\beta_2 + \xi_1 + \mu_1 - \beta_1 = 0\\
&\alpha_{3,2}\beta_3 + \xi_2 + \mu_2 - \beta_2 = 0\\
&\alpha_{4,3}\beta_4 + \xi_3 + \mu_3 - \beta_3 = 0\\
&\alpha_{9,4}\beta_9 + \alpha_{5,4}\beta_5 + \xi_4 + \mu_4 - \beta_4 = 0\\
&\alpha_{8,5}\beta_8 + \alpha_{6,5}\beta_6 + \xi_5 + \mu_5 - \beta_5 = 0\\
&\xi_8 + \mu_8 - \beta_8 = 0\\
&\alpha_{7,6}\beta_7 + \xi_6 + \mu_6 - \beta_6 = 0\\
&\alpha_{7,2}\beta_2 + \alpha_{7,6}\beta_7 + \xi_7 + \mu_7 - \beta_7 = 0
\end{aligned} \tag{5.1}$$

Równanie bilansu skumulowanych obciążeń środowiska można wykorzystać do obliczania wskaźników skumulowanych obciążeń półproduktów we wszystkich ogniwach procesu oraz obciążeń powstających bezpośrednio w każdym z ogniw procesu.

Powyższy układ równań bilansowych nie pozwala jednak na szczegółową identyfikację kategorii oddziaływania na środowisko i dlatego dla pełnej oceny cyklu istnienia betonu komórkowego wykorzystano w dalszym toku obliczeń program komputerowy SimaPro, który taką kategoryzację umożliwia. Ocenę przeprowadzono według etapów algorytmu przedstawionego na rysunku 5.4.



Rys. 5.4. Algorytm oceny cyklu istnienia. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [68]

Założono, że granice analizowanego systemu obejmują etap pozyskania surowców, transport oraz proces technologiczny. Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto wykonanie 1 m^2 powierzchni ściany z bloczków betonu komórkowego o wymiarach 60x20x36,5 cm (na 1 m^2 przypada ok. 8 szt. bloczków betonu komórkowego).

Do sporządzenia zbioru wejść i wyjść wykorzystano drzewo procesowe betonu komórkowego (rys.5.2.) oraz model grafu uwzględniający przepływy emisji zanieczyszczeń między poszczególnymi procesami jednostkowymi w procesie wytwarzania betonu komórkowego (rys.5.3.). Na ich podstawie dokonano alokacji strumieni materiałowo-energetycznych w obrębie zidentyfikowanych procesów jednostkowych, zgodnie z algorytmem zaprezentowanym na rys.5.4.

Tablica inwentarzowa (tablica zbioru wejść-wyjść) w całości zamieszczona w załączniku nr 1 na końcu pracy.

Ocenę oddziaływania - LCIA[15] - przeprowadzono z wykorzystaniem możliwości jakie stwarza program SimaPro, który umożliwia wykonanie procedur obliczeniowych według pięciu metod: EDIP/UMIP[16] 96, EPS[17] 2000, CML[18] 2 baseline 2000, Ecopoints 97 (CH) i Ecoindicator 99 (E).

5.2.1. Procedura EDIP/UMIP 96

Metoda ta zakłada, że kategoria oddziaływania – *surowce naturalne* – powinna być wyłączona z oceny ogólnej i nie może być porównywana z innymi kategoriami oddziaływania, dlatego współczynnik ważenia tej kategorii w procedurze obliczeniowej jest równy zero.

Dla szczegółowej oceny oddziaływania środowiskowego w kategorii - *surowce naturalne* - należy skorzystać z dodatkowej metody, a mianowicie procedury EDIP / UMIP przeznaczonej wyłącznie do oceny tej kategorii oddziaływania.

Przyjęcie takiej rozdzielnej metody oceny ogranicza możliwości całościowej analizy wyników, szczególnie w przypadku oceny materiałów budowlanych dla których kategoria oddziaływania - *surowce naturalne* jest bardzo istotna. Z powyższych względów świadomie zrezygnowano z tej metody oceny i nie wykorzystano powyższej procedury w obliczeniach oceny oddziaływania LCIA materiałów budowlanych.

---

[15] LCIA – ocena wpływu cyklu istnienia

[16] EDIP/UMIP - Environmental Design of Industrial Products in Danish UMIP – Środowiskowe Projektowanie Produktów Przemysłowych w duńskim UMIP

[17] EPS - Environmental Priority Strategies in product design – Priorytetowe Strategie Środowiskowe w projektowaniu produktu

[18] CML – Centre of Environmental Science – Centrum Nauki o Środowisku

5.2.2. Procedura EPS 2000

Jest to bardzo specyficzna metoda oceny ze względu zarówno na przyjęte kategorie oddziaływania, jak i ich orientację na 4 kategorie szkód, a mianowicie:

- zdrowie ludzkie (obejmujące takie kategorie jak: perspektywa długości życia, ostra zachorowalność, zachorowalność, dotkliwe plagi, plagi);
- produktywność ekosystemów (obejmująca takie kategorie jak: wzrost wydajności urodzaju, wzrost wydajności drzewostanów, produkcja ryb i mięsa, wydajność produkcji wody do picia, wydajności produkcji systemów nawadniających);
- zasoby przyrody nieożywionej (obejmujące kategorie - uszczuplenie zapasów surowców i związki zakwaszające);
- bioróżnorodność określana przez kategorię – gatunki na wymarciu.

Ze względu na przedstawioną powyżej specyfikę kategorii oddziaływania i ich małą przydatność do oceny LCIA materiałów budowlanych również nie wykorzystano tej metody do przeprowadzenia obliczeń.

5.2.3. Procedura CML 2 baseline 2000

Wyniki oceny oddziaływania na środowisko betonu komórkowego według tej procedury zaprezentowano w tablicach 5.1 i 5.2.

Kategorie oddziaływań	Jednostka	Beton kom.
uszczuplenie zasobów przyrody nieożywionej	kg Sb eq[19]	0,657
globalne ocieplenie	kg CO_2 eq	131
zubożenie warstwy ozonowej	kg CFC–11 eq	3,77E-5
toksyczność dla człowieka	kg 1,4-DB[20] eq	42,7
toksyczność dla wody słodkiej	kg 1,4-DB eq	7,09
toksyczność dla wody morskiej	kg 1,4-DB eq	8,41E4
toksyczność dla środowiska lądowego	kg 1,4-DB eq	0,664
fotochemiczne utlenianie	kg C_2H_2	0,0363
zakwaszanie	kg SO_2 eq	0,79
eutrofizacja	kg PO_4 eq	0,00305

Tablica 5.1. Charakterystyka wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego - metoda oceny CML 2 baseline 2000.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

[19] Ta kategoria oddziaływania wiąże się z wydobyciem minerałów i kopalnych paliw, wyrażonych w kg ekwiwalentu antymonu / kg wydobycie.

[20] Czynniki charakteryzacji są wyrażone jako ekwiwalent 1,4- dwuchlorobenzenu / kg emisji.

Normalizacja cyklu istnienia betonu komórkowego przedstawia tablica 5.2

Kategorie oddziaływań	Beton kom.
uszczuplenie zasobów przyrody nieożywionej	4,15E-12
globalne ocieplenie	2,84E-12
zubożenie warstwy ozonowej	3,3E-14
toksyczność dla człowieka	7,13E-13
toksyczność dla wody słodkiej	3,42E-12
toksyczność dla wody morskiej	1,11E-10
toksyczność dla środowiska lądowego	2,52E-12
fotochemiczne utlenianie	3,36E-13
zakwaszanie	2,53E-12
eutrofizacja	2,32E-14

Tablica 5.2. Normalizacja wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego - metoda oceny CML 2 baseline 2000
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Metoda oceny – CML 2 baseline 2000 – umożliwia przeprowadzenie charakterystyki (tab.5.1.), która jest podstawowym elementem LCA oraz normalizacji (tab.5.2.), która jest elementem opcjonalnym.

5.2.4. Procedura Ecopoints 97 (CH) [Ekopunkty 97]

Jest aktualizacją metody z roku 1990, opartą na aktualnym zanieczyszczeniu danego regionu i na krytycznych emisjach odzwierciedlających poziom zanieczyszczenia, który nie może być przekroczony w oparciu o ustalenia szwajcarskiej polityki środowiskowej. Istnieje możliwość wyboru z pośród 3 opcji tej procedury, które dają identyczną ocenę i wartości wskaźnika.

- Normalizacja bazująca na Wartości Celu albo Krytycznej Emisji (N = Target);

Wzór używany do obliczeń Ekopunktów:

Ekofaktor = 1 / Fk * F / Fk * const.

gdzie: ***1/Fk*** – czynnik normalizacji,
F/Fk * const. – czynnik oceny.

- Normalizacja bazująca na aktualnym poziomie emisji (N = Actual);

Wzór używany do obliczeń Ekopunktów:

Ekofaktor = 1 / F * F / Fk * F / Fk * const.

gdzie: ***1/F*** – czynnik normalizacji,

F/Fk * F/Fk * const. – czynnik oceny;

oraz: ***F*** – Aktualny poziom emisji w Szwajcarii w ciągu roku

Fk – Krytyczna emisja w Szwajcarii w ciągu roku, const.= 1E12 / rok.

- Trzecia opcja procedury zakłada czynnik normalizacji równy jedności.

Oceny oddziaływania betonu komórkowego na środowisko dokonano według trzeciej opcji metody, dla której czynnik normalizacji równy jest jedności. Metoda oceny Ekopunkty 97 umożliwia prezentacje wyników oddziaływania w odniesieniu do trzydziestu kategorii oddziaływania, podobnie jak w metodzie Ekowskaźnik 99, w trzech elementach LCA: charakteryzacji, normalizacji oraz ważeniu.

W tablicy 5.3 zaprezentowano charakterystykę wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego. Ponieważ, jak to już wcześniej wspomniano, przyjęto trzecią opcję metody, dla której czynnik normalizacyjny równy jest jedności, wartości wskaźników charakteryzacji są jednocześnie wartościami wskaźników normalizacji, z tą różnicą, że wartości normalizacji są bezwymiarowe.

Kategoria wpływu	Jednostka	Beton kom.
NO_x	g	348
SO_x	g SO_2 eq.	672
NMVOC	g	127
NH_3	g	0,317
Pył PM 10	g	5,96
CO_2	g CO_2 eq.	1,31E5
Warstwa ozonu	g CFC-11	0,0314
Pb (atmosfera)	g	0,0334
Cd (atmosfera)	g	0,00303
Zn (atmosfera)	g	0,039
Hg (atmosfera)	g	0,00185
COD	g	15,7
P	g	0,859
N	g	1,62
Cr (woda)	g	0,443
Zn (woda)	g	0,448
Cu (woda)	g	0,22

Kategoria wpływu	Jednostka	Beton kom.
Cd (woda)	g	0,00297
Hg (woda)	g	6,95E-5
Pb (woda)	g	0,225
Ni (woda)	g	0,223
AOX (woda)	g Cl^-	0,00227
Azotan (gleba)	g	X
Metale (gleba)	g Cd eq.	6,32E-7
Pestycydy do gleby	g akt. sub.	X
Odpady	g	1,25E4
Odpady (specjalne)	g	X
Odpady med. i jądrowe o niskiej aktywności	cm^3	39,3
Odpady jądrowe o wysokiej aktywności	cm^3	0,0195
Energia	MJ	1,53E3

Tablica 5.3. Charakterystyka wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego– metoda Ekopunktów 97.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Najwyższą wartość na tym etapie oceny przyjmuje wskaźnik kategorii oddziaływania emisja CO_2 do atmosfery.

Tablica 5.4 zawiera wartości ważenia wskaźników oddziaływania wyrażone w *Pt.*

Kategoria wpływu	Jednostka	Beton kom.
NO_x	Pt	2,33E4
SO_x	Pt	3,56E4
NMVOC	Pt	4,05E5
NH_3	Pt	20
Pył PM 10	Pt	655
CO_2	Pt	2,63E4
Warstwa ozonu	Pt	62,8
Pb (atmosfera)	Pt	96,7
Cd (atmosfera)	Pt	364
Zn (atmosfera)	Pt	20,3
Hg (atmosfera)	Pt	221
COD	Pt	92,5
P	Pt	1,72E3

Kategoria wpływu	Jednostka	Beton kom.
N	Pt	112
Cr (woda)	Pt	293
Zn (woda)	Pt	94,1
Cu (woda)	Pt	264
Cd (woda)	Pt	32,7
Hg (woda)	Pt	16,7
Pb (woda)	Pt	33,8
Ni (woda)	Pt	42,3
AOX (woda)	Pt	0,748
Azotan (gleba)	Pt	X
Metale (gleba)	Pt	0,0759
Pestycydy do gleby	Pt	X
Odpady	Pt	6,27E3
Odpady (specjalne)	Pt	X
Odpady med. i jądrowe o niskiej aktywności	Pt	1,3E5
Odpady jądrowe o wysokiej aktywności	Pt	896
Energia	Pt	1,53E3
SUMA	Pt	2,32E5

Tablica 5.4. Kategorie oddziaływań na środowisko betonu komórkowego z uwzględnieniem wskaźnika wagi – metoda Ekopunktów 97.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

5.2.5.Procedura Ecoindicator 99 (E), [Ekowskaźnik 99]

Wyniki oceny cyklu istnienia bloczków z betonu komórkowego za pomocą tej procedury przedstawiono w tablicach 5.5 (charakterystyka) i 5.6 (szacowanie wpływów według trzech kategorii szkód).

Procedura oceny wg **Ekowskaźnika 99** umożliwia prezentację wyników oddziaływania w odniesieniu do jedenastu kategorii oddziaływania i/lub trzech kategorii szkód z uwzględnieniem charakteryzacji, normalizacji oraz ważenia.

Tablica 5.5 przedstawia charakterystykę wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko. Największym oddziaływaniem wśród jedenastu kategorii dla betonu komórkowego charakteryzują się: paliwa kopalne oraz ekotoksyczność. W tablicy 5.6 przedstawiono wyniki oddziaływań zagregowane w odniesieniu do trzech kategorii szkód.

Kategoria wpływu	Jednostka	Beton kom.
Związki rakotwórcze	DALY	1,9E-5
Związki organiczne	DALY	1,63E-7
Związki nieorganiczne	DALY	6,82E-5
Zmiany klimatu	DALY	2,67E-5
Radiacja	DALY	3,92E-9
Dziura ozonowa	DALY	3,95E-8
Ekotoksyczność	PAF*m^{2}yr	20,9
Zakwaszenie / eutrofizacja	PDF*m^{2}yr	2,68
Eksploatacja ziemi	PDF*m^{2}yr	4,06
Minerały	MJ nadwyżki	0,481
Paliwa kopalne	MJ nadwyżki	84,6

Tablica 5.5. Charakterystyka wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego – metoda Ekowskaźnika 99.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Kategoria szkód	Jednostka	Beton kom.
Zdrowie ludzkie	DALY	1,15E-4
Jakość ekosystemu	PDF*m^{2}yr	8,83
Surowce naturalne	MJ nadwyżki	85,1

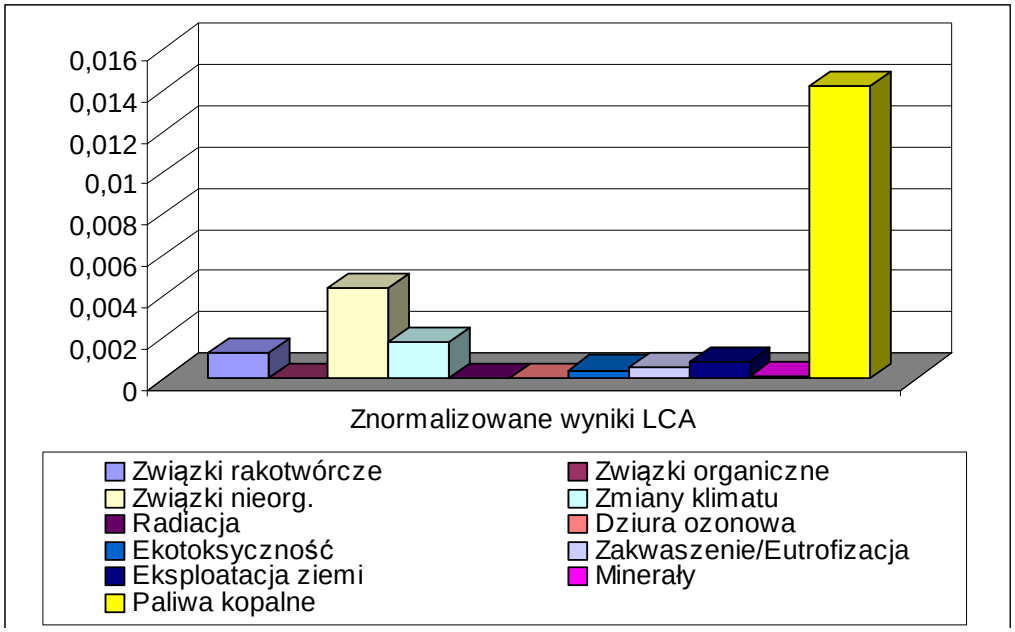
Tablica 5.6. Szacowanie wpływów – sprowadzenie wskaźników oddziaływania na środowisko betonu komórkowego do postaci trzech kategorii szkód.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Procedura **Ekowskaźnika 99** umożliwia także przeprowadzenie normalizacji, która polega na podzieleniu wskaźników kategorii oddziaływania przez wpływ na środowisko przypadający na jednego mieszkańca Europy, w ciągu roku, czyli tzw. efekt normalny [5]. W tablicy 5.7 i 5.8 oraz na rys. 5.5 i 5.6 zaprezentowano wyniki normalizacji względem jedenastu kategorii oddziaływania i trzech kategorii szkód.

Kategoria wpływu	Beton kom.
Związki rakotwórcze	0,00123
Związki organiczne	1,05E-5
Związki nieorganiczne	0,00441
Zmiany klimatu	0,00178
Radiacja	2,54E-7

Kategoria wpływu	Beton kom.
Dziura ozonowa	2,56E-6
Ekotoksyczność	4,08E-4
Zakwaszenie / eutrofizacja	5,22E-4
Eksploatacja ziemi	7,92E-4
Minerały	8,08E-5
Paliwa kopalne	0,0142

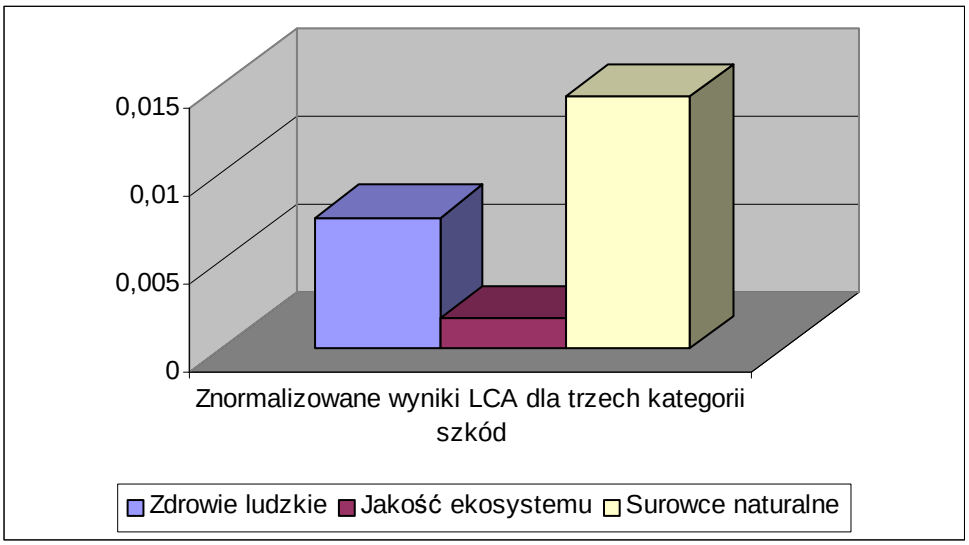
Tablica. 5.7. Znormalizowane wynik LCA betonu komórkowego – metoda Ekowskaźnik 99. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]



Rys. 5.5. Znormalizowane wskaźniki oddziaływania na środowisko betonu komórkowego – postać graficzna. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Kategoria szkód	Beton kom.
Zdrowie ludzkie	0,00744
Jakość ekosystemu	0,00172
Surowce naturalne	0,0143

Tablica. 5.8. Znormalizowane wskaźniki oddziaływania na środowisko betonu komórkowego agregowane według trzech kategorii szkód. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]



Rys. 5.6. Znormalizowane wskaźniki oddziaływania na środowisko betonu komórkowego – zagregowane według trzech kategorii szkód (postać graficzna).
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

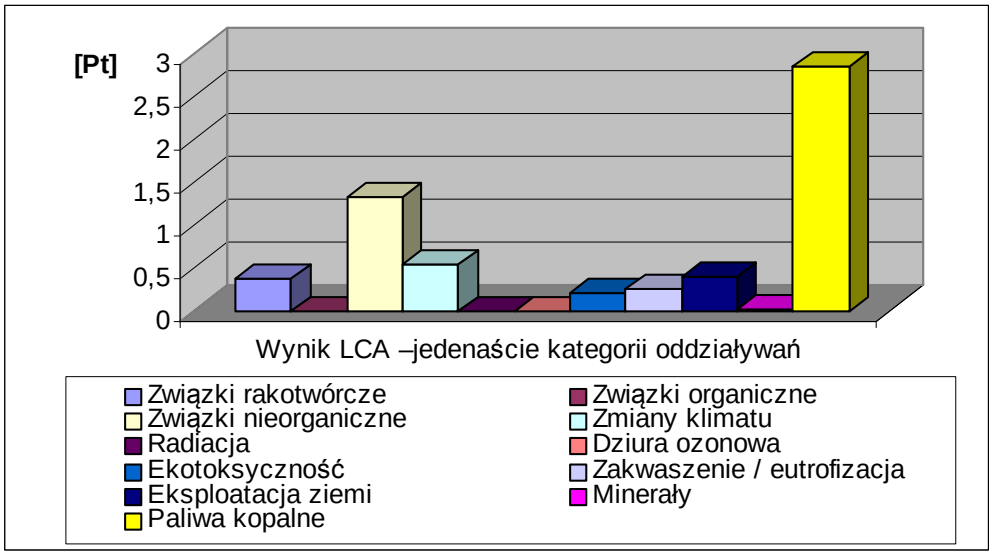
Wartości wskaźników kategorii wpływów są bezwymiarowe. Normalizacja wskazuje względny wymiar oddziaływań, natomiast dla przedstawienia ich istotności niezbędne jest przeprowadzenie ważenia, które polega na przekształceniu wyników przez zastosowanie współczynników wagi dla poszczególnych kategorii oddziaływania – tablica 5.9 i 5.10 oraz rysunki 5.7 i 5.8.

Kategoria wpływu	**Jednostka**	**Beton kom.**
Związki rakotwórcze	Pt	0,369
Związki organiczne	Pt	0,00316
Związki nieorganiczne	Pt	1,32
Zmiany klimatu	Pt	0,535
Radiacja	Pt	7,61E-5
Dziura ozonowa	Pt	7,68E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,204
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,261
Eksploatacja ziemi	Pt	0,396
Minerały	Pt	0,0162
Paliwa kopalne	Pt	2,84
SUMA	**Pt**	**5,95**

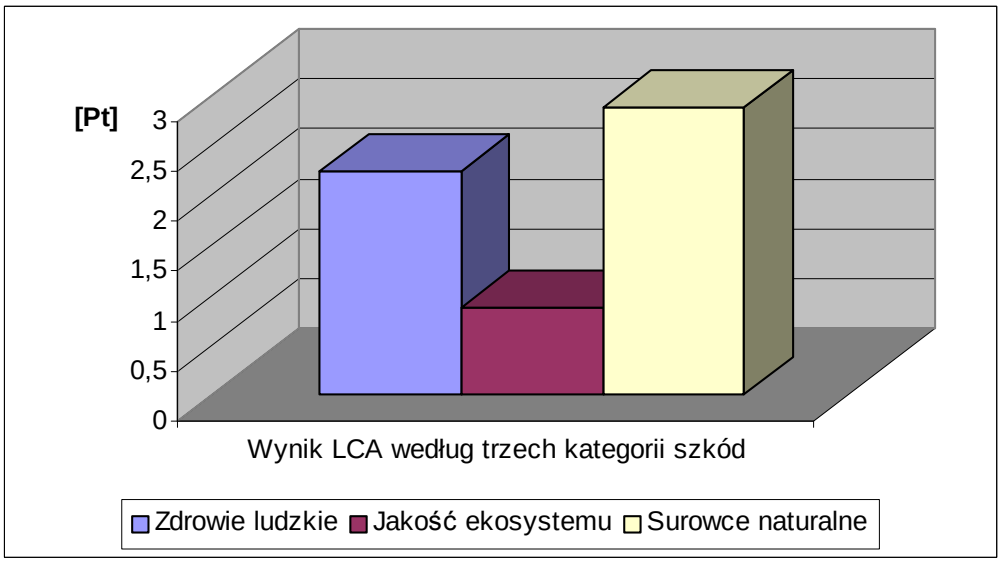
Tablica 5.9. Wynik LCA betonu komórkowego z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Kategoria szkód	Jednostka	Beton kom.
Zdrowie ludzkie	Pt	2,23
Jakość ekosystemu	Pt	0,861
Surowce naturalne	Pt	2,86
SUMA	Pt	**5,95**

Tablica 5.10. Wynik LCA betonu komórkowego odniesiony do trzech kategorii szkód. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]



Rys. 5.7. Wynik LCA betonu komórkowego - jedenaście kategorii oddziaływań – postać graficzna. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]



Rys. 5.8. Wynik LCA betonu komórkowego - trzy kategorie szkód – postać graficzna. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Wybór metody do oceny końcowej uzależniono od jej przydatności do oceny materiałów i wyrobów budowlanych oraz od przejrzystości prezentacji wyników końcowych. Przy ocenie kategorii oddziaływań pod uwagę wzięto kilka kryteriów [73]:

- kompletność – wpływ na wszystkie ważne problemy środowiskowe z listy kategorii,
- praktyczność – wybrana lista powinna ograniczać się do kategorii najważniejszych dla rozpatrywanego regionu,
- niepowtarzalność i niezależność – dane kategorie nie powinny opisywać tych samych skutków środowiskowych.

Z zastosowanych pięciu procedur obliczeniowych do oceny oddziaływania na środowisko (LCIA) betonu komórkowego, dwie wyeliminowano na samym początku badań z uwagi na specyficznie ustawione kategorie oddziaływania, nie przydatne do oceny materiałów budowlanych. Z trzech pozostałych największą ilość kategorii środowiskowych analizuje procedura Ecopoints 97 (tablica 5.11), jednak kategorie te w dużej mierze odwołują się do emisji pojedynczych pierwiastków do środowiska (np. Zn, Cu, Cd, itd.) Czynnikiem ograniczającym wybór tej procedury do dalszych obliczeń jest także fakt, że jest ona dostosowana przede wszystkim do warunków szwajcarskich.

Procedura	*Ilość kategorii środowiskowych*	*Ilość uwzględnionych substancji w różnych kategoriach środowiskowych*	*Ocena wpływu na kategorie środowiskowe*	*Ilość kategorii szkód*	*Normalizacja*	*Ważenie*	*Uwzględnienie (liczba surowców / emitowanych substancji)*				
							Zużycie surowców	*Emisji do powietrza*	*Emisji do wody*	*Emisji do gleby*	*Emisje nie materiałowe*
CML 2 baseline 2000	*10*	*3915*	+	*0*	+	-	*118*	*934*	*1434*	*1429*	*X*
Eco-indicator 99 (E)	*11*	*644*	+	*3*	+	+	*45*	*323*	*113*	*101*	*62*
Ecopoints 97	*30*	*631*	+	*0*	+	+	*45*	*295*	*55*	*236*	*X*

Tablica 5.11. Charakterystyka metod oceny oddziaływania na środowisko wg procedur obliczeniowych programu Sima Pro 5.1. Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na ilość uwzględnionych emisji w różnych kategoriach środowiskowych, pozornie najwięcej ujmuje ich procedura CML 2 baseline 2000. Pozorność polega na powtarzaniu się tych samych emisji uwzględnianych w jednej kategorii, ale w różnym odniesieniu, np.: toksyczność dla człowieka, toksyczność dla wody słodkiej, toksyczność dla wody morskiej i toksyczność dla środowiska lądowego.

Procedura oceny Ekowskaźnika 99 jako jedyna umożliwia jednoznaczne przyporządkowanie kategorii oddziaływania do określonych kategorii szkód i tym samym pozwala na dokonanie oceny wpływu na: zdrowie ludzkie, jakość środowiska i zużycie zasobów naturalnych. Procedura powyższa umożliwia także dokonanie ważenia i przedstawienia wyniku końcowego LCA w Pt. Metoda oceny Ekowskaźnik 99 także jako jedyna uwzględnia w ocenie oddziaływania emisje poza materiałowe i właśnie te cechy zadecydowały o jej przyjęciu do obliczeń LCA pozostałych materiałów i wyrobów budowlanych, jak również do obliczeń LCA fazy budowy i fazy użytkowania analizowanego domu jednorodzinnego

5.3. LCA wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych zastosowanych w analizowanym budynku

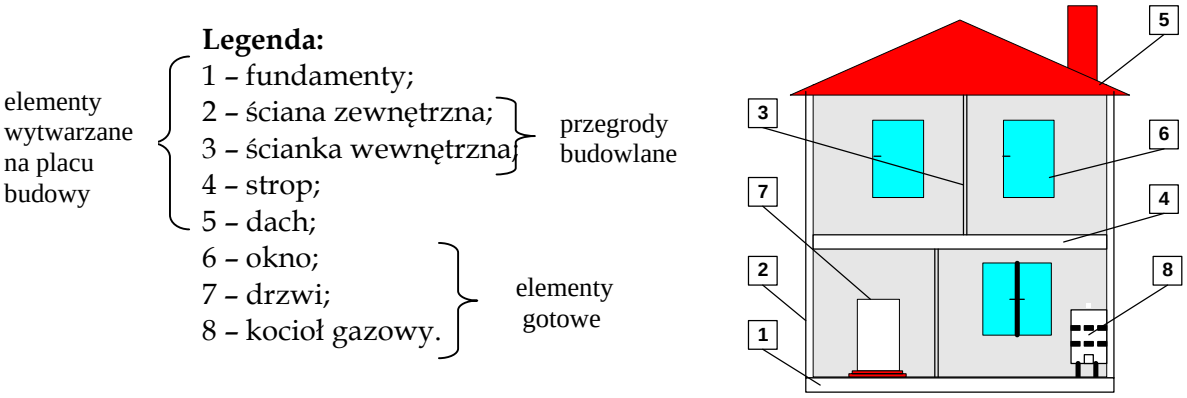
LCA dla wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych (wg wykazu zgodnie z [66]) wyliczono za pomocą metody Ekowskaźnika 99 i zestawiono w tablicach II.1-II.13 w załączniku 2 i w tablicach III.1-III.11 w załączniku 3.

R O Z D Z I A Ł 6

LCA FAZY BUDOWY

6.1. Wprowadzenie do oceny cyklu istnienia fazy budowy

Dokonując oceny cyklu istnienia fazy budowy, zgodnie z przyjętymi w rozdz. 3.1. założeniami wstępnymi, budynek podzielono na moduły jednostkowe, będące wydzielonymi, samodzielnymi fragmentami budynku, które spełniają określoną funkcję (fundamenty, ściany zewnętrzne i wewnętrzne, strop, dach). Dla każdego z tych modułów wykonano LCA przyjmując odpowiednio dobrane jednostki funkcjonalne (patrz rys. 6.1).



Rys. 6.1. Moduły budynku. Źródło: Opracowanie własne

Generalnie moduły budynku sklasyfikowano w dwóch obszarach:

- elementy o strukturze warstwowej lub szkieletowej; wykonywane bezpośrednio na placu budowy, takie jak: fundamenty, ściany zewnętrzne i wewnętrzne, strop, dach;
- elementy dostarczane na plac budowy w postaci gotowej, wymagające jedynie prac montażowych, np. stolarka okienna i drzwiowa oraz system grzewczy (kocioł gazowy).

Pozostałe elementy budynku, takie jak np. części mocujące (np. gwoździe, wkręty, itp.), jak i te, których nie da się przyporządkować jednoznacznie określonym elementom cząstkowym budowy (np. schody), oraz te, które tworzą same w sobie zamknięte jednostki, np. rynny dachowe, poddano ocenie wcześniej w rozdz. 5.3. Wyniki oceny zestawiono w załączniku 2 i 3.

Należy podkreślić, iż takie podejście do oceny fazy budowy, a zwłaszcza do oceny tych modułów, które są wykonywane na placu budowy, stwarza możliwość zastosowania wariantowości w doborze materiałów budowlanych z uwzględnieniem ich indywidualnych bilansów ekologicznych ustalonych na etapie fazy ich wytworzenia (rozdz.5), pod warunkiem zachowania wymaganych końcowych właściwości ocenianego modułu, np. ściany zewnętrznej, która musi spełniać określone parametry statyczne i izolacyjne[21].

6.2. LCA modułów budynku wykonywanych bezpośrednio na placu budowy

6.2.1. LCA robót ziemnych

Prace ziemne choć nie są modułem struktury samego budynku stanowią istotny element fazy budowy i nie powinny być pominięte. Roboty ziemne w analizowanym przypadku sprowadzały się do usunięcia warstwy ziemi urodzajnej (humusu) o grubości do 15 cm z powierzchni terenu wynoszącej 314 m^2 za pomocą spycharki gąsienicowej o mocy 74 kW. Następnie wykonano wykopy oraz przekopy koparką podsiębierną o pojemności naczynia 0,40 m^3 na odkład w gruncie kat. I-II. Ostatnim etapem robót ziemnych było zasypywanie wykopów spycharką z przemieszczeniem gruntu na odległość do 10 m w gruncie kat. I-II oraz rozplantowanie pozostałego urobku. W analizie uwzględniono paliwo użyte do napędu zastosowanego sprzętu budowlanego [107].

Jako jednostką funkcjonalną przyjęto przemieszczenie 1 m^3 ziemi.

Sumaryczne oddziaływanie tej fazy robót budowlanych zestawiono w tabeli 6.1.

[21] Wariantowe wykonanie przegrody budowlanej zostało zaprezentowane w rozdziale 8 i połączone z optymalizacją współczynnika przenikania ciepła przez ściany zewnętrzne.

Kategoria wpływu	Jednostka	Roboty ziemne-suma
Związki rakotwórcze	Pt	2,49E-6
Związki organiczne	Pt	1,02E-5
Związki nieorganiczne	Pt	0,00108
Zmiany klimatu	Pt	1,63E-4
Radiacja	Pt	X
Dziura ozonowa	Pt	X
Ekotoksyczność	Pt	3,53E-6
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	2,54E-4
Eksploatacja ziemi	Pt	7,14E-5
Minerały	Pt	7,77E-7
Paliwa kopalne	Pt	0,0181
SUMA	Pt	**0,0197**

Tablica 6.1. Wynik LCA robót ziemnych z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

6.2.2. LCA modułu - fundamenty

Fundamenty w analizowanym budynku posadowiono na głębokości 1,2 m od poziomu terenu (poniżej umownej głębokości przemarzania gruntu). Wykonano je z betonu klasy B20 o grubości 0,3 m i szerokości (w zależności od wymagań konstrukcyjnych) 0.6 m, 0.8 m, 1.3 m zgodnie z rysunkiem zamieszczonym w projekcie technicznym. Fundamenty posadowione są na warstwie betonu klasy B7,5 o grubości 10 cm i na poduszce żwirowo-piaskowej o grubości 30 cm i stopniu zagęszczenia $l_D=0,70$ (wskaźnik zagęszczenia $l_s=0,95$).

Ławy fundamentowe zbrojono podłużnie w świetle ścian fundamentowych czteroma prętami Ø12 ze stali klasy A-III (34GS) i poprzecznie strzemionami Ø6 co 20 cm ze stali klasy A-I (St3SX).

Stopę fundamentowa zazbrojono dołem siatką z prętów Ø12 ze stali klasy A-III (34GS) o rozstawie 20 cm x 20 cm.

Na ławach fundamentowych i na powierzchni ścian fundamentowych ułożono izolację poziomą (dwie warstwy papy asfaltowej na lepiku.

Dla normowania danych wejściowych i wyjściowych na etapie fundamentowania jako jednostkę funkcjonalną przyjęto wykonanie 1 m^3 ławy fundamentowej prostokątnej żelbetowej o szerokości do 0,8 m i grubości 0,3 m.

W tablicy 6.2. zestawiono wszystkie wyroby użyte do realizacji tego etapu robót z uwzględnieniem mnożnika strat dla poszczególnych materiałów. W analizie

oddziaływania uwzględniono również transport na plac budowy materiałów budowlanych (38,66 tkm) oraz zużycie energii (17,76 kWh) przez maszyny budowlane, takie jak: wyciąg przyścienny „500", prostowarka X-52, nożyce NM-4-40 i giętarka G3-40.

Materiały wykorzystane w module fundamenty	Ilość wyrobu [kg/m³]
Beton zwykły B-20	2415
Drewno okrągłe na stemple bud.	2,08
Deski iglaste obrzynane 25 mm	3,64
Deski iglaste obrzynane 38 mm	2,6
Gwoździe bud. okrągłe	0,53
Roztwór asfaltowy do gruntowania	0,5
Pręty żebrowe Ø12 mm	3,76
Pręty gładkie Ø6	1,1
Lepik asfaltowy na gorąco	5,01
Papa asfaltowa na tekturze izolacyjna	2,88
Drewno opałowe	7,5

Tablica 6.2. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module fundamenty. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Tablica 6.3. prezentuje ocenę oddziaływania na środowisko modułu - fundament w odniesieniu do przyjętej jednostki funkcjonalnej.

Kategoria wpływu	Jednostka	Ława fundamentowa z izolacją - m³
Związki rakotwórcze	Pt	0,146
Związki organiczne	Pt	0,0107
Związki nieorganiczne	Pt	3,55
Zmiany klimatu	Pt	1,51
Radiacja	Pt	7,48E-4
Dziura ozonowa	Pt	0,0024
Ekotoksyczność	Pt	0,119
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,911
Eksploatacja ziemi	Pt	18,8
Minerały	Pt	0,0125
Paliwa kopalne	Pt	6,22
SUMA	Pt	**31,3**

Tablica 6.3. Wynik LCA modułu - fundament z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

6.2.3.LCA modułu - przegrody budowlane (ściany zewnętrzne i wewnętrzne)

Ściany zewnętrzne i wewnętrzne stanowią elementy budowy o strukturze warstwowej na którą składają się poszczególne materiały budowlane zastosowane w analizowanej przegrodzie.

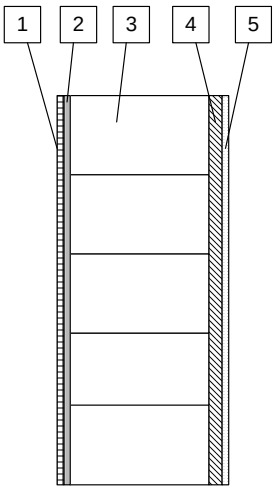
Ściany nośne zewnętrzne (rys. 6.2.) o grubości 36,5 cm wykonano z bloczków gazobetonowych PP3/0.5 na zaprawie murarskiej (wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie R_{mk}=2,2 MPa). Tynki zewnętrzne natomiast wykonano z wyprawy elewacyjnej cienkowarstwowej z tynku mineralnego gr. 3,5 mm z gotowej suchej mieszanki.

Wewnętrzne ściany nośne (24 cm) wykonano z bloczków gazobetonowych PP4/0.6 na zaprawie murarskiej (wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie R_{mk}=2,6 MPa), ale częściowo również z cegły ceramicznej pełnej klasy 15 na zaprawie cementowej (wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie R_{mk}=2700 kPa) oraz z płyty gipsowo-kartonowej o gr. 12,5 mm.

Tynki wewnętrzne; wykonano jako mokre cementowo-wapienne kat. III lub z płyt gipsowo kartonowych mocowanych do ścian murowanych na plackach gipsowych lub na ruszcie mocowanym do ścian i sufitów wg wskazań producenta. W pomieszczeniach mokrych zastosowano płyty uodpornione na wilgoć. Ściany wewnętrzne i sufity pomalowane farbami emulsyjnymi zgodnie z indywidualnym projektem wnętrza.

Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto wykonanie 1 m^2 przegrody budowlanej.

W analizie ujęto wszystkie materiały niezbędne do wykonania funkcji przegrody zewnętrznej – tzw. strumień odniesienia (tablica 6.4.) oraz energię zużywaną przez agregat tynkarski AT-32MK o wydajności 1,5÷3 m^3/h, wyciąg budowlany (2,38 kWh) i energię związaną z transportem wyrobów budowlanych na plac budowy (1,03 tkm).



Legenda:

1-Wyprawa elewacyjna cienkowarstwowa z tynku mineralnego gr. 3,5 mm;
2-Warstwa tynku zwykłego + farba gruntująca;
3-Bloczki betonu komórkowego 60x20x36,5 cm;
4-Warstwa tynku wewnętrznego zwykłego kat. III;
5-Farba emulsyjna wewnętrzna.

Rys. 6.2. Przekrój zewnętrznej przegrody budowlanej. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [112]

Materiały wykorzystane w module przegrody budowlane (ściana zewnętrzna)	Ilość wyrobu [kg/m²]
Bloczki gazobetonowe 60x20x36,5	182
Wyprawa elewacyjna cienkowarstwowa minralna	4,4
Zaprawa cementowo-wapienna M15 – tynk	84,5
Zaprawa murarska do gazobetonu	6,23
Farba emulsyjna	0,46

Tablica 6.4. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module - przegrody budowlane (ściana zewnętrzna). Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Wynik LCA zewnętrznej przegrody budowlanej z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko zestawiono w tab.6.5

Kategoria wpływu	Jednostka	Przegroda zewnętrzna m²
Związki rakotwórcze	Pt	0,39
Związki organiczne	Pt	0,00338
Związki nieorganiczne	Pt	1,43
Zmiany klimatu	Pt	0,578
Radiacja	Pt	4,28E-4
Dziura ozonowa	Pt	8,12E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,241
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,283
Eksploatacja ziemi	Pt	0,583
Minerały	Pt	0,0251
Paliwa kopalne	Pt	3,00
SUMA	Pt	**6,50**

Tablica 6.5. Wynik LCA zewnętrznej przegrody budowlanej z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Ściany działowe (wewnętrzne) w analizowanym budynku zostały wykonane za pomocą dwóch różnych technologii:

- przegroda z cegły dziurawki (12 cm), tynk wewnętrzny (ok. 2 cm) i warstwa farby emulsyjnej w ilości ok. 200 cm³ (przy wydajności farby równej 10 m²/dm³ i dwukrotnym malowaniu);
- przegroda płyta gipsowo-kartonowa (1,25 cm) i warstwa farby emulsyjnej w ilości ok. 200 cm³ (przy wydajności farby równej 10 m²/dm³ i dwukrotnym malowaniu).

Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto 1 m^2 przegrody wewnętrznej.

Materiały wykorzystane do budowy pierwszego wariantu ścianki działowej zestawiono w tablicy 6.6, a dla drugiego wariantu w tabeli 6.7.

Materiały wykorzystane do budowy ściany działowej 1	**Ilość wyrobu [kg/m^2]**
Cegła dziurawka	121,5
Zaprawa cementowa M15	67,2
Zaprawa cementowo-wapienna M15	44,5
Farba gruntująca	0,22
Farba emulsyjna	0,26

Tablica 6.6. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module przegrody budowlane ściana działowa „1" – z cegły dziurawki. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

W obliczeniach uwzględniono również wartości obciążeń środowiska wynikające z transportu materiałów na plac budowy oraz energię zużytą do pracy maszyn budowlanych - wyciągu budowlanego oraz agregatu tynkarskiego. I tak dla wariantu „1"przyjeto odpowiednio wartości: (15,0 tkm) (1,2 kWh), a dla wariantu „2": (4,65 tkm) oraz (0,25 kWh).

Ściana działowa 2	**Ilość wyrobu [kg/m^2]**
Płyta gipsowo-kartonowa wodoodporna 12,5 mm	18,54
Profil U75	0,56
Profil C75	1,72
Wkręty	0,05
Gips budowlany szpachlowy	1,96
Płyta z wełny mineralnej półtwarda gr. 6 cm	4,94
Farba gruntująca	0,22
Farba emulsyjna	0,26

Tablica 6.7. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module - przegrody budowlane ściana działowa gipsowo-kartonowa. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Wyniki LCA dla wewnętrznych przegród zestawiono w tabeli 6.8.

Kategoria wpływu	Jednostka	Ściana działowa-cegła dziurawka m²	Ściana działowa płyta gipsowo-kartonowa m²
Związki rakotwórcze	Pt	0,0195	0,068
Związki organiczne	Pt	0,00122	5,24E-4
Związki nieorganiczne	Pt	0,878	0,16
Zmiany klimatu	Pt	0,406	0,0652
Radiacja	Pt	2,99E-4	0,0014
Dziura ozonowa	Pt	2,92E-5	9,44E-5
Ekotoksyczność	Pt	0,0304	0,0732
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,225	0,0374
Eksploatacja ziemi	Pt	1,6	0,189
Minerały	Pt	0,00764	0,0129
Paliwa kopalne	Pt	1,42	0,45
SUMA	Pt	**4,58**	**1,06**

Tablica 6.8. Wynik LCA wewnętrznych przegród z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Porównując wynik LCA dla dwóch ścian działowych (przegród wewnętrznych), pełniących tę samą funkcję lecz wykonanych z różnych materiałów , można jednoznacznie stwierdzić, że zastosowanie płyty gipsowo-kartonowej pozwala na zmniejszenie, aż czterokrotne negatywnego oddziaływania na środowisko, (korzyść środowiskową uzyskano szczególnie w kategorii paliwa kopalne, minerały, zmiana klimatu, zakwaszenie, eksploatacja ziemi). Jest to bardzo istotna wskazówka dla projektantów, którzy powinni uwzględniać w praktyce projektowej także aspekty środowiskowe.

6.2.4. LCA modułu - strop

Zastosowany w analizowanym budynku strop gęstożebrowy „TERIVA" stanowi konstrukcję szkieletową o rozpiętości dopuszczalnej 6,0 m, o wysokości konstrukcyjnej 24 cm, rozstawie osiowym belek 60 cm. Nadbeton o grubości minimalnej 3 cm wykonano z betonu klasy B20. Prefabrykowane belki stropu dozbrojono na podporze za pomocą prętów Ø12 ze stali A-III (34GS), kotwionych w wieńcu i wpuszczonych w nadbeton na długość 80 cm. Belki stropu o rozpiętości powyżej 5,0 m ułożono z odwrotną strzałką ugięcia f = 2,0 cm.

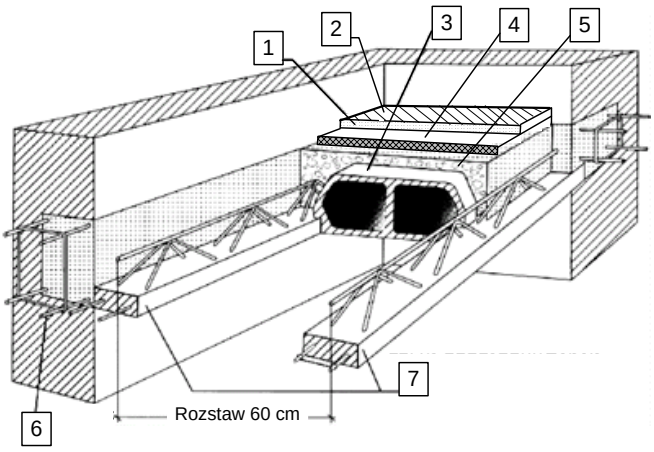
Żebra rozdzielcze stropu zgodnie z rysunkiem zamieszczonym w projekcie technicznym wykonano o szerokości b=10 cm, z betonu klasy B20, zazbrojono podłużnie 2 prętami Ø12 ze stali klasy A-III (34GS) zakotwionymi w wieńcu i poprzecznie strzemionami Ø4,5 ze stali A-I (St3SX) o rozstawie 15cm. Dolny pręt Ø12 zbrojenia podłużnego żebra przeprowadzono również przez środniki ukrytych belek stalowych HE-A 200.

Dla oparcia słupów więźby dachowej wykonano w grubości stropu:

- *stalowe* belki ukryte B1 o rozpiętości osiowej L_o=5,24 m i L_o=4,49 m z walcowników HE-A 200 (alternatywnie 2xC200 lub 2xI200) ze stali gatunku St3S, jako jednoprzęsłowe. Monolityczne połączenie belek stalowych ze stropem zapewniono przez pręty kotwiące Ø4,5 ze stali klasy A-l (St3SX) spawane do belek stalowych co 20 cm i kotwione w stropie TERIVA oraz przez żebro rozdzielcze. Belki stalowe należy obetonować;
- *żelbetowe* belki ukryte B2 o rozpiętości osiowej L_o = 3,12 m i L_o = 2,20 m, z betonu klasy B20; o wymiarach przekroju poprzecznego b = 24 cm i h = 24 cm, zbrojone podłużnie górą 2 Ø12 i dołem 4 Ø16 oraz poprzecznie strzemionami dwuciętymi Ø6 co 6 cm na odcinkach przypodporowych o długości L_o = 50 cm i w miejscu oparcia słupa więźby; strzemionami dwuciętymi Ø6 co 15 cm w przęśle.

Legenda:

1-gładź betonowa;
2-parkiet;
3-pustak stropowy TERIVA I;
4-warstwa styropianu o gr. 3 cm;
5-nadbeton wykonany na budowie;
6-wieniec;
7-belka prefabrykowana ze zbrojeniem.



Rys. 6.3. Przekrój stropu gęstożebrowego TERIVA I. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [112]

Wieniec żelbetowy W1 stropu TERIVA o wymiarach przekroju poprzecznego b=24 cm, h=66 cm (28 cm+38 cm) na ścianach zewnętrznych parteru wykonano jako żelbetowy monolityczny z betonu B20, zbrojony podłużnie 6 prętami Ø12 ze stali klasy A-III (34GS) i poprzecznie strzemionami Ø6 co 10 cm ze stali klasy A-I (St3S). Dolna krawędź wieńca znajduje się 4 cm poniżej dolnej krawędzi stropu. *Wieniec żelbetowy W2* stropu TERIVA o wymiarach przekroju poprzecznego b=24 cm, h=28

cm na ścianach wewnętrznych parteru wykonano jako żelbetowy monolityczny z betonu B20, zbrojony podłużnie 4 prętami Ø12 ze stali klasy A-III (34GS) i poprzecznie strzemionami Ø6 co 20 cm ze stali klasy A-I (St3S). Dolna krawędź wieńca znajduje się 4 cm poniżej dolnej krawędzi stropu. W miejscu oparcia stalowych belek ukrytych (B1) i żelbetowych belek ukrytych (B2) na wieńcu W1 i W2 zastosowano dodatkowe zbrojenie poprzeczne wieńca w postaci 4 strzemion Ø6 (po 2 sztuki po obu stronach belek ukrytych) w odległości 2 cm i 7 cm od belek ukrytych.

Wieńce żelbetowe w ścianach zewnętrznych docieplono bloczkiem gazobetonowym o grubości 7,5 cm oraz styropianem o grubości 5 cm.

Jako jednostką funkcjonalną przyjęto wykonanie 1 m^2 tego stropu.

W analizie uwzględniono wszystkie materiały niezbędne do wykonania jednostki funkcjonalnej 1 m^2 stropu łącznie z elementami wieńca budynku W1 i ułożonym na posadzce parkietem (tablica 6.9.) oraz energię do pracy wyciągu przyściennego „500", prostowarki X-52, nożyc NM-4-40 i giętarki G3-40 (2,68 kWh). Uwzględniono też transport materiałów na plac budowy (23,2 tkm).

Zestawienie materiałów	**Ilość wyrobu [kg/m^2]**
Belki stropowe prefabrykowane żelbetowe TERIVA	22,06
Pustaki stropowe z betonu lekkiego TERIVA	110,6
Beton zwykły B-20	571,2
Drewno okrągłe na stemple budowlane	0,005
Deski iglaste obrzynane 25 mm	0,033
Deski iglaste obrzynane 38 mm	0,024
Płyta gipsowo-kartonowa wodoodporna 12,5 mm	18,54
Gwoździe budowlane okrągłe	0,8
Pręty żebrowane 8-14 mm	5,64
Pręty gładkie do 7 mm	2,2
Sucha zaprawa samopoziomująca	3,2
Styropian o gr. 3 cm	0,66
Parkiet	5,29

Tablica 6.9. Zestawienie materiałów wykorzystanych w procesie wykonania modułu strop. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Kategoria wpływu	Jednostka	Strop TERIVA- m²
Związki rakotwórcze	Pt	0,0492
Związki organiczne	Pt	0,00163
Związki nieorganiczne	Pt	3,83
Zmiany klimatu	Pt	0,215
Radiacja	Pt	1,09E-5
Dziura ozonowa	Pt	1,14E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,0789
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,161
Eksploatacja ziemi	Pt	10,1
Minerały	Pt	0,0192
Paliwa kopalne	Pt	1,64
SUMA	Pt	**16,1**

Tablica 6.10. Wynik LCA modułu - strop z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

6.2.4. LCA modułu - dach

Do wykonania więźby dachowej użyto drewna klasy K27. Więźbę zaprojektowano o kącie pochylenia połaci α=35° oraz konstrukcji szkieletowej krokwiowo-płatwiowej i rozpiętości obliczeniowej L_0=7,6 m. Krokwie o przekroju 8/22 cm, 6/22 cm i rozstawie 0,90 m opierają się na murłatach 14/14 cm, na płatwiach kalenicowych PL1, PL2: 20/28 cm; krokwiach narożnych KN1: 12/24 cm i koszowej KK1: 12/24 cm. Płatwie kalenicowe oparte są na słupach S1, S2, S3: 20/20 cm i mieczach 20/20 cm. Krokwie narożne KN1 i koszowa KK1 oparte są na słupach S4, S5: 12/12 cm.

Nośność oparcia krokwi na murłacie w kierunku poziomym zapewniono większą niż 5,0 kN w celu przeniesienia na murłatę poziomych sił reakcji. Krokwie zamocowano do murłaty za pomocą łączników BMF „Złącza kątowe typu 90 wzmocnione" (Nr BMF 07090.00) po dwie sztuki na oparcie oraz gwoździ karbowanych BMF Ø4,0x60 mm w ilości 2x10=20 szt/oparcie.

Krokwie wraz z łatami (5/6 cm) stężono wiatrownicami (taśmy perforowane 40x2 mm produkcji BMF) w celu nadania krokwiom długości wyboczeniowej L<0,5 m w płaszczyźnie połaci dachu.

Murłaty 14x14 cm osadzono na zakotwionych uprzednio w wieńcu żelbetowym kotwach stalowych F12, ocynkowanych, o rozstawie co 0,50 m zakończonych hakiem i nagwintowanych na odcinku ok. 5 cm. Krokwie narożne i koszowe osadzono na zakotwionych uprzednio w wieńcu żelbetowym kotwach stalowych F20, ocynkowanych, zakończonych hakiem i nagwintowanych na odcinku ok. 5 cm.

Przed pracami montażowymi więźby dachowej drewno zaimpregnowano. Wszystkie elementy drewniane więźby dachowej, stykające się z elementami stalowymi lub żelbetowymi, zabezpieczono papą asfaltową. Połać dachowa została także ocieplona warstwą płyty z wełny mineralnej o gr. 18 cm, układaną między krokwiami. Od strony pomieszczeń mieszkalnych wełna mineralna została zabezpieczona folią paroizolacyjną a następnie ułożono płyty gipsowo-kartonowe na stelażu. Od strony zewnętrznej nad powierzchnią wełny mineralnej wykonano szczelinę wentylacyjną o szerokości 2 cm dla odprowadzenia pary wodnej przenikającej z pomieszczeń poddasza. Nad szczeliną powietrzną zastosowano folię wiatroizloacyjną następnie ułożono dachówkę ceramiczną na łatach i kontrłatach.

Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto wykonanie wycinka dachu o powierzchni 1 m^2 z uwzględnieniem podstawowej konstrukcji szkieletowej na którą składa się krokiew narożna i miecz (odpowiednio: KN1 i Mi1 – wg projektu budowlanego).

Zestawienie materiałów niezbędnych do wykonania funkcji - 1 m^2 modułu dach umieszczono w tablica 6.11. W obliczeniach ujęto również energię zużytą do pracy wyciągu budowlanego (0,86 kWh) oraz do transportu materiałów na plac budowy (4,65 tkm).

Zestawienie materiałów do wykonania modułu dach	**Ilość wyrobu [kg/m²]**
Krawędziaki iglaste wymiarowe	24,44
Gwoździe budowlane okrągłe	0,11
Śruby, podkładki, nakrętki	0,27
Folia polietylenowa izolacyjna	0,10
Płyty z wełny mineralnej gr.18 cm	4,30
Folia polietylenowa zbrojona dachowa	1,56
Laty iglaste 75x22	1,14
Dachówka ceramiczna typu S	47,1
Wkręty stalowe	0,051
Gąsiory półokrągłe typu S	2,32

Tablica 6.11. Zestawienie wyrobów wykorzystanych w konstrukcji modułu – dach. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Kategoria wpływu	Jednostka	Więźba dachowa wraz z pokryciem dachu-m²
Związki rakotwórcze	Pt	0,133
Związki organiczne	Pt	0,00123
Związki nieorganiczne	Pt	0,545
Zmiany klimatu	Pt	0,21
Radiacja	Pt	0,00137
Dziura ozonowa	Pt	2,17E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,0586
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,123
Eksploatacja ziemi	Pt	5,24
Minerały	Pt	0,00594
Paliwa kopalne	Pt	1,92
SUMA	Pt	**8,23**

Tablica 6.12. Wynik LCA dla modułu - dach z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

6.3. LCA gotowych modułów fazy budowy

6.3.1. LCA modułu - okno

Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto „zamknięcie" 1 m² powierzchni otworu okiennego.

W analizie ujęto uśrednioną ilość elementów okna dwuszybowego z ramą z tworzywa PCW o profilu stalowym (tablica 6.13.). Nie uwzględniono uszczelek gumowych, pianki montażowej oraz opakowań w których okna dostarczane są na plac budowy.

W obliczeniach uwzględniono natomiast energię zużywaną na transport okien na plac budowy (3,0 tkm) oraz energię do pracy wyciągu budowlanego (0,89 kWh).

Elementy modułu okno	Ilość materiałów [kg/m²]
Okucia ze stali ocynkowanej	2,90
Szyba	12,62
Rama z PCW	9,54
Zbrojenie stalowe	8,32

Tablica 6.13. Zestawienie wyrobów wykorzystanych w procesie produkcji i montażu okna dwuszybowego z PCW. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Kategoria wpływu	Jednostka	Produkcja i montaż m² okna
Związki rakotwórcze	Pt	0,135
Związki organiczne	Pt	0,0147
Związki nieorganiczne	Pt	1,1
Zmiany klimatu	Pt	0,311
Radiacja	Pt	8,47E-5
Dziura ozonowa	Pt	3,2E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,0714
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,22
Eksploatacja ziemi	Pt	0,16
Minerały	Pt	0,0264
Paliwa kopalne	Pt	4,48
SUMA	Pt	**6,52**

Tablica 6.14. Wynik LCA produkcji i montażu modułu - okno dwuszybowe z PCW z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

6.3.2. LCA modułu - drzwi zewnętrzne

W budynku zastosowano drzwi zewnętrzne tradycyjne drewniane, gdzie drewno klejone jest trójwarstwowo w celu wyeliminowania skrzywień i wypaczeń. Współczynnik przenikania ciepła mieści się w przedziale U=1,7÷2,2 W/m²K. Drzwi oceniono wraz z ościeżnicą wykonaną z drewna. Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto „zamknięcie" 1 m² powierzchni otworu drzwiowego. W obliczeniach ze względu na brak danych nie uwzględniono uszczelki gumowej.

W tablicy 6.15 zestawiono wyniki LCA dla modułu drzwi zewnętrzne, który kształtuje się na poziomie 4,47 Pt.

Kategoria wpływu	Jednostka	Produkcja drzwi zewnętrznych
Związki rakotwórcze	Pt	0,0584
Związki organiczne	Pt	0,016
Związki nieorganiczne	Pt	0,201
Zmiany klimatu	Pt	0,0661
Radiacja	Pt	2,3E-6
Dziura ozonowa	Pt	1,32E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,0405
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,0375
Eksploatacja ziemi	Pt	3,47
Minerały	Pt	0,00459
Paliwa kopalne	Pt	0,574
SUMA	Pt	**4,47**

Tablica 6.15. Wynik LCA modułu - drzwi zewnętrzne z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

6.3.3. LCA modułu - system grzewczy[22] (kocioł gazowy)

Według projektu dla pokrycia zapotrzebowania na ciepło do ogrzania pomieszczeń i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (C.W.U.) zastosowano kocioł gazowy ścienny jednofunkcyjny typu ZSE 24-3 MFK Eurostar firmy Junkers o mocy cieplnej 24 kW, zasilany gazem GZ-50, o współczynniku sprawności 0,8.

Kategoria wpływu	Jednostka	Produkcja kotła o mocy cieplnej 24 kW
Związki rakotwórcze	Pt	3,44
Związki organiczne	Pt	0,0226
Związki nieorganiczne	Pt	8,50
Zmiany klimatu	Pt	3,19
Radiacja	Pt	0,00193
Dziura ozonowa	Pt	0,00647
Ekotoksyczność	Pt	1,95
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	1,50
Eksploatacja ziemi	Pt	0,841

[22] Na moduł system grzewczy składa się także instalacja c.o. i grzejniki – te elementy systemu zostały ocenione w załączniku 2 i 3

Kategoria wpływu	Jednostka	Produkcja kotła o mocy cieplnej 24 kW
Minerały	Pt	272
Paliwa kopalne	Pt	24,10
SUMA	Pt	**315,00**

Tablica 6.16. Wynik LCA modułu - kocioł gazowy o mocy cieplnej 24 kW z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto jednostkę mocy cieplnej kotła gazowego równą 24 kW[23]. W tablicy 6.16 zestawiono wynik LCA modułu system grzewczy (kocioł gazowy) z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Największym oddziaływaniem charakteryzuje się kategoria minerały 272 Pt, natomiast ogólne LCA kotła wynosi 315,00 Pt.

[23] Ze względu na brak danych wejścia-wyjścia do procesu produkcji kotła gazowego (od producenta), skorzystano z bazy danych programu SimaPro.

R O Z D Z I A Ł 7

LCA FAZY UŻYTKOWANIA BUDYNKU

7.1. Wprowadzenie do fazy użytkowania budynku

Faza użytkowania budynku jest tym etapem cyklu istnienia na który znaczący wpływ ma użytkownik i jego zachowania, mniej lub bardziej świadome ekologicznie. Faza ta jest ściśle związane z charakterystyką energetyczną obiektu budowlanego, która jest rodzajem charakterystyki jakościowej informującej pośrednio o wielkości zapotrzebowania na energię przy eksploatacji obiektu zgodnej z jego przeznaczeniem. W myśl intencji rozporządzenia w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego charakterystyka ta określa przede wszystkim [118]:

- jakość ochrony cieplnej pomieszczeń, w tym izolacyjność cieplną ich zewnętrznej obudowy (charakterystyka termoenergetyczna),
- sprawność energetyczną urządzeń ogrzewczych, wentylacyjnych i klimatycznych,
- inne dane, wskazujące, że przyjęte rozwiązania budowlane i instalacyjne spełniają wymagania dotyczące poszanowania i oszczędności energii.

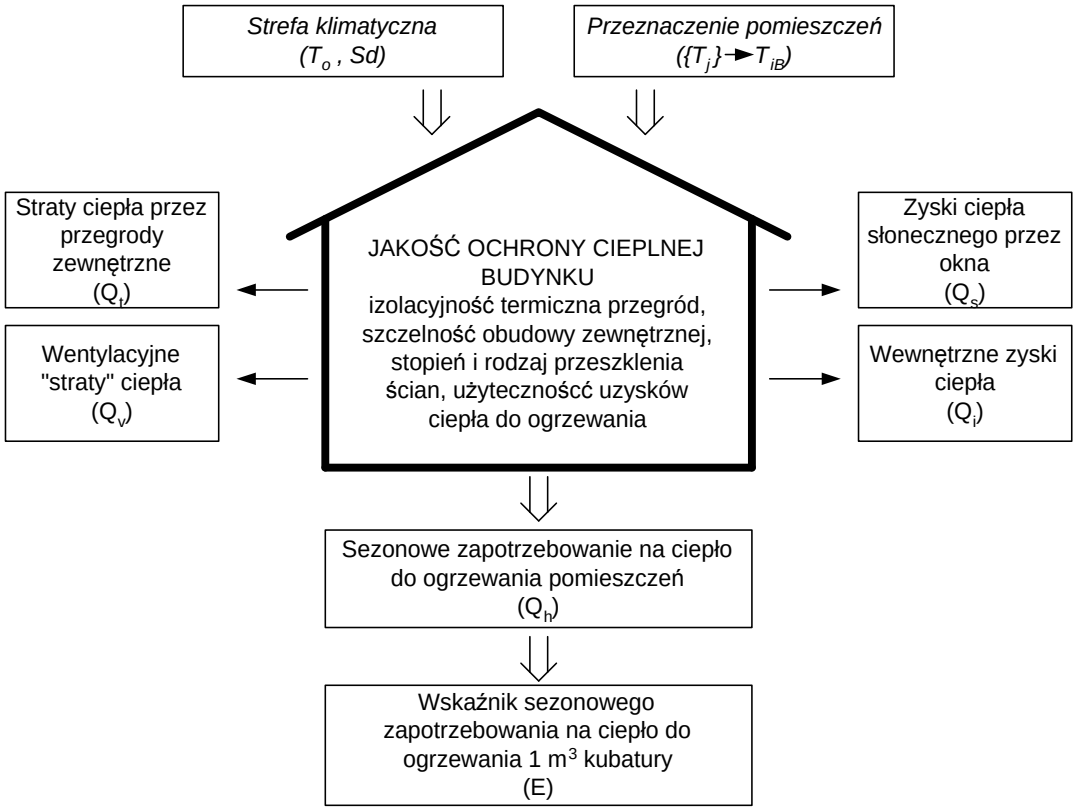
Faza użytkowania jest zatem zdominowana z punktu relacji środowiskowych przez procesy termiczne związane z przygotowaniem energii na potrzeby ogrzewania i integralnie z nimi związanymi emisjami do powietrza atmosferycznego.

Istotnym elementem fazy użytkowania jest również zużycie wody przez użytkowników, jak i wytwarzanie w związku z tym ścieków sanitarnych. Ponieważ jednak oddziaływanie na środowisko związane z uzdatnieniem wody pitnej i oczyszczaniem ścieków jak również z procesami utylizacji odpadów komunalnych wytworzonych przez mieszkańców występuje poza przyjętymi granicami systemu, w LCA fazy użytkowania budynku zostało pominięte. Przedstawiono w tym obszarze jedynie bilans ilościowy w oparciu o przyjęte w praktyce projektowej

wskaźniki (PN-92/B-01706 – dotyczące zapotrzebowania na wodę oraz dane GUS dotyczące ilości odpadów komunalnych wytwarzanych przez jednego mieszkańca w ciągu roku). Również oddziaływanie na środowisko związane ze zużyciem energii elektrycznej w fazie użytkowania, ze względu na fakt jej wytwarzania poza granicami systemu nie jest uwzględnione w analizie.

7.2. Bilans energetyczny analizowanego budynku

Bilans energetyczny budynku zdeterminowany jest w dużej mierze przez jego parametry jakościowe, sposób gospodarowania energią oraz przestrzeganie prawidłowych parametrów eksploatacyjnych (dbałość o właściwy stan techniczny obiektu i przestrzeganie czasokresu wykonania remontów). Zgodnie z ustawą Prawo budowlane *„budynki i pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi (...) powinny być wyposażone w instalacje (urządzenia) do ogrzewania pomieszczeń w okresie obniżonej temperatury zewnętrznej, umożliwiające utrzymanie temperatury powietrza wewnętrznego odpowiedniej do ich przeznaczenia*". Termiczna faza użytkowania związana jest również z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej.



Rys. 7.1. Schemat ilustrujący zasadę bilansu ciepła i określenia wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń w budynku mieszkalnym. Źródło: [69]

Za miarę energochłonności[24] budynku można przyjąć sezonowe zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania 1 m^2 powierzchni albo 1 m^3 kubatury w ciągu roku, czyli tzw. *wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania E* wyrażony w kWh/m^2rok lub w kWh/m^3rok. Sposób jego obliczania określa PN-B-02025:1999. Uwzględnia on bilans strat i zysków ciepła w budynku. Dopiero wykonanie takiego pełnego bilansu cieplnego, czyli znajomość wartości wskaźnika E dla danego budynku, określa jednoznacznie, czy spełnia on wymagania budynku niskoenergochłonnego.

Rysunek 7.1. ilustruje zasadę przeprowadzania bilansu ciepła i określenia wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń w budynku mieszkalnym.

Do sprawdzenia poprawności obliczeń przedstawionych w projekcie instalacji sanitarnych analizowanego budynku oraz określenia zapotrzebowania na moc cieplną poszczególnych pomieszczeń w budynku, jak również jego całości, wykorzystano program komputerowy Herz OZC [109]. Obliczenia przeprowadzane są zgodnie z normami:

- PN-EN ISO 6946 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła;*
- PN-94/B-03406 Obliczanie *zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m^3;*
- PN-B-02025 *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych*;
- PN-82/B-02402 *Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach*;
- PN-82/B-02403 *Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.

Poniżej zestawiono wartości obliczeniowe współczynnika przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych i wewnętrznych omawianego budynku:

- ściana zewnętrzna U=0,360 W/m^2K;
- stropodach U=0,267 W/m^2K;
- podłoga na gruncie U=0,310 W/m^2K;
- okna U=1,700 W/m^2K;
- drzwi U=2,200 W/m^2K.

W ocenie bilansu energetycznego pominięto fakt pogarszania się stanu technicznego poszczególnych elementów budynku z upływem czasu (np.

[24] Energochłonność – energia bezpośrednio zużyta do wytworzenia danego produktu lub wykonania określonej usługi, zwykle odniesiona do jednostki miary ich wielkości

nieszczelności stolarki otworowej, itd.), który powoduje zwiększenie współczynnika przenikania ciepła przez te elementy.

Obliczeniowe zapotrzebowania na ciepło wykonano przy założeniach:

- strefa klimatyczna II -18°C;
- ogrzewanie konwekcyjne.

Wyniki obliczeń bilansu energetycznego dla analizowanego budynku:

- obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną Q_o= 7066 W;
- zapotrzebowanie na moc cieplną do podgrzania powietrza wentylacyjnego Q_{went}= 1621 W;
- zapotrzebowanie na moc cieplną na m^2 powierzchni ogrzewanej Q_f= 51,5 W/ m^2;
- zapotrzebowanie na moc cieplną na m^3 powierzchni ogrzewanej Q_v= 9,4 W/ m^3;
- roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania Q_h= 39,12 GJ/rok; Q_h= 10867 kWh/rok;
- wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku odniesiony do jednostki powierzchni EA= 285,1 MJ/ m^2rok; EA= 79,2 kWh/ m^2rok;
- wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku odniesiony do jednostki objętości EV= 52,2 MJ/ m^3rok; EV= 14,5 kWh/ m^3rok;

Według zestawionych powyżej obliczeń bilansu energetycznego zapotrzebowanie na moc cieplną do podgrzania powietrza wentylacyjnego w rozważanym budynku stanowi aż ¼ całości zapotrzebowania na moc cieplną i wynosi 1621 W.

W celu obniżenia tego zapotrzebowania oraz poprawy jakości środowiska w pomieszczeniach mieszkalnych, dobrym rozwiązaniem byłoby wybudowanie gruntowego wymiennika ciepła (GWC), który w sposób naturalny uzdatnia powietrze doprowadzane do pomieszczeń mieszkalnych, ogrzewając i nawilżając je zimą oraz ochłodzając i osuszając latem, a także dodatkowo oczyszcza je na złożu akumulacyjnym[25] umieszczonym pod powierzchnią ziemi.

Na głębokości 1÷4 m w gruncie w naszej strefie klimatycznej w ciągu całego roku panuje stała temperatura +10°C (± 1,5°C) co zapewnia pozyskanie całkowitego

[25] Złoże akumulacyjne – jest to złoże wypełnione kamieniami (bądź żwirem), w dwóch pionowych warstwach, o różnej granulacji – od 30 do 100 mm (warstwa pierwsza - 30÷50 mm, warstwa druga - 50÷100 mm)

zapotrzebowania na „chłód[26]" w okresie letnim. Energia „zainwestowana" (napęd wentylatora) w stosunku do pozyskiwanej osiąga w miesiącach letnich wskaźnik 1:30÷35. Zastosowanie wymiennika w okresie zimowym pozwala na pozyskiwanie z gruntu do 50% ciepła na potrzeby ogrzania powietrza wentylacyjnego. Energia „zainwestowana" (napęd wentylatora) w stosunku do pozyskiwanej osiąga zimą wskaźnik 1:35÷45. Zastosowanie rekuperatora pozwala na osiągnięcie dalszych oszczędności ciepła w granicach 20÷30 % [48].

Uwzględniając zastosowanie powyżej opisanych urządzeń (GWC i rekuperator) można uzyskać zmniejszenie zapotrzebowania na moc cieplną dla wentylacji o 70% i tym samym w okresie zimowym zapotrzebowania to kształtowało by się na poziomie 486 W.

7.3. LCA termicznej fazy użytkowania budynku

Roczne zużycie gazu w analizowanym budynku wynosi 4275 m^3, w tym:

- na potrzeby ogrzewania – 2745 m^3,
- na przygotowanie ciepłej wody użytkowej – 1530 m^3 (przy założeniu, że liczba mieszkańców wynosi 5 osób, a jednostkowe zużycie c.w.u. przez jednego mieszkańca nie przekracza 50 dm^3/d).

Zużycie gazu w analizowanym dwudziestoletnim okresie będzie zatem wynosiło 85500 m^3.

Do oceny oddziaływania termicznej fazy użytkowania budynku jako jednostkę funkcjonalną przyjęto ogrzanie m^2 powierzchni użytkowej budynku w ciągu sezonu grzewczego zgodnie z wymaganiami PN-82/B-02402. Strumień odniesienia niezbędny do wykonania powyższej funkcji, a więc ilość zużywanej na ten cel energii jest równy wskaźnikowi sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynku-79,2 kWh/ m^2rok.

Jako jednostkę funkcjonalną dla przygotowania c.w.u. przyjęto podgrzanie 200 dm^3 wody do temperatury 40°C w ciągu doby. Strumień odniesienia niezbędny do spełnienia tej funkcji określa ilość zużywanej na ten cel energii w ciągu doby.

Kategoria wpływu	Jednostka	Energia cieplna – c.o.	Energia cieplna – c.w.u.
Związki rakotwórcze	Pt	0,00314	4,18E-4
Związki organiczne	Pt	2,94E-4	3,91E-5
Związki nieorganiczne	Pt	0,0366	0,00488

[26] Średnia maksymalna różnica temperatur powietrza przed i za wymiennikiem wynosi latem 10÷12°C, a zimą 18÷20°C (dotyczy ekstremalnych temperatur zewnętrznych powietrza +32°C i -20°C).

Kategoria wpływu	Jednostka	Energia cieplna – c.o.	Energia cieplna – c.w.u.
Zmiany klimatu	Pt	0,0848	0,0113
Radiacja	Pt	7,07E-4	9,42E-5
Dziura ozonowa	Pt	3,7E-5	4,93E-6
Ekotoksyczność	Pt	0,00467	6,22E-4
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,00878	0,00117
Eksploatacja ziemi	Pt	0,0115	0,00153
Minerały	Pt	0,00365	4,86E-4
Paliwa kopalne	Pt	0,976	0,13
SUMA	Pt	**1,13**	**0,151**

Tablica 7.1. Wynik LCA fazy użytkowania związanej z wytworzeniem energii cieplnej c.o. i c.w.u. z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Po uwzględnieniu całej powierzchni budynku i 20 letniego okresu użytkowania, wartość LCA związana z zapewnieniem odpowiednich warunków termicznych wynosi **3098,46 Pt,** natomiast wynik LCA związany z przygotowaniem c.w.u. **– 1102,3 Pt**.

7.4. Bilans zużycia wody, odprowadzanych ścieków i wytworzonych odpadów komunalnych

Zapotrzebowanie gospodarstwa domowego na zimną i ciepłą wodę zależy od wielu czynników, między innymi od:

- wielkości domu,
- liczby punktów poboru wody,
- liczby domowników,
- wyposażenia łazienki (lub łazienek),
- przyzwyczajeń i upodobań domowników.

Obliczenia zapotrzebowania na wodę wykonano w oparciu o standard podstawowego wyposażenia analizowanego domu w urządzenia techniczno-sanitarne. Procedura obliczeniowa powyższego zapotrzebowania jest zgodna z PN-92/B-01706.

Rodzaj urządzenia	Ilość [szt.]	q_n [dm³/s]	$\sum q_n$ [dm³/s]
Umywalka	3	0,14	0,42
Płuczka zbiornikowa	2	0,13	0,26
Wanna	1	0,30	0,30

Zlewozmywak	1	0,14	0,14
Zmywarka	1	0,15	0,15
Pralka	1	0,25	0,25
Razem			1,52

Tablica 7.2. Wyposażenie analizowanego domu w urządzenia techniczno-sanitarne.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [112]

Przepływ obliczeniowy wody wynosi: q=0,68 dm^3/s, wyznaczono również wielkość średniego dobowego zapotrzebowania na wodę $Q_{śr\ d}$ dla pięciu mieszkańców tego budynku, które wynosi $Q_{śr\ d}$ = 0,85 m^3/d. Zapotrzebowanie maksymalne na wodę w czasie doby wynosi $Q_{max.d}$ = 1,4 m^3/d, natomiast maksymalny pobór w czasie jednej godziny wynosi $Q_{max\ h}$ = 0,26 m^3/d.

Założono również, że ilość ścieków bytowo-gospodarcze odprowadzanych z posesji będzie równa 95% ilości zużywanej wody, czyli $Q_{śc}$ = 0,95 m^3/d.

W nawiązaniu do wcześniej ustalonych granic analizowanego systemu oddziaływanie na środowisko związane z uzdatnianiem wody i oczyszczaniem ścieków zostało w niniejszej pracy pominięte.

Odpady komunalne są to stałe i ciekłe odpady powstające w gospodarstwach domowych, obiektach użyteczności publicznej i obsługi ludności, a także w pomieszczeniach użytkowanych na cele biurowe lub socjalne przez wytwarzającego odpady.

Do odpadów komunalnych zaliczamy m.in.:

- odpady bytowe, śmieci w sensie dosłownym;
- odpady wielkogabarytowe (wraki samochodów, pralki, lodówki, meble, itp.);
- odpady uliczne (zmiotki i zawartości koszy ulicznych);
- odpady z terenów zieleni i jej pielęgnacji;
- gruz z remontów mieszkań i rozbiórki domów.

Ilości wytwarzanych odpadów komunalnych w analizowanym gospodarstwie domowym (5-cio osobowym) ustalono w oparciu o uśrednione dane GUS.

Według danych w Polsce przypada ok. 300 kg odpadów komunalnych na jednego mieszkańca [86]. Wobec powyższego w gospodarstwie tym powstaje rocznie ok. 1500 kg odpadów, uwzględniając analizowany okres 20 lat użytkowania budynku powstanie ok. 30000 kg odpadów. Unieszkodliwianie tych odpadów odbywa się poza analizowanym systemem budynku, dlatego także nie jest brane pod uwagę.

R O Z D Z I A Ł 8

OPTYMALIZACJA EKONOMICZNA I ŚRODOWISKOWA PRZEGRODY ZEWNĘTRZNEJ BUDYNKU

8.1. Wprowadzenie do optymalizacji współczynnika przenikania ciepła

Faza użytkowania w ocenie cyklu istnienia budynku, ze względu na jej długi czas trwania, ma największy udział w jego oddziaływaniu na środowisko (porównaj rozdz. 7). Zwłaszcza wytworzenie energii niezbędnej do utrzymania odpowiedniego komfortu cieplnego w pomieszczeniach i związana z tym emisja do atmosfery dwutlenku węgla stanowi istotne obciążenie środowiska w tej fazie. Należy podkreślić, że ilość emitowanego do atmosfery dwutlenku węgla zależy od wielu czynników, między innymi od ilości i rodzaju paliwa (co jest bezpośrednio związane z zapotrzebowaniem budynku na moc cieplną), a także od sprawności urządzeń grzewczych. Z kolei zapotrzebowanie budynku na moc cieplną jest również uzależnione od wielu zmiennych, z których istotną zmienną jest wartość strat energii cieplnej przez przegrodę zewnętrzną, zależna od współczynnika przenikania ciepła *U*, który jest powszechnie uznanym miernikiem izolacyjności termicznej przegród budowlanych, a także ich poszczególnych komponentów.

Wartość współczynnika przenikania ciepła jest uzależniona od grubości warstwy izolacyjnej *d* i współczynnika przewodzenia ciepła λ (8.1 i 8.2).

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad \left[\frac{W}{m^2 K}\right] \tag{8.1}$$

gdzie:

R_i, R_e – jednostkowe opory cieplne przejmowania ciepła [m²K/W];
R – jednostkowy opór przewodzenia ciepła przez przegrodę [m²K/W]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2 K}{W}\right] \tag{8.2}$$

gdzie:

d – grubość przegrody lub warstwy [m];

λ – obliczeniowa wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału przegrody [W/mK].

Dokonując całościowej oceny oddziaływania budynku na środowisko należy mieć na uwadze fakt, że im w mniejszym stopniu budynek jest zoptymalizowany energetycznie na etapie projektowania, tym większy udział w negatywnym oddziaływaniu na środowisko ma faza użytkowania budynku. Tak więc, optymalizacja elementu budowy, jakim jest przegroda zewnętrzna na etapie prac projektowych przekłada się na poprawę jakości systemu podczas fazy użytkowania budynku.

Proces optymalizacji przegrody budowlanej powinien uwzględniać zarówno aspekt ekonomiczny jak i ekologiczny. Jednak w przypadku tego ostatniego nie może koncentrować się wyłącznie na wyborze materiału budowlanego, który na etapie wytworzenia (produkcji) charakteryzuje się najmniejszym wskaźnikiem oddziaływania na środowisko, albowiem zastosowanie tego kryterium nie zawsze musi być przełożone na korzyści środowiskowe podczas fazy użytkowania budynku. Dopiero połączenie LCA materiałów, z optymalizacją współczynnika przenikania ciepła przez przegrodę, umożliwia dokonanie wyboru ekonomicznie i środowiskowo uzasadnionego i zapewnia spełnienie wskaźników jakościowych charakterystycznych dla budynków niskoenergochłonnych, które zgodnie z definicją przedstawioną przez Laskowskiego są następujące [69]:

- skumulowana energia wydatkowana w całym cyklu istnienia budynku (od wyprodukowania materiałów, wzniesienia obiektu, przez wieloletnią jego eksploatację i ewentualną modernizację aż po likwidację) jest relatywnie niska;
- rozpraszanie energii do otoczenia jest zminimalizowane poprzez zastosowanie optymalnej grubości warstwy termoizolacyjnej, a zainstalowane urządzenia energetyczne (grzewcze, wentylacyjne, oświetleniowe) są wykorzystywane w sposób efektywny;
- nie jest przekraczana ustalona obligatoryjnie graniczna wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń i związana z nią emisji CO_2 do atmosfery.

Mając na uwadze powyższe oraz fakt, że współczynnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło (E) w analizowanym budynku wynosi 79,2 kVh/m^2 · rok i jest wyższy aniżeli w budynkach energooszczędnych (porównaj tab. 1.3. str. 21),

podjęto próbę poprawy parametrów jakościowych analizowanego budynku poprzez wprowadzenie warstwy ocieplającej z wykorzystaniem różnych wariantów materiałów izolacyjnych, jak również zastosowano wariantowość rozwiązań samego materiału konstrukcyjnego przegrody. W celu optymalizacji współczynnika przenikania ciepła w przyjętych rozwiązaniach wykorzystano model opisany w rozdziale 8.2.

8.2. Matematyczny model optymalizacji grubości warstwy izolacyjnej z uwzględnieniem kryterium ekonomicznego

Dla określenia optymalnej pod względem ekonomicznym, grubości warstwy izolacyjnej (i odpowiadającemu tej grubości współczynnika przenikania ciepła) przegrody budowlanej, wykorzystano kryterium polegające na maksymalizacji zdyskontowanej różnicy: kosztów inwestycyjnych związanych z wykonaniem termoizolacji i oczekiwanego zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych w kolejnych sezonach grzewczych w związku z obniżeniem zapotrzebowania na moc cieplną do ogrzania budynku [103; 91; 69].

W poniższych rozważaniach przyjmuje się za miarę oceny ekonomicznej inwestycji (ocieplenie przegrody warstwą izolacyjną) tzw. wartość bieżącą netto *NPV* (Net Present Value), wartość dodatnia tego wskaźnika świadczy o opłacalności inwestycji[27].

$$NPV \rightarrow \max$$

Przy porównywaniu kilku wariantów wykonania izolacji termicznej za najkorzystniejszy uznaje się wariant charakteryzujący się najwyższą wartością wskaźnika *NPV*.

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} \Delta K_t - K_o \quad [zl] \tag{8.3}$$

gdzie:

K_o – nakłady finansowe poniesione w roku bazowym na wykonanie izolacji termicznej przegrody budowlanej, uwzględniające koszty zakupu i transportu materiału oraz koszty robocizny [zł];

ΔK_t – uzyskane w roku t zmniejszenie kosztu ogrzewania, wynikające z zaizolowania przegrody [zł];

[27] Dla uproszczenia przyjęto, że koszt wykonania konstrukcji i robót wykończeniowych nie zależy od grubości izolacji.

n – założona liczba lat eksploatacji związana ekonomicznie uzasadnionym okresem użytkowania budynku;
r – stopa procentowa uwzględniająca spadek wartości pieniądza, a więc sprowadzająca oszczędności osiągane w kolejnych latach przyszłych do poziomu ich wartości w roku bazowym, czyli $t = 0$;
s – przewidywane przewyższenie stopy wzrostu kosztu ogrzewania pond stopę inflacji.

Wzór określający wartość *NPV* w przypadku budynków nowo wznoszonych przedstawia się następująco [103]:

$$NPV = -Kd + G_o\left(\frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_o + \frac{d}{\lambda}}\right)\sum_{t=0}^{n}\frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} \tag{8.4}$$

gdzie:

$$K_o = kd \qquad \text{oraz} \qquad \Delta K_t = G_o\left(\frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_o + \frac{d}{\lambda}}\right)$$

dla uproszczenia przyjęto:

$$g(d) = \frac{1}{R_o} - \frac{1}{\frac{R_o\lambda + d}{\lambda}} = \frac{1}{R_o} - \frac{\lambda}{R_o\lambda + d} \tag{8.5}$$

oraz

$$S_n = \sum_{t=0}^{n}\frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} \tag{8.6}$$

Pochodna z wyrażenia *g(d)*

$$g'(d) = -\left(+\frac{\lambda}{R_o\lambda + d}\right)'_d = -\left(\frac{-\lambda 1}{(R_o\lambda + d)^2}\right) = \frac{\lambda}{(R_o\lambda + d)^2} \tag{8.7}$$

Ostatecznie otrzymano:

$$\frac{\partial NPV}{\partial d} = -K + G_o g'(d) S_n = (-K) + G_o S_n\left(\frac{+\lambda}{(R_o\lambda + d)^2}\right) \tag{8.8}$$

Z warunku na ekstremum funkcji:

$$\frac{\partial NPV}{\partial d} = 0 \Leftrightarrow -K + \frac{\lambda G_o S_n}{(R_o \lambda + d)^2} = 0 \tag{8.9}$$

Stąd:

$$(R_o \lambda + d)^2 = \frac{\lambda G_o S_n}{K} \tag{8.10}$$

$$R_o \lambda + d = \sqrt{\frac{\lambda G_o S_n}{K}} \tag{8.11}$$

Ostatecznie:

$$d = \sqrt{\frac{\lambda G_o S_n}{K}} - R_o \lambda = \lambda \sqrt{\frac{1}{\lambda^2} \frac{\lambda G_o S}{K}} - R_o \lambda = \lambda \sqrt{\frac{G_o S_n}{\lambda K}} - R_o \lambda \tag{8.12}$$

Na podstawie powyższego wzoru można obliczyć:

1. optymalną grubość warstwy termoizolacyjnej

$$d_{opt} = \lambda \sqrt{\frac{G_o \sum_{t=0}^{n} \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t}}{\lambda K}} - \lambda \, R_o \quad [m] \tag{8.13}$$

2. odpowiadającej tej grubości wartość optymalnego współczynnika przenikania ciepła

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{\lambda \, K}{G_o \sum_{t=0}^{n} \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t}}} \quad [W/m^2K] \tag{8.14}$$

gdzie:

G_0 – roczny koszt ogrzewania, odniesiony do 1 m² pola powierzchni rozpatrywanej przegrody i charakteryzującego tę przegrodę współczynnika przenikania ciepła [zł K/W];

λ – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła przez materiał stanowiący izolację termiczną rozpatrywanej przegrody budowlanej [W/(mK)];

K – koszt 1 m^3 zużytego materiału termoizolacyjnego [zł/ m^3];
R_o – opór cieplny przenikania przez przegrodę bez warstwy termoizolacyjnej [m^{2}K/W];
r – jak we wzorze (8.3);
s – jak we wzorze (8.3);
n – jak we wzorze (8.3).

Ponieważ – Kd jest funkcją wklęsłą i $G_nS_ng(d)$ jest też funkcją wklęsłą to funkcja $NPV(d)= -Kd+ G_nS_ng(d)$ jest również funkcją wklęsłą (jako suma dwóch funkcji wklęsłych). Zatem rozwiązanie d_{opt} równania $\frac{\partial NPV}{\partial d} = 0$ jest punktem w którym NPV osiąga maksimum.

Obliczenia przeprowadzono przy założeniu przewyższenia stopy wzrostu cen energii s = 0,02 ponad wartość inflacji na podstawie analizy cen gazu z ostatnich pięciu lat [25], oraz stopie dyskonta r = 0,05 (co odpowiada stopie inflacji ok. 2% i marży banku ok. 3%).

Okres amortyzacji izolacji n zazwyczaj przyjmuje się od 25 do 30 lat, jednak ze względu na wcześniej poczynione założenia do wyliczenia LCA fazy użytkowania budynku, przyjęto n = 20 lat.

W celu obliczenia rocznego kosztu ogrzewania G_0 należy obliczyć liczbę stopniodni Sd ze wzoru:

$$Sd = \sum_{m=1}^{L_g} (t_{wo} - t_e) Ld \left[dzień \times K / rok \right] \tag{8.15}$$

gdzie:
t_{wo} – obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego, określona zgodnie z PN-82/B-02402 [˚C];
t_e (m) – średnia wieloletnia temperatura miesiąca m, określona zgodnie z PN-B-02025 [˚C];
$Ld(m)$ – liczba dni ogrzewania w miesiącu m, określona według PN-B-02025;
L_g – liczba miesięcy ogrzewania w sezonie grzewczym, określona według PN-B-02025.

Średnią wieloletnią temperaturę miesiąca określoną zgodnie z PN-B-02025 przyjęto według danych stacji meteorologicznej w Zielonej Górze i po podstawieniu wartości do wzoru (8.15) otrzymano wartość Sd = 3728 stopniodni. Dla obliczenia wartości G_0 przyjęto koszt uzyskania ciepła do celów ogrzewczych z indywidualnych źródeł ciepła na podstawie publikacji [116] równe 115 zł/MWh. Wartość G_0 = 115 MWh*10^{-6}*24*3728 = 10,29 zł K/W.

Uzyskane wyniki optymalizacji ekonomicznej w połączeniu z korzyściami środowiskowymi dla poszczególnych rozwiązań wariantowych zestawiono w tabeli 8.6.

8.3. Optymalizacja środowiskowa z uwzględnieniem wariantowości materiałów izolacyjnych i konstrukcyjnych zastosowanych w przegrodzie zewnętrznej

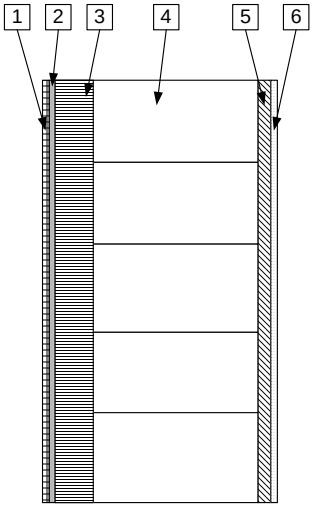
Wprowadzenie wariantowości rozwiązań przegrody budowlanej miało na względzie dokonanie wyboru takiego rozwiązania, które spełni nie tylko warunek ekonomiczny - najwyższej wartości bieżącej netto *NPV,* ale także warunek środowiskowy - jak najmniejszego oddziaływanie na środowisko na etapie wytworzenia materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych (porównaj wyniki LCA ekofibru, styropianu i wełny mineralnej oraz LCA bloczków gazobetonowych, bloczków wapienno-piaskowych i pustaków ceramicznych - tabele w załączniku 2 i 3).

Należy podkreślić, że negatywne oddziaływanie na środowisko właśnie na etapie wytworzenia materiałów jest szczególnie istotne w aspekcie obciążenia ekosystemów z powodu jego kumulacji w relatywnie krótkim przedziale czasowym.

Na rys. 8.1. przedstawiono dwa przykładowe rozwiązania przegrody zewnętrznej. W wariancie I zastosowano taki sam materiał konstrukcyjny przegrody jak w projekcie analizowanego budynku, wprowadzając dodatkowo warstwę izolacyjną z styropianu w celu poprawy współczynnika przenikania ciepła.

W wariancie II zmieniono materiał konstrukcyjny – bloczki z gazobetonu zastąpiono bloczkami wapienno-piaskowymi. Uzasadnieniem dla powyższej zmiany jest fakt, że materiał ten posiada niższe LCA na etapie wytworzenia. Warstwa izolacyjna wykonana została z ekofibru. Jest to materiał pochodzący w stu procentach z recyklingu o relatywnie najmniejszym oddziaływaniu na środowisko na etapie wytworzenia z pośród powszechnie stosowanych materiałów izolacyjnych, a więc także uwzględniono kryterium niskiego LCA na etapie wytworzenia [43].

WARIANT I



Legenda:

1-Wyprawa elewacyjna cienkowarstwowa z tynku mineralnego gr. 3,5 mm;
2-Siatka zbrojąca zatopiona w masie klejowej;
3-Styropian FS 15;
4-Bloczki betonu komórkowego 60x20x36,5 cm;
5-Warstwa tynku wewnętrznego zwykłego kat. III;
6-Farba emulsyjna wewnętrzna.

WARIANT II

Legenda:

1-ekofiber;

2-bloczki wapienno-piaskowe o wym. 33x20x24 cm;

3-płyta gipsowo-kartonowa zwykła o gr. 12,5 mm na ruszcie drewnianym;

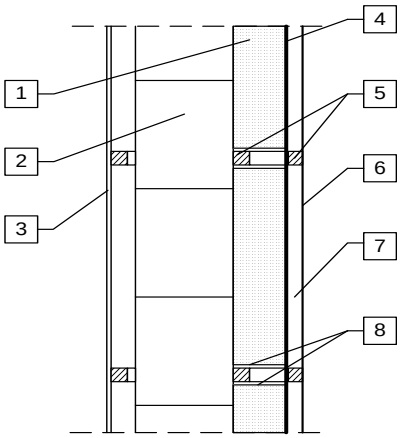
4-płyta pilśniowa perforowana;

5-łaty drewniane o wym. 25x50 mm;

6-siding;

7-przestrzeń wentylacyjna;

8-kawałki płyty „OSB" o gr. 12 mm, o wym. 20x10 cm rozmieszczone co 60 cm wzdłuż wysokości ściany



Rys. 8.1. Przekroje zewnętrznej przegrody budowlanej z wariantowym zastosowaniem materiału izolacyjnego i konstrukcyjnego. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Następnie za pomocą wzoru (8,13 i 8,14) wyliczono optymalną grubość warstwy izolacyjnej i współczynnik przenikania ciepła w obu przegrodach.

Zmienne konieczne do wyliczenia optymalnej grubości dla obu przegród zostały zestawione w tablicy 8.1 wraz z końcowymi wynikami optymalizacji.

Zmienne wykorzystane do obliczenia optymalnej grubości warstwy izolacji[28]	Przegroda I (styropian)	Przegroda II (ekofiber)
λ – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła przez materiał stanowiący izolację termiczną rozpatrywanej przegrody budowlanej [W/(mK)]	0,040	0,041
K – koszt 1 m^3 zużytego materiału termoizolacyjnego [zł/ m^3]	183 (z VAT)	164 (z VAT)
R^* - opór cieplny przenikania przez przegrodę bez warstwy termoizolacyjnej [m^{2}K/W]	2,777	0,262
d_{opt} – optymalna grubość warstwy termoizolacyjnej [m]	0,07	0,19
U_{opt} – odpowiadająca tej grubości optymalna wartość współ. przenikania ciepła [W/m^{2}K]	0,22	0,21

Tablica. 8.1. Zestawienie wartości zmiennych wykorzystanych do obliczeń i wyniki obliczeń optymalizacji grubości warstwy termoizolacyjnej. Źródło: Opracowanie własne

[28] Obliczenia optymalnej grubości warstwy izolacji wykonano z wykorzystaniem programu komputerowego Scilab 3.1.1 [110]

Po zoptymalizowaniu w obydwu wariantach grubości warstwy izolacji obliczono LCA dla tych przegród. Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto wykonanie m^2 przegrody. Wyniki końcowe zestawiono w tab. 8.4. W tab. 8.2 zestawiono materiały niezbędne do wykonania przegrody wg wariant I, zestawienie materiałów dla wariantu II umieszczono w tab. 8.3. W analizie uwzględniono także energię zużywaną przez maszyny budowlane, tj. przez agregat tynkarski AT-32MK o wydajności 1.5÷3 m^3/h, wyciąg budowlany (2,38 kWh), a w wariancie II także przez agregat wdmuchujący masę celulozową na ścianę zewnętrzną (0,09 kWh). W obu wariantach uwzględniono energię związaną z transportem wyrobów budowlanych na plac budowy (1,4 tkm).

Materiały użyte do budowy przegrody I	**Ilość wyrobu [kg/m²]**
Bloczki gazobetonowe 60x20x36,5	182
Warstwa tynku wewnętrznego o gr. 2 cm	44,5
Wyprawa elewacyjna z tynku mineralnego o gr. 3,5 mm	4,4
Zaprawa murarska do gazobetonu	6,23
Farba emulsyjna	0,26
Styropian FS 15, gr. 7 cm	1,05
Siatka zbrojąca z włókna szklanego	0,16
Kołki mocujące	0,31

Tablica 8.2. Zestawienie materiałów wykorzystanych w robotach murowych przegrody zewnętrznej I. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [66]

Materiały użyte do budowy przegrody II[29]	**Ilość wyrobu [kg/m²]**
Bloczek wapienno-piaskowy 33x20x24	330
Siding	1,9
Płyta pilśniowa perforowana	7,1
Łaty drewniane o wym.25x50 mm	2,21
Ekofiber	12,35
Płyta gipsowo-kartonowa zwykła 12,5 mm	18,54
Farba emulsyjna	0,26
Zaprawa murarska	11,23
Wkręty	0,05
Gips budowlany szpachlowy	1,96

[29] Ze względu na brak danych producenta nie uwzględniono w obliczeniach płyty „OSB"

Tablica 8.3. Zestawienie wyrobów wykorzystanych w procesie robót murowych – przegroda II. Źródło: Opracowanie własne

Kategoria wpływu	**Jednostka**	***Przegroda I [m²]***	***Przegroda II [m²]***
Związki rakotwórcze	Pt	0,392	0,246
Związki organiczne	Pt	0,00357	0,00173
Związki nieorganiczne	Pt	1,48	0,673
Zmiany klimatu	Pt	0,594	0,235
Radiacja	Pt	4,29E-4	2,43E-4
Dziura ozonowa	Pt	8,17E-4	5,15E-4
Ekotoksyczność	Pt	0,244	0,149
Zakwaszenie / eutrofizacja	Pt	0,295	0,128
Eksploatacja ziemi	Pt	0,601	1,48
Minerały	Pt	0,0255	0,00705
Paliwa kopalne	Pt	3,28	2,07
SUMA	Pt	**6,91**	**5,00**

Tablica 8.4. Wynik LCA fazy budowy przegrody I i II z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

LCA przegród po przeprowadzeniu optymalizacji współczynnika przenikania ciepła kształtuje się następująco: przegroda I (zoptymalizowana grubość warstwy styropianu wynosi 7 cm) – sumaryczna wartość oddziaływania na środowisko **6,91** Pt, przegroda II (zoptymalizowana grubość warstwy ekofibru wynosi 19 cm) – sumaryczna wartość oddziaływania na środowisko jest niższa i wynosi **5,00** Pt.

Przyjmując wariant wykonania ścian zewnętrznych z warstwą izolacyjną z ekofibru i bloczków wapienno-piaskowych całkowita korzyść środowiskowa na etapie fazy budowy wynosi **230,25 Pt**.

Powyższy wynik jest czytelnym sygnałem dla świadomych ekologicznie projektantów.

Dla oceny korzyści środowiskowych podczas fazy użytkowania, a zwłaszcza oceny zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, przeprowadzono ponownie obliczenia bilansu energetycznego budynku i uzyskane wartości zestawiono w tab. 8.5.

Wskaźniki energetyczno-ekologiczne	Rozwiązanie projektowe U=0,36 W/m²K	*Wariant I* U=0,22 W/m²K	Wariant II U=0,21 W/m²K
Obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną [W]	7066	6214	5799
Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania	39,12 [GJ/rok]	33,52 [GJ/rok]	30,91 [GJ/rok]
	79,26 kWh/ m²rok	67,91 kWh/ m²rok	62,63 kWh/ m²rok
Emisja CO_2 [kg/rok]	2189,6	1877,12	1730,96
LCA termicznej fazy użytkowania dla całego budynku [Pt/rok]	155,0	133,0	122,0

Tablica 8.5. Wskaźniki energetyczno-ekologiczne budynku z uwzględnieniem wariantowości rozwiązań przegrody zewnętrznej. Źródło: Opracowanie własne

Analiza danych zestawionych w tabeli pozwala jednoznacznie stwierdzić, że najkorzystniej w aspekcie relacji środowiskowych przedstawia się wariant II. W stosunku do rozwiązania projektowego uzyskano obniżenie wartość obliczeniowego zapotrzebowania na moc cieplną Q_o z 7066 W na 5799 W, a wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania Q_h obniżyła się z 39,12 GJ/rok na 30,91 GJ/rok czyli o **8,21 GJ** co odpowiada zmniejszeniu emisji dwutlenku węgla o **459,8 kg** w ciągu jednego roku [111], a w ciągu analizowanych 20 lat eksploatacji budynku osiągnie wartość ok. **9196 kg**. Natomiast ogólna korzyść środowiskowa we wszystkich kategoriach oddziaływania rozumiana jako zmniejszenie wyniku LCA fazy użytkowania, wynosi **33 Pt** w skali roku (**660,0 Pt** w ciągu 20 lat). Należy również zaznaczyć fakt, iż rozwiązanie według wariantu II, pozwoliło na zakwalifikowanie domu (ze względu na wartość wskaźnika zapotrzebowania na ciepło E = 62,63 kWh/ m²rok) do niskoenrgochłonnego zgodnie z granicznymi wartościami wskaźnika dla Polski (patrz tablica 1.3 str. 21).

Tak więc, poprzez zastosowanie ekonomicznej i ekologicznej optymalizacji uzyskano w wariancie II następujące korzyści środowiskowe w relacji do rozwiązania projektowego:

- na etapie fazy wytworzenia materiałów i fazy budowy (z uwzględnieniem powierzchni 153,5 m² ścian zewnętrznych) 230,25 Pt;
- na etapie fazy użytkowania (20 lat) 660 Pt.

Na podkreślenie zasługuje też fakt, iż ocieplenie jednowarstwowej przegrody zewnętrznej styropianem, z zoptymalizowaną grubością warstwy (wariant I) także

wpłynęło na poprawę charakterystyki energetycznej budynku w stosunku do rozwiązania projektowego.

W tablicy 8.6 zestawiono kolejne możliwości wariantowych rozwiązań przegrody zewnętrznej dwuwarstwowej z uwzględnieniem powszechnie stosowanych materiałów konstrukcyjnych, tj. bloczków z betonu komórkowego, bloczków wapienno-piaskowych i pustaków ceramicznych w połączeniu z warstwą termoizolacyjną z wełny mineralnej, styropianu i ekofibru.

Grubość warstwy termoizolacyjnej została zoptymalizowana we wszystkich przegrodach (*P1A* do *P3C*) i w efekcie tej optymalizacji współczynnik przenikania ciepła jest stały i wynosi 0,22 W/m^{2}K. Stała wartość współczynnika przenikania ciepła generuje stałą wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania (przy założeniu, że współczynniki przenikania ciepła innych elementów budynku, np. dachu, podłogi na gruncie, itp. będą stałe). Tak więc, w wyniku optymalizacji grubości warstw termoizolacyjnych we wszystkich analizowanych przegrodach w odniesieniu do rozwiązania zaproponowanego w projekcie (P0) uzyskano taką samą korzyść środowiskową w fazie użytkowania wynoszącą 22 Pt/rok, a w ciągu analizowanych 20 lat (do pierwszego kapitalnego remontu) - 440 Pt. W odniesieniu do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery, korzyść środowiskowa dla tego przedziału czasowego kształtuje się na poziomie 6249,6 kg.

Porównując LCA na etapie wytworzenia materiałów i budowy przegród zewnętrznych oznaczonych *P1A, P1B* i *P1C* w stosunku do rozwiązania projektowego *P0* (kolumna 7 - tab.8.6.), zauważa się, że całościowe oddziaływanie na środowisko tych przegród jest wyższe od przegrody *P0*. Powstaje zatem pytanie czy „niekorzyść" środowiskowa (wyższe LCA przegród zoptymalizowanych „energetycznie" w stosunku do LCA rozwiązania projektowego) zostanie zrekompensowane korzyścią środowiskową na etapie użytkowania?

Wybierając wśród tych trzech rozwiązań z jednakowym materiałem konstrukcyjnym wariant najbardziej niekorzystny środowiskowo, z warstwą termoizolacyjną z wełny mineralnej, z różnicy między LCA przegrody *P1A* a *P0* wynika „niekorzyść" środowiskowa o wartość -0,61 Pt, po przemnożeniu tej wartości przez całkowitą powierzchnię ścian zewnętrznych (153,5 m^2) otrzymano -93,63 Pt. Mając na uwadze wartość korzyści środowiskowych na etapie użytkowania (440 Pt) oraz „niekorzyści" związanych ze wzrostem oddziaływania na środowisko na etapie budowy przegrody *P1A*, można stwierdzić, iż korzyści środowiskowe na etapie użytkowania zrekompensowały „niekorzyści" na etapie budowy (440 Pt –93,63 Pt=346,37 Pt).

Ozn.	Opis warstwy [wartość LCA na etapie prod. mat.– Pt/m²]	Grubość [cm]			U_o [W/m²K]	LCA na etapie wytworzenia materiałów i budowy przegrody zewnętrznej [Pt/m²]	NPV – wartość bieżąca netto [zł/m²]
		warstwa murowa	warstwa izolacyjna o opt. grubości	ściana			Czas zwrotu inwestycji termoizolacyjnej [lata]
1	2	3	4	5	6	7	8
P0	-tynk cementowo wapienny -bloczki bet. kom. „500”, λ=0,14 W/mK, **[5,95]** -tynk mineralny	36,5	-	39,5	0,36	**6,50**	- -
P1A	-tynk cementowo wapienny -bloczki bet. kom. „500”, λ=0,14 W/mK, **[5,95]** -wełna mineralna; λ=0,037 W/mK; **[0,497]** -tynk mineralny	36,5	6	44,5	0,22	**7,11**	6,99 4,05
P1B	-tynk cementowo wapienny -bloczki bet. kom. „500”, λ=0,14 W/mK, **[5,95]** -styropian (FS 15); λ=0,040 W/mK; **[0,295]** -tynk mineralny	36,5	7	46,5		**6,91**	8,71 3,89
P1C	-płyty gipsowo kart. -bloczki bet. kom. „500”, λ=0,14 W/mK, **[5,95]** -ekofiber; λ=0,041 W/mK; **[-0,069]** -siding	36,5	7	48,0		**6,84**	9,79 3,79
P2A	-tynk cementowo wapienny -bloczki wap.-piaskowe; λ=0,80 W/mK; **[4,22]** -wełna mineralna; λ=0,037 W/mK; **[1,240]** -tynk mineralny	24	15	42,0		**6,13**	517,98 0,94
P2B	-tynk cementowo wapienny -bloczki wap.-piaskowe; λ=0,80 W/mK; **[4,22]** -styropian; λ=0,040 W/mK; **[0,673]** -tynk mineralny	24	16	44,0		**5,56**	522,28 0,88
P2C	-płyty gipsowo kart. -bloczki wap.-piaskowe; λ=0,80 W/mK; **[4,22]** -ekofiber; λ=0,041 W/mK; **[-0,18]** -siding	24	17	46,5		**5,00**	524,79 0,85
P3A	-tynk cementowo wapienny -pustak ceramiczny MAX, λ=0,21 W/mK, **[8,49]** -wełna mineralna; λ=0,037 W/mK; **[0,912]** -tynk mineralny	29	11	43		**10,10**	51,35 2,68
P3B	-tynk cementowo wapienny -pustak ceramiczny MAX, λ=0,21 W/mK, **[8,49]** -styropian (FS 15); λ=0,040 W/mK; **[0,505]** -tynk mineralny	29	12	44		**9,66**	54,51 2,57
P3C	-płyty gipsowo kart. -pustak ceramiczny MAX, λ=0,21 W/mK, **[8,49]** -ekofiber; λ=0,041 W/mK; **[-0,108]** -siding	29	12	44,5		**9,33**	56,38 2,51

Tablica 8.6. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych ścian zewnętrznych w powiązaniu z korzyścią środowiskową, wartością bieżącą netto oraz czasem zwrotu inwestycji. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [111]

Przegrody *P2A, P2B, P2C* charakteryzują się na etapie wytworzenia materiałów i budowy niższymi wartości LCA aniżeli LCA przegrody projektowej *P0.* W tym wypadku nasuwa się wniosek, że dobierając przegrodę z materiałów konstrukcyjnych (bloczki wapienno-piaskowe), których LCA na etapie wytworzenia jest niskie, można uzyskać zwiększoną korzyść środowiskową. I tak, wybierając nawet wariant najmniej korzystny środowiskowo *P2A* i odnosząc go do wariantu zaproponowanego w projekcie *P0* otrzymujemy na m^2 przegrody różnicę LCA wynoszącą 0,37 Pt, a z uwzględnieniem całej powierzchni ścian - 56,79 Pt. Po dodaniu korzyści środowiskowej na etapie fazy użytkowej, ogólna korzyść dla powyższego rozwiązania przegrody wyniesie 496,79 Pt (56,79 +440).

Z kolei materiał konstrukcyjny (pustaki ceramiczne) przegród *P3A, P3B* i *P3C* charakteryzuje się zdecydowanie najwyższym LCA na etapie wytworzenia i budowy, wśród analizowanych rozwiązań. Porównując LCA przegrody *P3A* z rozwiązaniem projektowym *P0* na etapie fazy budowy różnica wynosi dla całkowitej powierzchni ścian zewnętrznych –552,6 Pt. W tym przypadku korzyść środowiskowa fazy użytkowania budynku (440 Pt) nie zrekompensuje „niekorzyści" na etapie budowy (-552,6 Pt) i w ostatecznym rozrachunku mimo dodatniej wartości NPV świadczącej o opłacalności ekonomicznej inwestycji termomodernizacyjnej, nie uda się zrównoważyć negatywnego oddziaływania na środowisko między fazą wytworzenia materiałów i budowy, a fazą użytkowania w czasie pierwszych 20 lat eksploatacji budynku.

Analizując wszystkie zestawione w kolumnie 7 wartości LCA przegród zewnętrznych na etapie wytworzenia materiałów i budowy najkorzystniej przedstawia się rozwiązanie *P2C* (bloczki wapienno-piaskowe i warstwa ocieplająca z ekofibru). Całkowita korzyść środowiskowa w tym przypadku, w relacji do rozwiązania projektowego jest najwyższa i wynosi 670,25 Pt (faza budowy 230,25 +faza użytkowania 440 Pt).

Dla tej przegrody uzyskano także najwyższą wartość NPV i najkrótszy okres zwrotu inwestycji termoizolacyjnej (porównaj kolumna 8 tab. 8.6).

Analizując trzy rozwiązania konstrukcyjne przegród zewnętrznych *(P1-bloczki gazo-betonowe, P2-bloczki wapienno-piaskowe, P3- pustaki ceramiczne)* po zoptymalizowaniu grubości warstwy ocieplającej (*A-wełna mineralna, B-styropian, C-ekofiber*) można stwierdzić, że decydujący wpływ na ostateczny wynik rozrachunku środowiskowo-ekonomicznego, w pierwszych 20 latach eksploatacji budynku ma LCA fazy wytworzenia materiałów konstrukcyjno-izolacyjnych i faza budowy. Projektant realizujący założenia zrównoważonego budownictwa, powinien być zatem „wyposażony" w opracowania LCA (deklaracje środowiskowe) wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych i dokonując świadomych środowiskowo wyborów, wpływać na zmniejszenie oddziaływania na środowisko.

R O Z D Z I A Ł 9

LCA BUDYNU Z UWZGLĘDNIENIEM WSZYSTKICH FAZ ISTNIENIA

9.1. Wprowadzenie do kompleksowej oceny bilansu ekologicznego (LCA) budynku

Kompleksowa ocena bilansu ekologicznego budynku wymaga uwzględnienia wszystkich faz jego istnienia, integralnie się uzupełniających, następujących po sobie w określonym porządku sekwencyjnym, składających się na pełen cykl życia budowli wynoszący w warunkach europejskich nawet około 100 lat (rys. 9.1).

Fazy te, począwszy od wytworzenia materiałów i wyrobów budowlanych, po fazę budowy, fazę użytkowania i fazę likwidacji budynku charakteryzują się różnymi interwałami czasowymi - od godzin (faza produkcji materiałów budowlanych i rozbiórki), po lata – faza użytkowania.

Podczas fazy wytworzenia materiałów budowlanych największym oddziaływaniem na środowisko charakteryzują się procesy związane z pozyskaniem nośników energii i jej wykorzystaniem w procesach produkcji materiałów budowlanych. Etap ten, określany jako łańcuch początkowy procesów produkcyjnych, przebiega z czasowym ich wyprzedzeniem, a jego wpływ na środowisko wiąże się z kumulacją zanieczyszczeń w ekosystemach w krótkim przedziale czasowym – wzrost Δ LCA/Δ t (rys. 9.1) jest zdecydowanie bardziej pionowy niż w jednostkowych procesach technologicznych związanych bezpośrednio z wytworzeniem materiałów.

Faza budowy zachodzi także w krótkim przedziale czasowym (w relacji do fazy użytkowej), a jej wpływ na środowisko wiąże się z robotami ziemnymi, zużyciem energii przez maszyny i urządzenia budowlane oraz z wykonaniem poszczególnych elementów (modułów) budynku, np. przegród budowlanych (ścian zewnętrznych i wewnętrznych) stropu, dachu, które składają się na jego integralną całość. Każdy z tych elementów może być wykonany z różnych materiałów o zdefiniowanych właściwościach, które z kolei wpływają na wymagane właściwości danego elementu. Na przykład, ściana zewnętrzna musi spełniać określone parametry statyczne, ale

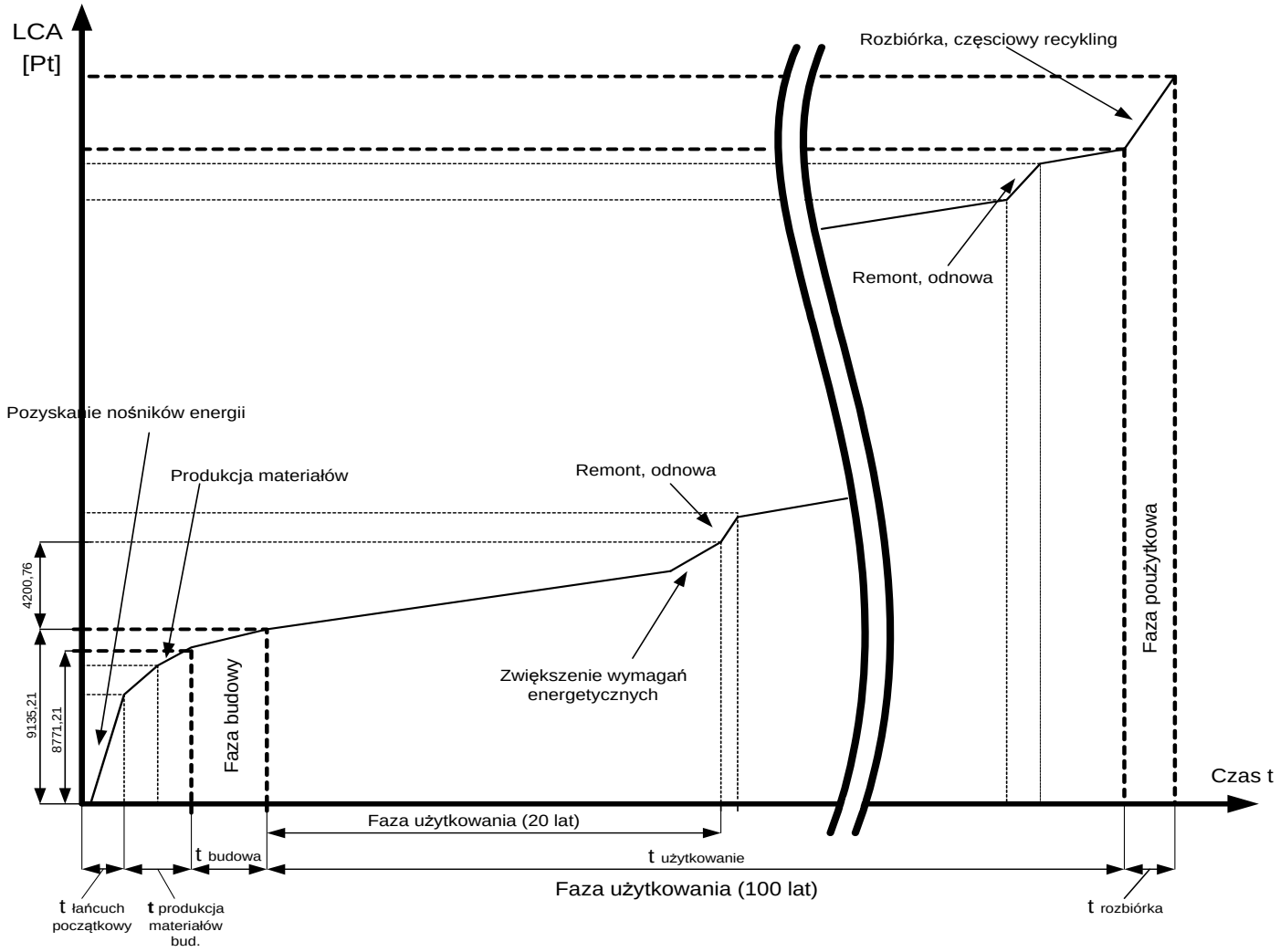
także powinna charakteryzować się określonym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Jej końcowe właściwości będą zależały zatem od permutacji materiałów z których jest wykonana, a bilans ekologiczny tego modułu jest zależny od LCA zastosowanych materiałów (porównaj rozdz. 8 pkt. 8.3.).

Faza użytkowania charakteryzuje się najdłuższym przedziałem czasowym. Krzywa Δ LCA/Δ t (rys. 9.1.) ma znacznie łagodniejsze nachylenie niż krzywa łańcucha wstępnego, a obciążenie środowiska jest rozłożone w długim przedziale czasowym. Należy podkreślić, że wzrost krzywej LCA w miarę upływu czasu użytkowania budynku jest związany z pogarszaniem się współczynnika przenikania ciepła na skutek pojawiających się nieszczelności stolarki, czy też na skutek zmiany parametrów jakościowych innych modułów budynku (np. dachu). Na tym etapie fazy użytkowej, określonym przez przedział czasowy ekonomicznie uzasadnionego okresu użytkowania rozumianego jako okres eksploatacji obiektu budowlanego, podczas którego jego właściwości użytkowe są utrzymywane na poziomie umożliwiającym spełnienie wymagań podstawowych, należy przeprowadzić kapitalny remont i przebieg krzywej LCA fazy użytkowania ulegnie znowu stabilizacji. Zwykle jest to przedział czasowy około 20 – 25 lat prawidłowej eksploatacji. Należy jednak mieć na uwadze, że wykonanie remontu pociąga za sobą konieczność poniesienia nakładów kapitałowych oraz wymaga zastosowania określonych materiałów, których wytworzenie wiąże się z obciążeniem środowiska i wpłynie na podwyższenie końcowego LCA budowli. Ponieważ na obecnym etapie oceny trudno przewidzieć jakie materiały i wyroby będzie można wykorzystać do remontu za 20 lat i w jakim stopniu wpłyną one na poprawą właściwości budynku, pozostały okres fazy użytkowania pozostawiono poza granicami ocenianego systemu. Dalszy przebieg LCA fazy użytkowania przedstawiony na rys. 9.1. ma zatem charakter hipotetyczny. Można jednak z dużym prawdopodobieństwem założyć, że wykorzystanie w tym czasie najlepszych dostępnych technik budowlanych i lepszych jakościowo, ze względu na postęp technologiczny materiałów będzie oddziaływało w efekcie końcowym na poprawę bilansu ekologicznego budynku w kolejnych latach fazy użytkowania.

Faza likwidacji przebiega w krótkim przedziale czasowym, w dużym stopniu zależnym od zastosowanej technologii rozbiórki budynku. Tak więc, kumulacja negatywnego oddziaływania na środowisko także będzie miała miejsce w krótkim przedziale czasu – rośnie kąt nachylenia krzywej wzrostu Δ LCA/Δ t tej fazy (rys. 9.1.).

Ocenę bilansu ekologicznego tej fazy pozostawiono również poza granicami systemu. Postąpiono tak dlatego, aby uniknąć celowego wprowadzania przypadkowości w podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru technologii utylizacji i recyklingu materiałów pochodzących z rozbiórki, zważywszy na fakt nawet 100 letniego okresu użytkowania budynku. Prawdopodobnie usprawniony w tym czasie system recyklingu materiałów budowlanych i lepsze techniki i technologie ich

przetworzenia będą stanowiły ewidentną korzyść środowiskową i wpłyną na zmniejszenie całościowego bilansu ekologicznego analizowanego budynku.



Rys. 9.1. Bilans ekologiczny budynku z uwzględnieniem pełnego cyklu jego istnienia. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [31]

9.2. Kompleksowe LCA fazy produkcji, fazy budowy i fazy użytkowania

Produkcja materiałów i wyrobów budowlanych wiąże się z pozyskaniem surowców, transportem tych surowców do zakładów oraz z nakładami energetycznymi i emisjami zanieczyszczeń w procesach technologicznych ich wytwarzania. Emisje zanieczyszczeń powstają nie tylko bezpośrednio w procesach technologicznych, ale także związane są z procesami przygotowania energii i transportem surowców, półproduktów i gotowych wyrobów (porównaj rozdz. 5 oraz załącznik 1).

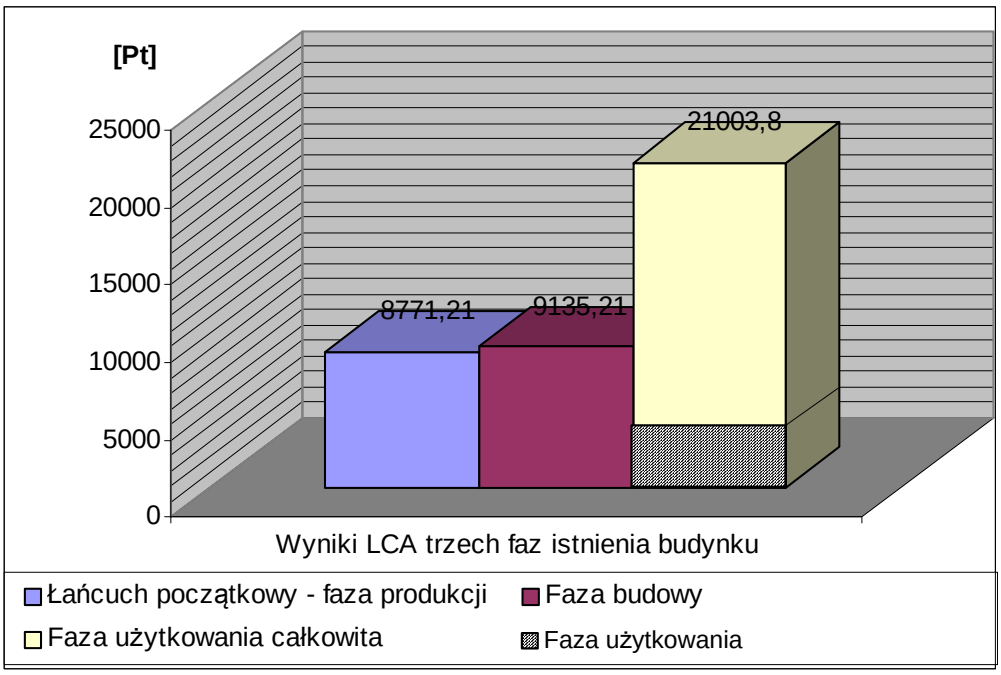
W analizowanym domku jednorodzinnym faza wytworzenia wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych wykorzystanych do jego budowy charakteryzuje się obciążeniem środowiska w wysokości **8771,21 Pt**.

Obciążenie środowiska generowane w fazie budowy wiąże się z przygotowaniem terenu pod budowę (roboty ziemne) oraz z wykonaniem poszczególnych elementów budowy – fundamentów, ścian, stropów i dachu, jak również z montażem elementów wcześniej przygotowanych, poza placem budowy, jak np. okien, kotła gazowego, rynien itp. Oddziaływanie na środowisko tej fazy istnienia budynku zawiązane jest ze zużyciem energii niezbędnej do pracy maszyn i urządzeń budowlanych, takich jak: betoniarka, wyciąg, żuraw, giętarka, agregat tynkarski, itd., oraz transportem materiałów i wyrobów budowlanych od producenta na plac budowy. Odległości transportowe przyjęto na podstawie analizy lokalizacji zakładów wytwarzających określone materiały oraz na podstawie lokalizacji hurtowni - w stosunku do lokalizacji działki budowlanej.

Na końcowy wynik LCA tej fazy wynoszący **9135,21 Pt** składają się wyniki LCA pracy sprzętu i transport - **364,0 Pt** oraz wyniki LCA wszystkich ocenianych modułów budynku – **5951,44 Pt** powiększone o LCA tych materiałów i wyrobów, które zostały ocenione w załączniku 2 i 3, a nie zaistniały w strumieniach odniesienia przy ocenie poszczególnych modułów budowy, np. skrzydła drzwi wewnętrznych, zlewozmywak, umywalki, grzejniki, instalacje sanitarne, ościeżnice, itd.

LCA fazy użytkowania budynku zdeterminowane jest przede wszystkim przez charakterystyką energetyczną budynku oraz w pewnym stopniu przez indywidualne zachowania użytkowników (dbałość o elementy budynku - w szczególności te, które wymagają konserwacji np.: okna, drzwi, posadzki, itd.). Należy podkreślić, że LCA tej fazy jest w dużym stopniu zdefiniowane już na etapie projektowania budynku, np. poprzez optymalizację współczynnika przenikania ciepła, ponieważ oddziaływanie na środowisko jest zdominowana przez procesy termiczne związane z przygotowaniem energii na potrzeby ogrzewania i ciepłej

wody użytkowej. Wartość oddziaływania na środowisko tej fazy – obliczona z uwzględnieniem pierwszych 20 lat eksploatacji wynosi **4200,76 Pt**.



Rys. 9.2. Wynik LCA trzech faz istnienia budynku. Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 9.2 zestawiono wartości LCA dla trzech analizowanych faz istnienia budynku. Jeżeli założymy 100 letni okres eksploatacji budynku to najwyższą wartością LCA charakteryzuje się faza użytkowania. Należy jednak jeszcze raz podkreślić, iż jest to wynik nie uwzględniający kolejnych kapitalnych remontów i ewentualnej poprawy parametrów fazy użytkowej.

Tak więc, kompleksowe LCA budynku jednorodzinnego wynosi 13335,97 Pt. Natężenie interwencji środowiskowych w całym cyklu istnienia budynku jest zróżnicowane w poszczególnych fazach. Największa kumulacja negatywnego oddziaływania na środowisko w krótkim przedziale czasowym występuje w fazie wytwarzania materiałów i wyrobów budowlanych. Natomiast w fazie użytkowania negatywny wpływ na środowisko ma charakter długotrwały i przyczynia się przede wszystkim do wzrostu poziomu gazów cieplarnianych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Ustawa *Prawo budowlane* zobowiązuje wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego do projektowania, wznoszenia i użytkowania obiektów budowlanych w sposób zapewniający spełnienie tzw. wymagań podstawowych dotyczących między innymi:

- utrzymania mikroklimatu pomieszczeń na poziomie komfortu cieplnego, wizualnego i akustycznego oraz akceptowalnej jakości powietrza,
- racjonalnej ochrony cieplnej i szczelności ich obudowy,
- poszanowania energii, a zwłaszcza oszczędności ciepła przy eksploatacji obiektu zgodnej z jego przeznaczeniem i bez szkody dla środowiska naturalnego.

Wymagania dotyczące poszanowania energii i środowiska przez sektor budownictwa jeszcze bardziej wzmocniła i rozwinęła na forum państw unijnych Komisja Europejska uchwalając dyrektywę dotyczącą jakości energetycznej budynków *(Directive on Energy Performance of Buildings) EPBD – 2002/91/EC,* która uwzględnia między innymi następujące elementy:

- opracowanie wspólnej metodologii oceny energetycznej budynków,
- ustalenie schematów certyfikacji nowych i istniejących budynków oraz sposobów upubliczniania ich ocen energetycznych,
- ustalenia wymagań w zakresie przeglądów i ocen urządzeń wytwórczych ciepła oraz instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych.

Oceny energetyczne budynków zmierzają docelowo do opracowania deklaracji środowiskowych budynków i powinny obejmować szeroki zakres informacji, uwzględniających takie elementy, jak opis budynku, zużycie zasobów naturalnych, zużycie nośników energii, emisje zanieczyszczeń i odpadów, potencjalne oddziaływanie na środowisko, charakterystyka energetyczna budynku z uwzględnieniem wskaźników komfortu wewnętrznego pomieszczeń.

Imperatywny charakter powyższych regulacji prawnych, zobowiązujący do racjonalizacji gospodarki energetycznej i respektowania idei zrównoważonego

rozwoju wymusza określoną filozofię projektowania obiektów budowlanych i stał się inspiracją do poszukiwania nowych narzędzi oceniających w sposób kompleksowy wpływ budynków na środowisko w pełnym cyklu ich istnienia „od kołyski po grób". Ta kompleksowa ocena wymaga koncentracji uwagi na wytworzeniu materiałów i wyrobów budowlanych oraz na samym budynku - od twórczej koncepcji architektonicznej aż po szczegółowe rozwiązania projektów technicznych, fazę wykonawstwa, użytkowania do fazy likwidacji i ewentualnego odzysku materiałów w nim zastosowanych.

W niniejszej pracy takiej właśnie kompleksowej ocenie poddano budynek jednorodzinny wykorzystując do tego celu metodologię LCA (*Life Cycle Assessment*) sformułowaną w międzynarodowych standardach serii ISO 14040-14043.

Adaptacja metody LCA (*Life Cycla Assessment*), która przez wielu badaczy traktowana jest jako tożsama z bilansem ekologicznym, do oceny budynku pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Metoda ta pozwala ocenić poziom interwencji środowiskowych w pełnym cyklu istnienia obiektu budowlanego, z uwzględnieniem:
   - fazy wytworzenia materiałów i wyrobów budowlanych,
   - fazy budowy,
   - fazy użytkowania,
   - fazy rozbiórki w połączeniu z recyklingiem i odzyskiem materiałów.
2. Wynik oceny przedstawiony w postaci kwantyfikowalnych wskaźników umożliwia:
   - identyfikację kategorii oddziaływania na środowisko,
   - hierarchizację poszczególnych faz istnienia budynku pod względem wielkości oddziaływania,
   - wskazanie obszarów w zakresie prośrodowiskowego doskonalenia poszczególnych faz istnienia budynku.
3. LCA w połączeniu z optymalizacją ekonomiczną przegrody budowlanej pozwala nie tylko na poprawę charakterystyki energetycznej budynku i tym samym zmniejszenie presji środowiskowej w fazie użytkowania, ale także pozwala na obniżenie interwencji środowiskowych na etapie fazy wytworzenia materiałów i wyrobów budowlanych i fazy budowy, generując tzw. łączną korzyść środowiskową
4. Powszechność aplikacji LCA (z wykorzystaniem technik i programów komputerowych), stwarza szansę na rozwój i upowszechnienie w budownictwie deklaracji środowiskowych budynków.

Niniejsza praca stanowi podstawę do dalszych badań zmierzających do rozwoju metod projektowania ekologicznego budynków niskoenergochłonnych, o udoskonalonych parametrach jakościowych i niskim wskaźniku oddziaływania na środowisko, a więc ukierunkowanego na pojęcie „domu zrównoważonego ze środowiskiem", pod każdym względem przyjaznego użytkownikowi i otoczeniu.

L I T E R A T U R A

1. *A European Union Strategy for Sustainable Development*, EU Commission, Luxembourg 2002.
2. Adalberth K.: *Energy use during the Life-Cycle of Single Unit Dwellings: Examples*. „Building and Environment" vol. 32, No 4 1997
3. Adamczyk W. (a): *Czynniki ekologiczne w projektowaniu cyklu życia produktu,* [w]: „Ekologia wyrobów" materiały konferencyjne (red.) W. Adamczyk, Kraków 2000.
4. Adamczyk W.: *Ekobilans w ocenie środowiskowej procesów i produktów*, Problemy Ekologii, vol.4, nr 1, 2000.
5. Adamczyk W.: *Ekologia wyrobu*, Polskie Wyd. Ekonomiczne, Warszawa 2004
6. *Agenda 21 on sustainable construction. CIP Report Publication 237*, www.cibworld.nl
7. Amatruda J., Bobenhausen W.: *A Practical Assessment Procedure for Specifying Environmentally-Sustainable Building Materials*. Conference Proceedings „Green Building Challange'98" vol. 1, p. 187, 26-28 October, Vancouver, Canada, 1998
8. Andrews J. E., Brimblecome P., Jeckells T. D., Liss P.S.: *Wprowadzenie do chemii środowiska*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
9. Beck M.: *Ökobilanzierung im betrieblichen Managament*. Vogel Buchverlag, Wűrzburg 1993.
10. Belindževa-Korkla O.: *Conception of building energy frame in Latvia*, w: Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building SB04 Warsaw, Building Research Instytute, Warszawa 2004
11. Binkiewicz Z. M.: *Chory biurowiec*. „Przyjazne Biuro. Just Office" nr 7/8. 1995
12. Boeker E., Van Grondelle R.: *Fizyka środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002
13. Bowie R., Jahn A.: *European Union - The new Directive on the energy performance of buildings – Moving closer to Kyoto*, European Commission, Directorate General for Energy & Transport, EU 2003
14. Bowie R., Jahn A.: *European Union - The new Directive on the energy performance of buildings – Moving closer to Kyoto*, European Commission, Directorate General for Energy & Transport, EU 2003
15. Brandrup J., Bittner M., Michaeli W., Menges G.: *Die Wiedervewrtung von Kunststoffen*, Hanser Verlag, 1995.
16. Brodowicz K., Dyakowski T.: *Pompy ciepła*, PWN, Warszawa 1990
17. Bryx M.: *Aspekty ekonomiczne zrównoważonego rozwoju w budownictwie*, w: XVI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 14-16.10.2004 r.
18. Buchanan H.A., Honey G.B.*: Energy and carbon dioxide implications of building construction.* „Energy and Buildings", nr 20, 1994

19. Budnikowski A.: *Ochrona środowiska jako problem globalny*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1998

20. C.A.U. GmbH, Gesellschaft fur Consulting und Analytik im Umweltbereich, Umweltbundesamt; Methodik der produktbczogenen Ökobilanz, Wrkungsbilunz und Bewertung, UBA Texte 23/95, Berlin 1995

21. Carley M., Spapens P.: *Dzielenie się światem. Zrównoważony sposób życia i globalnie sprawiedliwy dostęp do zasobów naturalnych w XXI w.*, Instytut na Rzecz Ekorozwoju, Białystok - Warszawa 2000

22. Ciok Z.: *Ochrona środowiska w elektroenergetyce*. Podstawowe problemy współczesnej techniki, T. XXIX. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001

23. Cole R., Kernan P.C.: *Life cycle Energy Use in Office Buildings*. "Building and Environment", vol. 31 N° 4, July 1996

24. Curran M.A. et al: *Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*. United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-92/245, February 1993

25. *Dane Zakładu Gazowniczego Zgorzelec DOK w Zielonej Górze*

26. Dold G.: *Computeruntrstűtzung der produktbezogen Ökobilanzierung*, Deutscher Uniwersitäts Verlag, Wiesbaden 1996

27. *Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych* (89/106/EWG). ITB, Warszawa 1994

28. Erlandson M., Levin P., Myhre L.: *Energy and Environmental Con-seqeuences of an Additional Wall Insulation of Dwelling*. "Building and Environment" vol. 32, N° 2, 1997

29. *European Commission DG Environment: Evaluation of Environmetal Product Declaration Schemes* (Final report). September 2002

30. *European Council for Construction Research, Development and Innovation Secretariat*, Brussels Newsletter, June 1998 volume 1, Issue 5 "Environmentally Friendly Construction Technologies"

31. Eyerer P.et al.: *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Geboeden*, Birkhaeuser Verlag, Boston, Berlin, Basel, Birkhaeuser, 2000

32. Fossdal S.: *Energy Consumption and Environmental Impact of Buildings in Norway: Life Cycle Assessment*. „IEA Energy Conservation News", issue 22, 1995

33. Goerisch U., in Kohler G., (Hrsg.): *Recyclingpraxis Baustoffe*, Verlag TUV Rheinland, 1994

34. Górzyński J. (a): *Analiza skumulowanego zużycia energii i emisji zanieczyszczeń w pełnym cyklu istnienia budynku*. "Archiwum Energetyki", 1998 nr 1-2

35. Górzyński J. (b): *Badanie wpływu energii zużywanej przy produkcji materiałów, wniesieniu i rozbiórce budynku na emisję zanieczyszczeń*. Praca Naukowo-Badawcza nr 55/3238/NF-20/97, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1998

36. Górzyński J., Panek A.D.: *Wymagania stawiane budownictwu przyjaznemu środowisku na przykładzie Green Building Challenge*. X Ogólnopolska Konferencja Naukowo Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 1998

37. Górzyński J.: *Analiza emisji zanieczyszczeń w pełnym cyklu istnienia budynku*. X Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna "Ekologia a Budownictwo", Bielsko Biała 14-16 październik 1998

38. Górzyński J.: *Obciążenia środowiska w produkcji wyrobów budowlanych*, Wyd. ITB, Warszawa 2004

39. Górzyński J.: *Podstawy metodyczne analizy energetyczno-ekologicznej obiektów budowlanych w pełnym cyklu istnienia*. Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, nr 437, Seria Rozprawy, Wydawnictwa ITB, Warszawa 2000

40. Górzyński J.: *Praca naukowo-badawcza nr NS-43/03 „Ocena oddziaływania wyrobów budowlanych na środowisko, bazująca na LCA – współpraca w ramach UEAtc Etap I"*, Warszawa, 2003

41. Górzyński J.: *Skumulowana emisja zanieczyszczeń przy wytwarzaniu materiałów i wyrobów budowlanych*. "Prace Instytutu Techniki Budowlanej - Kwartalnik", Warszawa nr 4 (112) 1999

42. Górzyński J.: *Wpływ racjonalizacji użytkowania energii w budynkach na zmniejszenie zanieczyszczenia pyłowego i gazowego środowiska*. Praca naukowo-badawcza nr 87/3238/NF-20/95 , Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1995

43. Graczyk M., Adamczyk J.: *Ocena korzyści środowiskowych związanych z zastosowaniem do termoizolacji budynków wyrobów z recyklingu,* w: Studia i Materiały - (Referaty), T. 23, nr 1-2, 2005

44. Graczyk M., Adamczyk J.: *The ecological Opinion of Cycle of Life (the LCA) the heatinsulating materials on need of building sedate*, w: Studia i Materiały – t. 22, nr 1 – 2, 2004

45. Graczyk M., Adamczyk J.: *Zarządzanie energią cieplna w sektorze budownictwa w świetle Dyrektywy 2002/91/EC*, w: Managment vol. 8, N° 2, 2004

46. Graczyk M.: *Zarządzanie proekologiczne*, Wyd. Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra 1999

47. Gruszka A., Niegowska E. (red.): *Zarządzanie środowiskowe komentarz do norm serii ISO 14000*, PKN, Warszawa 2004

48. Gryko L., Trukowski W., Pilawski M., Pabjan Z., Bartczak M.: *Innowacyjne wykorzystanie materiałów mineralnych w technologiach budowlanych*, w: III Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych", Szczyrk, 27-29 września, 2004

49. Grzeszkiewicz R.: *Ocena cyklu życia*. Ekologia i zdrowie nr 9-10 , 1994

50. *Guidelines for Life-Cycle Assessment: „A Code of Practice"*. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), Brussels/Pensacola, 1993

51. Guineé J. B. (red.): *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002

52. Hansen K., Petersen E.H.: *Inclusion of Life Cycle Assessment of Materials in Green Building Performance*. Conference Proceedings „Green Building Challange'98" vol. 2, p. 221, Vancouver, Canada

53. Hartkopf V.: *Design the Office of the Future. The Japanese Approach to Tommorow's Workplace*, J.Willey&Sons. Inc., New York 1993

54. Heijungs R., Guinee J. B., Huppes G.: *Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide.* NOH Report 9266, Leiden, 1992

55. Hums D.: *Ecological aspekt for the production and use for autoclaved aerated concrete*. Proceedings of the 3rd Rilem International Symposium on Autoclaved Aerated Concrete Switzerland, 14-16 October 1992, Balkema, Rotterdam-Brookfield 1992

56. Hutter V., Saur K.: *Ganzheitliche Bilanzierung von Heizsystemen und Gebäuden, (unveröffentlicht), PE Product Engineering*, Dettingen/Teck, 1998

57. Jatymowicz H. i inni: *Technologia autoklawizowanego betonu komórkowego.* Arkady, Warszawa, 1993

58. Jaworski K. M.: *Metodologia realizacji procesów budowy*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999

59. Jędrzejowski J.: *Procesy przemysłowe a zanieczyszczenie środowiska - przemysł hutniczy i cementowy*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1987

60. Karbauskaite J., Gilius A.: *Assessment of Building Maintenance Effectiveness on Energy Consumption and Environment Pollution Decrease,* w: Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building SB04 Warsaw, Building Research Instytute, Warszawa 2004

61. Kasperkiewicz K., Kowalewska K.: *Budynki o niskim zużyciu energii do ogrzewania i pasywne*, Materiały Budowlane nr 1/2003

61. a. Kłos Z., Kurczewski P.: *Life cycle engineering forb environmental management*, w: Zarządzanie Jakością, Środowiskiem, Wiedzą, Bezpieczeństwem – praktyka wzbogaca teorię: Materiały VIII konferencji Boszkowo, 21-23. IV. 2004, Politechnika Poznańska, 2004

61. b. Kłos Z., Kurczewski P.: *Ocena cyklu istnienia (LCA) – idea, związki z zarządzaniem środowiskowym i zastosowanie*, Chemik, 2004

61. c. Kłos Z., Laskowski G., Kurczewski P.: *LCA as Decision Manking Tool in Area of Air Compresors*, Annual Meeting of SETAC-Europe, Bordeaux 1998

61. d. Kłos Z., Kurczewski P., Laskowski G.: *Life Cycle Assessment of Compresors,* Proceedings of SETAC Case Studies, Brussels 1997

62. Kohler N.: *Life Cycle Analysis of Building Refurbishments*. IEA Future Buildings Forum, Proceedings edited by Hans Erhorn, Frauhofer Institute of Building Physics, Stuttgart 1997

63. Kozłowski S.: *Ekorozwój - Wyzwanie XXI wieku*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002

64. Krause H., Kosmala E.: *Ekologiczne uwarunkowania rozwiązań budowlanych*, w: XIV Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 17-19.10.2002 r.

65. Krause H.: *Uwarunkowania zrównoważonego rozwoju w budownictwie*, w: XVI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 14-16.10.2004 r.

66. *Książka przedmiarów* – Autorska pracownia Projektowa „HORYZONT" - Wrocław

67. Kulczycka J (red.): *Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA) nową techniką zarządzania środowiskowego*. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2001

68. Laskowski G.: *Ekobilansowanie maszyn i urządzeń na przykładzie sprężarek powietrza*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Pojazdów, Poznań 1999

69. Laskowski L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.

70. *LCANET workshop background and summary papers 1996 on: Positioning and application of LCA*, Goal and scope definition and inventory analysis, Impact assessment and interpretation and Databases and software, 1996

71. *Life cycle assessment for building services systems – a survey*. CIT Energy Management AB Sectorial Technical Expert, RUE in Buildings, OPET Finland, January 1999

72. Linczowski Cz., Stelmaszczyk G.: *Zabezpieczenie eksploatacyjne, remonty i modernizacje obiektów budowlanych*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004

73. Lindfors L. G. Et al.: *Nordic guidelines on Life Cycle Assessment,* LCA Nordic Technical Report N° 10 and Special Report N° 1-2, Tema Nord 1995

74. Loeber H., Richter E., Krause H., Nowak H.: *Podstawowe zasady zrównoważonego rozwoju budownictwa w Niemczech*, w: Materiały z Konferencji Naukowo-Technicznej, Mrągowo, 27-29 listopada 2002 r., *Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju*

75. Madej T.: *Gospodarka, a środowisko przyrodnicze*. Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2002

76. *Majcherska-Pałubicka B.: Uwarunkowania energetyczne i ekologiczne rozwoju budownictwa – Ekologia w architekturze,* w: Niezabitowski A. (red.): „Jakość i zarządzanie w przestrzeni architektonicznej", tom III – Jakość środowiska zbudowanego, Projekt TEMPUS, Gliwice 1999

77. Mańkowska M., Wach A. K.: *Zasady proekologicznego projektowania wyrobów elektronicznych*, w materiałach z: I Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekologia w elektronice", Warszawa, 16-17.10.2000

78. *Materiały informacyjne firmy OCTOPUS ENERGI*

79. *Materiały informacyjne firmy „Termex"*

80. Mikoś J.: *Budownictwo ekologiczne*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000

81. Misiewicz L.: *Rynek materiałów budowlanych do wznoszenia ścian w Polsce i Unii Europejskiej*, Materiały Budowlane nr 4/2004 (380)

82. Müller Ch.: *Anforderungen an Werkstoffe für kreislaufgerechtes Bauen.* Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, Vortragsskript, 20. Aachener Baustofftag, 3. März 1998

83. Niezabitowska E.: *Budynek jako źródło zanieczyszczeń i strat energetycznych*, w: Niezabitowska E. (red.): Budynek inteligentny, tom 1, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005

84. Niezabitowska E.: *Zrównoważony rozwój a metody badań jakościowych w architekturze i budownictwie*, w: XV Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 16-18.10.2003 r.

85. Niezabitowski A.: *Ocena wizualnego oddziaływania na środowisko jako element strategii zrównoważonego rozwoju*, w: XV Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 16-18.10.2003 r.

86. *Ochrona Środowiska 2004*, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2004

87. *Ökobilanzen für Produkte Bedeutung, Sachstand, Perspektiven*, UBA Texte 38/92, Berlin 1992.

88. Osmulska-Mróz B.: *Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1995

89. Pahl G.: *Neues Marketing für Recyclingbaustoffe, Baustoffrecycling*, April 1998

90. Panek A. D., Pogorzelski J. A.: *Zadania dla budownictwa związane ze zrównoważonym rozowjem*, w: XV Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 16-18.10.2003 r.

91. Panek A., Duda L.: *Wpływ struktury taryf na przyszłe zapotrzebowanie na ciepło*, „Materiały Budowlane", nr 1/98

92. Panek A.: *Metoda oceny oddziaływania na środowisko obiektów budowlanych*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2002

93. Petersdorff C., Boermans T.: *Mitigation of CO_2, Emissions from the Building Stock*, ECOFYS, Niemcy 2004, strona internetowa www. eurima.org

94. PN-82/B-02402 *Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach.*

95. PN-82/B-02403 *Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.*

96. PN-94/B-03406 *Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m³.*

97. PN-B-02025 *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych.*

98. PN-EN ISO *14040 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura*, 2000

99. PN-EN ISO 14041 *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru*, 2002

100. PN-EN ISO 14042 *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Ocena wpływu cyklu życia*, 2002

101. PN-EN ISO 14043 *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Interpretacja cyklu życia*, 2002

102. PN-EN ISO 6946 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła.*

103. Pogorzelski J. A.: *Opłacalna grubość izolacji cieplnej przegród zewnętrznych*, „Materiały Budowlane", nr 1/98

104. Pogorzelski J. A.: *Wymagania ochrony cieplnej budynków a ograniczenie emisji CO_2*, „Materiały Budowlane", nr 1/2003

105. Pogorzelski J.: *An outline of a program for sustainable development of construction in Poland*, w: Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building SB04 Warsaw, Building Research Instytute, Warszawa 2004

106. *Polish Energy Efficiency Report,* Prepared by FEWE – Polish Foundation for Energy Efficiency, Poland, Katowice, April 2004

107. *Poradnik inżyniera i technika budowlanego*, (red.) Gomulińska E., Arkady, Warszawa, 1986

108. Prejzner H., Górzyński J.: *Przyjazne dla środowiska wyroby budowlane istotnym składnikiem zrównoważonego rozwoju*. Gospodarka Paliwami i Energią, 9, 2002

109. *Program komputerowy Herz wersja 3.0*, Herz Sp. z o.o., Wieliczka, opracował Piaotr Wereszczyński, 1994-2004

110. *Program komputerowy Scilab 3.1.1*, Consortium Scilab (INRIA - The French National Institute for Research in Computer Science and Control, and ENPC – The National School of Civil Engineering) 1989 -2005

111. *Program komputerowy SimaPro 5.1* opracowany przez Pre Consultans B.V.- Holandia

112. *Projekt architektoniczno-budowlany piętrowego domu jednorodzinnego w zabudowie wolnostojącej*, Pracownia Projektowa Horyzont, Wrocław

113. *Putting our house in order*, EURIMA, Belgia 2004, strona internetowa www. eurima.org

114. Recknagel-Sprenger-Hőnmann-Schramek: *Poradnik Ogrzewanie i Klimatyzacja*. EWFE Gdańsk 1994

115. Richert M.: *Ochrona środowiska w działalności inwestycyjnej i gospodarczej. Wymagania. Procedury. Wdrażanie*, ODDK, Gdańsk 2002

116. Rosiński M., Spik Z.: *Analiza kosztów zużycia ciepła na ogrzewania i wentylację budynków jednorodzinnych w zależności od zastosowanego źródła ciepła i rodzaju paliwa*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" nr 3/2005

117. Rostron J.: *Sick Building Syndrome. Concepts Issues and Practice*.,E&FN Spon, London, 1997

118. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690, z późn. zm. z dnia 7 kwietnia 2004 r. Dz. U. 2004 nr 109, poz. 1156)

119. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 23 czerwca 2003 r. *w sprawie wzorów rejestrów: wniosków o pozwolenie na budowę oraz decyzji o pozwoleniu na budowę* (Dz.U. 2003, nr 120, poz. 1129, z póź. zm. z 2003 r. nr 168, poz. 1641)

120. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 26 sierpnia 2003 r. *w sprawie wymaganego zakresu projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego* (Dz.U. 2003 nr 164 poz. 1587)

121. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 26 sierpnia 2003 r. *w sprawie sposobu ustalania wymagań dotyczących nowej zabudowy i zagospodarowania terenu w przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego* (Dz.U. 2003 nr 164 poz. 1587)

122. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. *w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego* (Dz.U. 2003, nr 120, poz. 1133

123. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 sierpnia 2004 r. *w sprawie warunków i trybu postępowania w sprawach rozbiórek nieużytkowanych lub niewykończonych obiektów budowlanych* (Dz.U. 2004, nr 198, poz. 2043)

124. Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 2 kwietnia 2001 r. *w sprawie geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu oraz zespołów uzgadniania dokumentacji projektowej* (Dz.U. 2001, nr 38, poz. 455)

125. Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. *w sprawie ewidencji gruntów i budynków* (Dz.U. 2001, nr 38, poz. 454)

126. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2002 r. *w sprawie szczegółowych warunków, jakim powinna odpowiadać prognoza oddziaływania na środowisko dotycząca projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego* (Dz.U. 2002, nr 197, poz. 1667)

127. Rubik M.: *Pompy ciepła – poradnik*, Wyd. Drukarnia Piotra Włodarskiego, Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie", 1999

128. Sadowski J., Szudrowicz B.: *Inżynieria środowiska w kształtowaniu klimatu akustycznego środowiska i jego ochronie przed hałasem*, Materiały I Kongresu Inżynierii i Ochrony Środowiska, Lublin, wrzesień 2002

129. Schmidt M., Häuslein A.: *Ökobilanzierung mit Computerunterstűtzung*, Springer Verlag, Berlin 1997.

130. SETAC Working Grup Reports 1996-1997: *Simplifying LCA, Enhancing inventory methodology, Impact assessment, Case studies and Conceptually related programmes*

131. Sochacki M.: *Sustainable Construction in the Countries of Central Europe – Conditions of Development*, w: Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building SB04 Warsaw, Building Research Instytute, Warszawa 2004

132. Stawicka-Wałkowska M. (a): *Międzynarodowe wymagania zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do budownictwa*, w: XIII Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 11-13.10.2001 r.

133. Stawicka-Wałkowska M.: *Etyczne aspekty zrównoważonego rozwoju w budownictwie*, w: XV Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 16-18.10.2003 r.

134. Stawicka-Wałkowska M.: *Ocena wpływu budownictwa i przemysłu materiałów budowlanych na środowisko naturalne w świetle programu "Zrównoważony rozwój"*. Prace Instytutu Techniki Budowlanej -Kwartalnik, Warszawa 1998 nr 2-3

135. Stawicka-Wałkowska M.: *Procesy wdrażania zrównoważonego rozwoju w budownictwie*, Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2001

136. Stawicka-Wałkowska M.: *Zastosowanie zasad zrównoważonego rozwoju w procesie modernizacji i rewitalizacji budynków*, w: XII Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała 12-14.10.2000 r.

137. *Sustainable energy systems - Work Programme*, European Commission - Community Research, Revision 2 April 2004

138. Suzuki M., Oka T.: Estimation of Life Cycle CO_2 Emission of Office Buildings in Japan. Conference Proceedings „Green Building Challange'98", vol. 1, p.379, 26-28 October, Vancouver, Canada

139. Szafranko E., Wierzchowski W.: *Rola uczestników procesu inwestycyjnego w ochronie środowiska*. XI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna "Ekologia a Budownictwo", Bielsko-Biała październik 1999

140. Szczechowiak E.: *Sprawność użytkowa układu grzewczego budynku*, "Ogrzewnictwo Praktyczne" 1996 nr 1

141. Szymański E.: *Technologia materiałów budowlanych*, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2003

142. Śliwowski L.: *Mikroklimat w mieszkaniu*, CIOB, Warszawa 1986

143. Tebbe H., Hoffmann S.: *Möglicher Einsatz von Recycling-Bims in der Leichtbetonherstellung zur Ressourcenschonung und Primärenergieeinsparung. Konsequenzen auf die Druckfestigkeit, Rohdichte, Wärme- und Schallschutz und Auswirkungen auf die Ökobilanz (Energiebilanz) von Leichtbeton Mauersteinen.* Forschungsbericht nr 9537, Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied, 1995

144. Tetior A.: *Conception of „Program of Sustainable Building" for Russia,* w: Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building SB04 Warsaw, Building Research Instytute, Warszawa 2004

145. Trinius W.: *Valuation Principles in Environmental Assessment of Buildings.* Conference Proceedings „Green Building Challange'98", vol. 2, p. 119, 26-28 October, Vancouver, Canada

146. Trusty W. B.: *Introducing an Assessment Tool Classification System*, July 2003, strona intrernetowa: www. Athenasmi.ca/papers/down_papers/AssessTypologyTool.pdf

147. *United State Environmental Protection Agency: Life Cycle Design Guidance Manual*. EPA January 1993

148. *Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych* (Dz. U. z 1995 r. nr 16, poz. 78 z póź. zm. z 1997 r., nr 60, poz. 370; nr 80, poz. 505; nr 160, poz. 1079; z 2004 r., nr 121, poz. 1266)

149. *Ustawa o ochronie przyrody* (Dz. U. z 2004 r., nr 92, poz. 880)

150. *Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* z dnia 27 marca 2003(Dz. U. z 2003 r. nr 80, poz. 717 z póź. zmianami)

151. Ustawa *Prawo budowlane* z dnia 7 lipca 1994 r., (Dz. U. z 2003 r., nr 207, poz. 2016; z późn. zm.), zmiany tekstu jednolitego ustawy zostały ogłoszone w Dz. U. z 2004 r., nr 6, poz. 41; nr 92, poz. 881; nr 93, poz. 888; nr 96, poz. 959

152. *Ustawa Prawo geodezyjne i kartograficzne* (Dz. U. z 1989 r., nr 30, poz. 163, z póź. zm. z 2000, nr 100, poz. 1086)

153. Ustawa *Prawo ochrony środowiska* z dnia 27 kwietnia 2001 r., (Dz. U. z 2001 r., nr 62. poz. 627; nr 115, poz. 1229; z 2002 r. Nr 74, poz. 676; nr 113, poz. 984; nr153, poz. 1271; nr 233, poz. 1957; z 2003 r. Nr 46, poz.392; nr 80, poz. 717 i 721; nr162, poz. 1568; nr 175, poz. 1693; nr 190, poz. 1865; nr 217, poz. 2124; z 2004 r. Nr 19, poz. 177; nr 49, poz. 464; nr 70, poz. 631; nr 91,

poz. 875; nr 92, poz. 880; nr 96, poz. 959; nr 121, poz. 1263; z 2005 r. nr 62, poz. 552; nr 113, poz. 954)

154. Wierzbicki S. M., Gajownik R.: *Problemy zrównoważonego budownictwa w pracach Instytutu Techniki Budowlanej*, w: Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju", Mrągowo 2002

155. Wierzbicki S.: *Ocena przydatności materiałów budowlanych do stosowania w budownictwie*. XLVII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB „Problemy naukowo-badawcze budownictwa", Opole - Krynica, 16-21 września 2001 r.

156. Wilson R., Young A.: *The Embodied Energy Payback Period of Photovoltanic Installations Applied to Buildings in U.K.* „Building and Environment" vol.31 N°4, July 1996

157. Winnicka-Jasłowska D.: *Syndrom chorego budynku*, w: Niezabitowska E. (red.): Budynek inteligentny, tom 1, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005

158. Winpenny J. T.: *Wartość środowiska*. Metody wyceny ekonomicznej. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1995

159. Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M.: *Kolektory słoneczne – Poradnik wykorzystania energii słonecznej*, Wyd. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 2001

160. Wróbel T.: *Energoaudyt. System ewidencji i analiz energetycznych budynków*. Strona internetowa: www. Proinbud.net. 2003

161. Zapotoczna-Sytek G. (a): *Współczesne technologie betonu komórkowego, prognozy w świetle zrównoważonego rozwoju*. Materiały XiX Konferencji Naukowo-Technicznej „Beton i Prefabrykacja", Jadwisin 1998, t. 1

162. Zapotoczna-Sytek G. (b): *Ściany z betonu komórkowego*, Materiały Budowlane nr 4/2004 (380)

163. Zapotoczna-Sytek G.: *Zrównoważony rozwój a proces wytwarzania wyrobów budowlanych*, J. Duda, B. Weryński (red.) Materiały III Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych", Szczyrk-Opole, 2004

164. Żenczykowski W.: *Budownictwo ogólne*, t. 1, Materiały i wyroby budowlane. Arkady, Warszawa 1992

S P I S R Y S U N K Ó W

Rys. 1.1. Schemat powiązań działalności budowlanej z wpływem na środowisko przyrodnicze i zabudowane. 12

Rys. 1.2. Budownictwo wg zasad zrównoważonego rozwoju 16

Rys. 1.3. Zużycie energii w budownictwie. 17

Rys. 1.4. Emisja CO_2 przez różne rodzaje zasobów budowlanych Europy Zachodniej. 18

Rys. 1.5. Emisja CO_2 przez zasoby budowlane Unii Europejskiej. 19

Rys. 1.6. Schemat struktury działań w zakresie budownictwa ekologicznego 23

Rys. 1.7. Schemat kształtowania budynków ekologicznych. 24

Rys. 1.8. Cykl istnienia budynku. 28

Rys.1.9. Zastosowanie procedur LCA według ISO 14040 do opracowania deklaracji środowiskowej.32

Rys. 3.1. Fazy oceny cyklu życia. 36

Rys. 3.2. LCA obiektu budowlanego w ujęciu systemowym. 37

Rys. 3.3. Ogólna koncepcja oceny wpływu cyklu życia LCIA. 42

Rys. 3.4. Elementy fazy LCIA. 43

Rys. 3.5. Powiązanie elementów fazy interpretacji z innymi fazami LCA. 45

Rys. 3.6. Zmienne wielkości LCA budynku 46

Rys. 3.7. Procedura grupowania kategorii oddziaływania 49

Rys. 4.1.a. Elewacja frontowa. **Rys. 4.1.b**. Elewacja tylna. **Rys. 4.1.c.** Elewacja boczna 1. **Rys. 4.1.d.** Elewacja boczna 2. 52

Rys. 4.2. Rzut parteru wraz z oznaczeniem funkcji poszczególnych pomieszczeń. 53

Rys. 4.3. Rzut poddasza wraz z oznaczeniem funkcji poszczególnych pomieszczeń. 53

Rys. 5.1. Poglądowy schemat procesu produkcji wyrobu budowlanego i jego powiązanie ze środowiskiem 61

Rys. 5.2. Schemat technologiczny produkcji bloczków z betonu komórkowego według technologii „Unipol" (wariant piaskowy) – drzewo procesów 63

Rys. 5.3. Model grafu obrazujący przenoszenie emisji zanieczyszczeń w procesie produkcji bloczku betonu komórkowego. 65

Rys. 5.4. Algorytm oceny cyklu istnienia. 67

Rys. 5.5. Znormalizowane wskaźniki oddziaływania na środowisko betonu komórkowego – postać graficzna 75

Rys. 5.6. Znormalizowane wskaźniki oddziaływania na środowisko betonu komórkowego – zagregowane według trzech kategorii szkód (postać graficzna) 76

Rys. 5.7. Wynik LCA betonu komórkowego - jedenaście kategorii oddziaływań – postać graficzna. ..77

Rys. 5.8. Wynik LCA betonu komórkowego - trzy kategorie szkód – postać graficzna 77

Rys. 6.1. Moduły budynku. 80

Rys. 6.2. Przekrój zewnętrznej przegrody budowlanej 84

Rys. 6.3. Przekrój stropu gęstożebrowego TERIVA I. 88

Rys. 7.1. Schemat ilustrujący zasadę bilansu ciepła i określenia wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń w budynku mieszkalnym 97

Rys. 8.1. Przekroje zewnętrznej przegrody budowlanej z wariantowym zastosowaniem materiału izolacyjnego i konstrukcyjnego 110

Rys. 9.1. Bilans ekologiczny budynku z uwzględnieniem pełnego cyklu jego istnienia 119

Rys. 9.2. Wynik LCA trzech faz istnienia budynku 121

S P I S T A B E L

Tablica 1.1. Miejsce i zakres zrównoważonego budownictwa w całości zagadnień zrównoważonego rozwoju. 14

Tablica 1.2. Techniczny potencjał zmniejszenia emisji CO_2 w wyniku działania Dyrektywy EPBD oraz możliwości rozszerzenia oddziaływania Dyrektywy. 19

Tablica 1.3. Wartości wskaźnika E budynków mieszkalnych energooszczędnych 21

Tablica 1.4. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrody budowlane w budynku jednorodzinnym 21

Tablica 1.5. Rodzina norm ISO 14000 dotycząca LCA 31

Tablica 3.1. Kategorie oddziaływań na środowisko wg SETAC 42

Tablica. 3.2. Kategoria wpływu – Globalne ocieplenie 44

Tablica 4.1. Zestawienie powierzchni pomieszczeń 52

Tablica 5.1. Charakterystyka wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego - metoda oceny CML 2 baseline 2000....69

Tablica 5.2. Normalizacja wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego - metoda oceny CML 2 baseline 2000....70

Tablica 5.3. Charakterystyka wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego– metoda Ekopunktów 97....72

Tablica 5.4. Kategorie oddziaływań na środowisko betonu komórkowego z uwzględnieniem wskaźnika wagi – metoda Ekopunktów 97....73

Tablica 5.5. Charakterystyka wskaźników poszczególnych kategorii oddziaływania na środowisko betonu komórkowego – metoda Ekowskaźnika 99....74

Tablica 5.6. Szacowanie wpływów – sprowadzenie wskaźników oddziaływania na środowisko betonu komórkowego do postaci trzech kategorii szkód....74

Tablica. 5.7. Znormalizowane wynik LCA betonu komórkowego – metoda Ekowskaźnik 99....74

Tablica. 5.8. Znormalizowane wskaźniki oddziaływania na środowisko betonu komórkowego agregowane według trzech kategorii szkód....75

Tablica 5.9. Wynik LCA betonu komórkowego z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 76

Tablica 5.10. Wynik LCA betonu komórkowego odniesiony do trzech kategorii szkód 77

Tablica 5.11. Charakterystyka metod oceny oddziaływania na środowisko wg procedur obliczeniowych programu SimaPro 5.1. 78

Tablica 6.1. Wynik LCA robót ziemnych z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 82

Tablica 6.2. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module fundamenty 83

Tablica 6.3. Wynik LCA modułu fundamenty z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 83

Tablica 6.4. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module - przegrody budowlane (ściana zewnętrzna)....85

Tablica 6.5. Wynik LCA zewnętrznej przegrody budowlanej z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko....85

Tablica 6.6. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module przegrody budowlane ściana działowa „1″ – z cegły dziurawki 86

Tablica 6.7. Zestawienie materiałów wykorzystanych w module - przegrody budowlane ściana działowa gipsowo-kartonowa. 86

Tablica 6.8. Wynik LCA wewnętrznych przegród z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 87

Tablica 6.9. Zestawienie materiałów wykorzystanych w procesie wykonania modułu strop 89

Tablica 6.10. Wynik LCA modułu - strop z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 90

Tablica 6.11. Zestawienie wyrobów wykorzystanych w konstrukcji modułu – dach 91

Tablica 6.12. Wynik LCA dla modułu - dach z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 92

Tablica 6.13. Zestawienie wyrobów wykorzystanych w procesie produkcji i montażu okna dwuszybowego z PCW. 93

Tablica 6.14. Wynik LCA produkcji i montażu modułu - okno dwuszybowe z PCW z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 93

Tablica 6.15. Wynik LCA modułu - drzwi zewnętrzne z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 94

Tablica 6.16. Wynik LCA modułu - kocioł gazowy o mocy cieplnej 24 kW z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 95

Tablica 7.1. Wynik LCA fazy użytkowania związanej z wytworzeniem energii cieplnej c.o. i c.w.u. z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 101

Tablica 7.2. Wyposażenie analizowanego domu w urządzenia techniczno-sanitarne 101

Tablica. 8.1. Zestawienie wartości zmiennych wykorzystanych do obliczeń i wyniki obliczeń optymalizacji grubości warstwy termoizolacyjnej 110

Tablica 8.2. Zestawienie materiałów wykorzystanych w robotach murowych przegrody zewnętrznej I 111

Tablica 8.3. Zestawienie wyrobów wykorzystanych w procesie robót murowych – przegroda II 111

Tablica 8.4. Wynik LCA fazy budowy przegrody I i II z uwzględnieniem jedenastu kategorii oddziaływania na środowisko 112

Tablica 8.5. Wskaźniki energetyczno-ekologiczne budynku z uwzględnieniem wariantowości rozwiązań przegrody zewnętrznej 113

Tablica 8.6. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych ścian zewnętrznych w powiązaniu z korzyścią środowiskową, wartością bieżącą netto oraz czasem zwrotu inwestycji 115

Z A Ł Ą C Z N I K 1

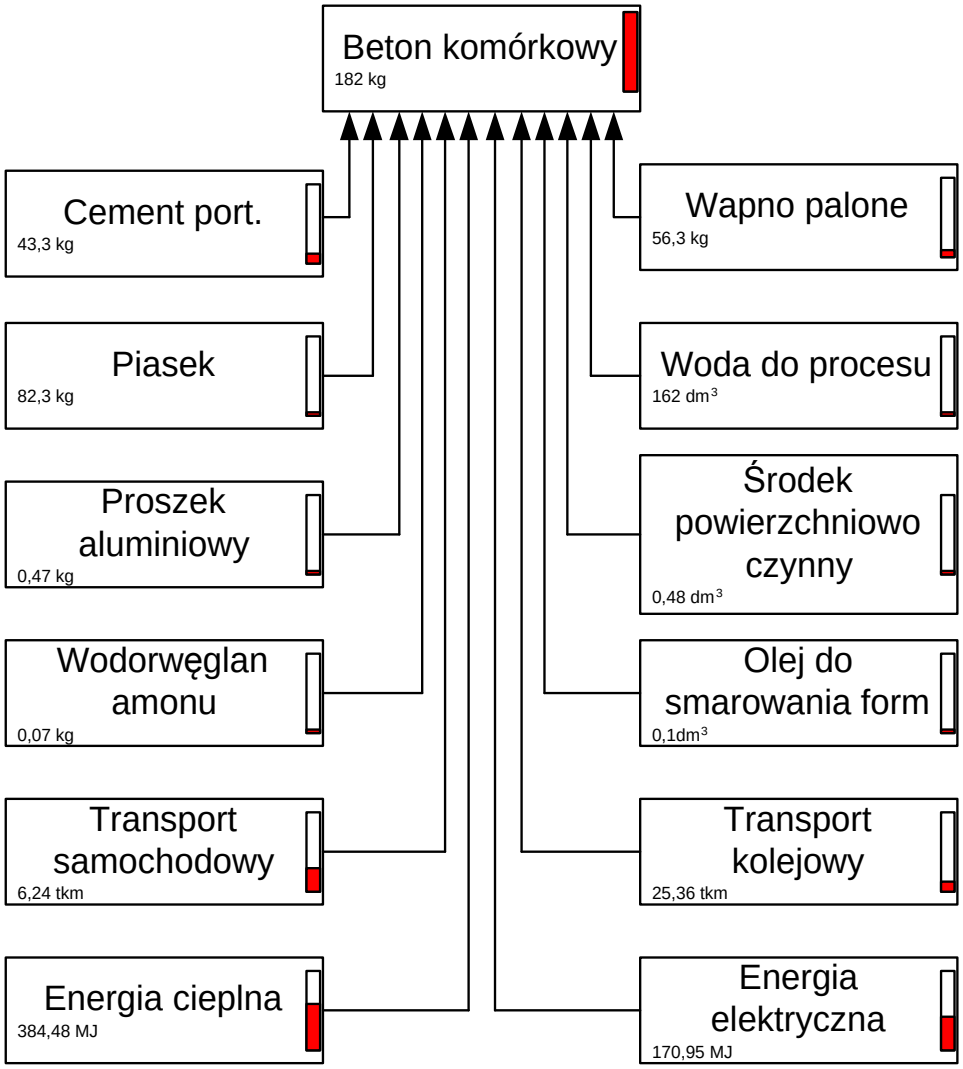
Tabela inwentaryzacyjna (wejścia-wyjścia) dla betonu komórkowego produkowanego wg technologii „Unipol" (wariant piaskowy) stosowany w Polsce.

OPIS PROCESU

Identyfikacja procesu	PREFABET - PUŁAWY PREFABET - POWODOWO Ytong – XELLA Polska Sp. z o. o.
Nazwa	Beton komórkowy – wariant piaskowy – technologia „Unipol"
Okres czasu	1985-2005
Położenie geograficzne	Polska
Technologia	Średnia
Charakter danych	Mieszane (dane producenta i literatura)
Data	Styczeń 2005
Producent programu	Pre-Consultans,-Amersfoort, the Netherlands, RS
Opracowanie danych	Janusz Adamczyk na podstawie danych udostępnionych przez: PREFABET – Puławy; PREFABET - Powodowo, XELLA Polska oraz literaturę przedmiotu.
Sugerowana literatura	Bibliografia: .Szymański E.: *Technologia materiałów budowlanych*
Zasady alokacji	Różnorodne wyjścia procesowe w relacji do masy produktu podstawowego alokowane są do środowiska. Na podstawie danych uzyskanych w firmie: PREFABET – Puławy, PREFABET Powodowo, XELLA Polska oraz danych literaturowych zidentyfikowano wyłącznie ładunki emisji materiałowych do powietrza, ścieki technologiczne nie występują ponieważ stosuje się zamknięte

	obiegi wody. Także odpady użytkowe, dla których zastosowano pętlę recyklingową nie są lokowane w środowisku i nie uwzględniano ich negatywnego wpływu na stan ekosystemów.	
Opisywany system i produkt finalny	Beton komórkowy PN-B-19301:2004, jednostka funkcjonalna: 1 m^2 przegrody budowlanej o grubości 36,5 cm.	
ZASOBY (ZUŻYCIE ZASOBÓW ZE ŚRODOWISKA) **IDENTYFIKACJA WEJŚĆ DO PROCESU**		
Cement	43,3 kg	
Wapno palone	56,3 kg	
Piasek	82,3 kg	
Woda do procesu	162 dm^3	
Proszek aluminiowy	0,47 kg	Środkiem powierzchniowo czynny może być wodny roztwór kerylobenzenosulfonianu sodowego lub wodny roztwór soli sodowej technicznego kwasu butylonaftalenosulfonowego
Środek powierzchniowo czynny	0,48 dm^3	
Wodorowęglan amonu	0,07 kg	
Olej do smarowania form	0,1 dm^3	
Transport samochodowy	6,24 tkm	Transport: cement, wapno, piasek, węgiel kamienny
Transport kolejowy	25,36 tkm	Transport dalekobieżny: cement, wapno, węgiel kamienny
Energia cieplna	384,48 MJ	Spalanie węgla kamiennego w celu wytworzenia pary zasilającej autoklaw
Energia elektryczna	170,95 MJ	

DRZEWO PROCESOWE



WYJŚCIE -
1) EMISJE DO POWIETRZA:

Pył	22,7 g	
Benzen	2,43 mg	
Policykliczne węglowodory aromatyczne (PAH's)	98,5 µg	
C_xH_y aromatyczne	453 µg	
Halon-1301	575 µg	
Metan	336 g	
Lotne związki organiczne (bez metanu)	21,4 mg	
CO_2	42300 g	
CO	2420 g	
Amoniak	13,7 mg	
HF	758 mg	
N_2O	802 mg	
HCl	10,6 g	
SO_x (w przeliczeniu na SO_2)	231 g	
NO_x (w przeliczeniu na NO_2)	36,5 g	
Pb	148 mg	
Cd	2,11 mg	
Mn	50,3 mg	
Ni	38,6 mg	

Hg	1,54 mg	
Zn	105 mg	
Cr	49,1 mg	
Cu	33,6 mg	
H_2S	494 mg	
WYJŚCIE - **2) EMISJE DO WODY:**	Gospodarka wodna w zakładach produkujących beton komórkowy jest prowadzona w obiegu zamkniętym, powstające ścieki są zawracane do procesu technologicznego. Według danych w procesie technologicznym nie powstają ścieki przemysłowe.	
WYJŚCIE – **3) OBCIĄZENIE POWIERZCHNI ZIEMI:**	W procesie produkcyjnym powstające odpady (w niewielkiej ilości) są zawracane do procesu produkcyjnego po uprzednim rozdrobnieniu.	
WYJŚCIE – **4) EMISJE POZA MATERIAŁOWE:**		
Emisja hałasu	-	Nie analizowano.

Z A Ł Ą C Z N I K 2

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Bloczki betonu komórkowego o gr. warstwy 36.5	Blacha stalowa płaska gr. 0,5 mm, pow. poliester	Beton zwykły B-7,5	Beton zwykły B-15	Beton zwykły B-20	Belki stropowe prefabrykowane żelbetowe TERIVA	Belki iglaste nasycone kl. II	Bale 70 mm, kl. III
	Jednostka funkcjonalna							
	m^2	m^2	m^3	m^3	m^3	kg	m^3	m^3
Związki kancerogenne	0,369	0,00487	0,0535	0,0537	0,0529	0,00152	0,192	0,0603
Związki organiczne	0,00316	2,12E-4	0,00469	0,00531	0,00556	1,42E-5	0,00366	0,00227
Związki nieorganiczne	1,32	0,11	2,52	2,92	3,09	0,0287	0,823	0,266
Zmiany klimatu	0,535	0,0244	1,06	1,27	1,37	0,00212	0,277	0,076
Radiacja	7,61E-5	X	X	X	X	X	0,0217	6,32E-5
Dziura ozonowa	7,68E-4	8,16E-6	9,02E-5	9,11E-5	9E-5	2,75 E-6	0,00138	6,24E-4
Ekotoksyczność	0,204	0,0213	0,0253	0,0255	0,0252	0,00127	0,126	0,0347
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,261	0,0235	0,678	0,782	0,826	0,00134	0,135	0,0582
Użytkowanie ziemi	0,396	0,0384	15,1	15,2	15	0,00278	94,7	94,6
Minerały	0,0162	0,00804	6,53E-4	6,54E-4	6,44E-4	2,29 E-4	0,0114	7,44E-4
Paliwa kopalne	2,84	0,287	2,15	2,26	2,28	0,0187	2,91	1,45
Suma [Pt]	**5,95**	**0,521**	**21,6**	**22,5**	**22,6**	**0,0567**	**99,2**	**96,6**
ŻRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, BUWAL 250	Literatura, BUWAL 250	Dane producenta, BUWAL 250, ETH-ESU, literatura	Dane producenta, BUWAL 250, ETH-ESU, liter.	Dane producenta, BUWAL 250, ETH-ESU, literatura	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU
REPREZENTA-TYWNOŚĆ	3 zakłady w Polsce	-	2 zakłady w Polsce	2 zakłady w Polsce	2 zakłady w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.1. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Cegła budowlana pełna, gr. 6.5 cm	Cegła dziurawka	Dachówka ceramiczna	Dachówka ceramiczna szczytowa	Śruby, podkładki, nakrętki	Deski iglaste obrzyn. 38 mm, kl. III	Deski iglaste obrzyn. 19-25 mm, kl. III	Deski iglaste obrzyn. 25 mm, kl. III
	Jednostka funkcjonalna							
	m^2	m^2	m^2	kg	kg	m^3	m^3	m^3
Związki kancerogenne	0,0529	0,0397	0,0127	5,28E-4	0,02	0,0907	0,0986	0,0933
Związki organiczne	5,99E-4	4,41E-4	1,4E-4	4,81E-6	4,5E-5	0,00249	0,00255	0,00251
Związki nieorganiczne	0,506	0,366	0,115	0,00312	0,0181	0,348	0,369	0,355
Zmiany klimatu	0,236	0,17	0,0535	0,00138	0,00981	0,106	0,114	0,109
Radiacja	X	X	X	X	2,54E-4	6,32E-5	6,32E-5	6,32E-5
Dziura ozonowa	1,09E-4	8,18E-5	2,62E-5	1,09E-6	1,34E-5	6,87E-5	7,03E-4	6,93E-4
Ekotoksyczność	0,0292	0,0219	0,00701	2,92E-4	0,0196	0,0514	0,0558	0,0528
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,111	0,0799	0,0252	6,51E-4	0,00276	0,0727	0,0765	0,0739
Użytkowanie ziemi	1,58	1,12	0,353	0,00742	0,00315	94,6	94,6	94,6
Minerały	5,65E-4	4,23E-4	1,35E-4	5,6E-6	0,00343	0,00106	0,00115	0,00109
Paliwa kopalne	2,16	1,55	0,489	0,0121	0,0825	1,68	1,73	1,7
Suma [Pt]	**4,68**	**3,36**	**1,06**	**0,0255**	**0,16**	**97,0**	**97,1**	**97,0**
ŻRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, Data Archive	Dane producenta, Data Archive	Dane producenta, Data Archive, ETH-ESU	Dane producenta, Data Archive, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU
REPREZENTA-TYWNOŚĆ	1 zakład w Polsce	-1 zakład w Polsce	2 zakłady w Polsce	2 zakłady w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.2. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Grzejniki C.O.	Deski iglaste obrzynane 28-45 mm, kl. III	Drewno okrągłe na stemple budowlane	Drewno opałowe	Dwuteownik walcowany	Folia do pokrycia dachowego	Folia polietylenowa izolacyjna gr. 0,3 mm	Gąsiory półokrągłe
	Jednostka funkcjonalna							
	m^2	m^3	m^3	m^3	kg	m^2	m^2	kg
Związki kancerogenne	0,0192	0,0832	0,0544	0,0501	0,00245	0,0525	8,01E-5	6,6E-7
Związki organiczne	4,04E-5	0,00237	0,00216	0,00203	3,76E-5	2,59E4	2,66E-5	1,03E-6
Związki nieorganiczne	0,0162	0,324	0,246	0,229	0,0225	0,199	6,6E-4	0,00169
Zmiany klimatu	0,00897	0,0982	0,0695	0,0643	0,00557	0,0632	9,8E-4	8,52E-4
Radiacja	2,61E-4	6,09E-5	6,09E-5	5,75E-5	X	X	X	X
Dziura ozonowa	1,24E-5	6,54E-4	5,94E-4	5,58E-4	2,22E-6	3,18E-5	9,94E-8	1,71E-10
Ekotoksyczność	0,0199	0,0472	0,0313	0,0289	0,00463	0,0276	3,18E-5	5,5E-7
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,0024	0,0681	0,0542	0,0506	0,00461	0,0348	1,45E-4	3,98E-4
Użytkowanie ziemi	0,0028	91,2	91,2	86	0,00815	X	3,18E-4	0,00728
Minerały	0,00365	9,82E-4	6,77E-4	6,26E-4	0,00164	0,00365	9,31E-6	3,81E-8
Paliwa kopalne	0,0763	1,58	1,37	1,28	0,0609	0,668	0,0217	0,00824
Suma [Pt]	**0,15**	**93,4**	**93,0**	**87,7**	**0,111**	**1,05**	**0,0238**	**0,0185**
ŻRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU, BUWAL 250	Literatura, ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, literatura, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU
REPREZENTA-TYWNOŚĆ	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład	1 zakład w Polsce	2 zakład w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.3. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Gips budowlany szpachlowy	Drut stalowy okrągły	Gwoździe budowlane okrągłe	Gwoździe stolarskie	Kątowniki równoramienne na progi drzwiowe	Krawędziaki iglaste wymiarowe	Kształtki U z betonu komórkowego 60X25x36,5	Lakier do drewna
	Jednostka funkcjonalna							
	kg	kg	kg	kg	kg	m^3	kg	kg
Związki kancerogenne	1,21E-4	0,0168	0,00243	0,00259	0,0218	0,0841	0,00191	X
Związki organiczne	6,03E-6	3,24E-5	3,85E-5	3,96E-5	6,07E-5	0,00244	2,88E-5	0,0155
Związki nieorganiczne	0,00179	0,0134	0,0223	0,0227	0,133	0,33	0,0127	X
Zmiany klimatu	9,99E-4	0,00796	0,00533	0,00549	0,0453	0,0996	0,0037	X
Radiacja	1,41E-5	2,12E-4	X	X	X	6,32E-5	2,82E-7	X
Dziura ozonowa	2E-6	9,78E-6	2,53E-6	2,86E-6	7,88E-6	6,73E-4	3,68E-6	X
Ekotoksyczność	1,03E-4	0,0176	0,00468	0,00477	0,00431	0,0478	0,00208	X
Zakwaszenie/Eutrofizacja	3,7E-4	0,00217	0,00455	0,00463	0,0164	0,0695	0,00268	X
Użytkowanie ziemi	4,83E-4	0,00278	0,00771	0,00775	0,0364	94,6	0,00377	X
Minerały	1,01E-5	0,00216	0,0016	0,0016	0,0954	9,94E-4	5,34E-4	X
Paliwa kopalne	0,0477	0,0669	0,0598	0,0609	0,28	1,63	0,0322	X
Suma [Pt]	**0,00866**	**0,13**	**0,108**	**0,111**	**0,633**	**96,9**	**0,0596**	**0,0155**
ŻRÓDŁO DANYCH	ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	ETH-ESU
REPREZENTATYWNOŚĆ	-	1 zakład w Polsce	3 zakład w Polsce	3 zakład w Polsce	-	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	-Nie ujęto oddziaływania produkcji
KOMENTARZ								Ujęto tylko emisje rozpuszczalników

Tablica II.4. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Łaty iglaste 50x45 mm	Łaty iglaste 75x22 mm	Lepik asfaltowy na gorąco	Lepik asfaltowy na zimno	Listwy iglaste	Listwy przyścienne z drzewa liściastego	Masa asfaltowa	Nadproża prefabrykowane YN/24
	Jednostka funkcjonalna							
	m^3	m^3	kg	kg	m^3	m^3	kg	kg
Związki kancerogenne	0,101	0,112	0,00107	3,41E-4	0,122	0,16	0,00108	0,00174
Związki organiczne	0,00256	0,00264	2,07E-4	6,56E-5	0,00261	0,0223	2,07E-4	2,39E-5
Związki nieorganiczne	0,376	0,405	0,00773	0,00245	0,426	3,66	0,00773	0,0121
Zmiany klimatu	0,117	0,127	0,0021	6,64E-4	0,136	0,961	0,00209	0,00345
Radiacja	6,32E-5	6,32E-5	3,54E-5	1,12E-5	5,98E-5	X	3,55E-5	2,59E-7
Dziura ozonowa	7,09E-4	7,31E-4	1,02E-4	3,23E-5	7,24E-4	1,15E-4	1,02E-4	2,85E-6
Ekotoksyczność	0,0572	0,063	0,00138	4,36E-4	0,0685	1,03	0,00138	0,00223
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,0777	0,0828	0,00138	4,39E-4	0,0859	0,792	0,00138	0,00252
Użytkowanie ziemi	94,6	94,6	5,52E-4	1,75E-4	89,5	147	5,52E-4	0,00416
Minerały	0,00118	0,00129	7,68E-5	2,44E-5	0,00139	0,00212	7,69E-5	6,58E-4
Paliwa kopalne	1,75	1,83	0,129	0,0408	1,85	7,55	0,129	0,0259
Suma [Pt]	**97,1**	**97,3**	**0,143**	**0,0454**	**92,2**	**162**	**0,143**	**0,0564**
ŹRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU	Dane producenta, BUWAL 250
REPREZENTATYWNOŚĆ	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-	-	3 zakłady w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.5. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Nadproża prefabrykowane YN/36.5	Okna fabrycznie wykończone - kształty nietypowe	Okna i drzwi balkonowe fabrycznie wykończone	Papa asfaltowa na tekturze - izolacyjna	Piasek = piasek do zaprawy	Płyta z wełny mineralnej, gr. 6cm	Płytki chodnikowe betonowe 35x35x5	Płytki GRES o wym. 30x30x1
	Jednostka funkcjonalna							
	kg	m^2	m^2	m^2	m^3	m^2	m^2	m^2
Związki kancerogenne	0,00178	0,135	0,133	0,00796	0,0188	0,0207	0,00415	0,00289
Związki organiczne	2,17E-5	0,0147	0,0147	9,14E-4	7,33E-4	2,59E-4	1,32E-4	5,87E-5
Związki nieorganiczne	0,011	1,09	1,09	0,0532	0,265	0,0626	2,39	0,0489
Zmiany klimatu	0,00334	0,31	0,308	0,0199	0,0669	0,0286	0,0273	0,0225
Radiacja	2,84E-7	8,5E-4	8,5E-4	1,45E-4	X	6,23E-4	X	5,87E-4
Dziura ozonowa	2,93E-6	3,18E-4	3,15E-4	4,29E-4	3,88E-5	5,12E-5	7,87E-6	1,48E-5
Ekotoksyczność	0,0205	0,071	0,0702	0,00966	0,0104	0,0054	9,71E-4	0,00186
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,00227	0,219	0,218	0,00958	0,0749	0,0204	0,0223	0,0102
Użytkowanie ziemi	0,00384	0,0528	0,0524	0,00226	5,74	0,00572	0,152	0,00668
Minerały	5,68E-4	0,0265	0,0265	5,65E-4	2,16E-4	3,89E-4	5,48E-5	3,28E-4
Paliwa kopalne	0,027	4,48	4,47	0,656	0,556	0,187	0,235	0,27
Suma [Pt]	**0,052**	**6,4**	**6,38**	**0,761**	**6,73**	**0,332**	**2,83**	**0,364**
ŹRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU	ETH-ESU, BUWAL 250
REPREZENTATYWNOŚĆ	3 zakłady w Polsce	2 zakład w Polsce	2 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-	2 zakład w Polsce	-
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.6. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Płytki klinkierowe	Płyty styropianowe samogasnące odm. 15, gr.5 cm	Płyty styropianowe samogasnące odm. 20, gr.4 cm	Płyty z wełny mineralnej, gr. 18 cm	Pręty gładkie, śr. Do 7 mm	Pręty żebrowe, śr. 8-14 mm	Pręty żebrowe o śr. ponad 16 mm	Pustaki stropowe z betonu lekkiego TERIVA I
	Jednostka funkcjonalna							
	m^2	m^2	m^2	m^2	kg	kg	kg	kg
Związki kancerogenne	0,00328	6,89E-4	7,35E-4	0,0621	0,00167	0,00167	0,00167	4,01E-4
Związki organiczne	6,68E-5	9,25E-5	9,87E-5	7,79E-4	3,19E-5	3,19E-5	3,19E-5	3,47E-5
Związki nieorganiczne	0,0553	0,026	0,0277	0,188	0,0204	0,0204	0,0204	0,0327
Zmiany klimatu	0,0256	0,00826	0,00881	0,086	0,00479	0,00479	0,00479	0,0014
Radiacja	6,65E-4	X	X	0,00187	X	X	X	X
Dziura ozonowa	1,67E-5	X	X	1,54E-4	5,97E-7	5,97E-7	5,97E-7	4,21E-6
Ekotoksyczność	0,00211	1,18E-4	1,26E-4	0,0162	0,00419	0,00419	0,00419	2,63E-4
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,0115	0,00567	0,00605	0,0613	0,00423	0,00423	0,00423	0,00241
Użytkowanie ziemi	0,00757	X	X	0,0172	0,00794	0,00794	0,00794	0,00167
Minerały	3,73E-4	1,58E-5	1,68E-5	0,00117	0,00164	0,00164	0,00164	3,36E-6
Paliwa kopalne	0,306	0,185	0,197	0,56	0,0551	0,0551	0,0551	0,0121
Suma [Pt]	**0,413**	**0,226**	**0,241**	**0,995**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,0509**
ŹRÓDŁO DANYCH	ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU	ETH-ESU	ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU
REPREZENTATYWNOŚĆ	-	-	-	-	-	-	-	1 zakład w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.7. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego
Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Roztwór asfaltowy do gruntowania	Sucha mieszanka tynkarska mineralna	Sucha zaprawa samopoziom.	Wkręty do płyt gipsowych	Zaprawa cementowa M15	Zaprawa cementowa M50	Zaprawa cementowa M80	Zaprawa cementowo-wapienna M30
	Jednostka funkcjonalna							
	kg	kg	kg	kg	m^3	m^3	m^3	m^3
Związki kancerogenne	0,0114	8,49E-5	1,58E-4	0,00257	0,0288	0,0309	0,0315	0,0286
Związki organiczne	2,41E-4	4,08E-6	2,09E-5	3,94E-5	0,00602	0,00788	0,00929	0,00556
Związki nieorganiczne	0,0347	0,00139	0,00319	0,0277	2,64	3,37	4,08	2,12
Zmiany klimatu	0,0122	6,49E-4	0,00146	0,00546	1,0	1,39	1,72	0,787
Radiacja	2,84E-5	3,06E-7	2,33E-6	X	X	X	X	1,29E-4
Dziura ozonowa	1,03E4	9,79E-7	8,31E-6	2,8E-6	3,44E-4	4,47E-4	5,06E-4	3,88E-4
Ekotoksyczność	0,00692	5,26E-5	1,5E-4	0,00475	0,014	0,0234	0,0247	0,022
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,00615	3,44E-4	7,66E-4	0,00461	0,723	0,914	1,1	0,583
Użytkowanie ziemi	0,00323	0,0029	0,00229	0,00774	0,191	6,22	5,89	5,69
Minerały	1,73E-4	2,32E-6	7,58E-6	0,0016	2,82E-4	2,34E-4	2,22E-4	3,07
Paliwa kopalne	0,181	0,0021	0,0116	0,0607	1,69	2,06	2,31	1,6
Suma [Pt]	**0,256**	**0,0753**	**0,0197**	**0,11**	**6,29**	**14,00**	**15,2**	**10,8**
ŹRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU
REPREZENTATYWNOŚĆ	1 zakład w Polsce	4 zakład w Polsce	4 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-	-	-	-
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ								

Tablica II.8. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego
Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Zaprawa cementowo-wapienna M15	Zaprawa cementowo-wapienna M50	Zaprawa spoinująca	Zaprawa wapienna M4	Farba do gruntowania	Farba emulsyjna	Rury C.O. Ø 12 mm	Zaprawa do bet. kom.
	Jednostka funkcjonalna							
	m^3	m^3	kg	m^3	kg	kg	mb	kg
Związki kancerogenne	0,0279	0,0301	0,00338	0,0241	0,0163	0,0137	0,00566	0,00132
Związki organiczne	0,0048	0,00716	2,44E-5	0,00283	6,61E-5	4,72E-5	2,79E-5	1,52E-5
Związki nieorganiczne	1,69	2,92	0,0136	0,686	0,0296	0,0224	0,0311	0,00722
Zmiany klimatu	0,575	1,16	0,00685	0,117	0,00988	0,00726	0,00423	0,00321
Radiacja	1,73E-4	9,91E-5	X	5,49E-4	6,16E-4	6,17E-4	2,88E-4	1,34E-7
Dziura ozonowa	3,73E-4	4,51E-4	2,22E-6	3,26E-4	2,97E-5	2,42E-5	1,35E-5	2,75E-6
Ekotoksyczność	0,0217	0,0236	0,00686	0,0214	0,0542	0,0529	0,0104	7,32E-4
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,469	0,795	0,00349	0,201	0,00414	0,00288	0,00348	0,00158
Użytkowanie ziemi	5,51	5,7	0,00325	3,92	0,00497	0,00428	0,00252	0,0025
Minerały	3,32E-4	2,86E-4	4,13E-5	5,43E-4	0,0156	0,0156	0,234	1,41E-5
Paliwa kopalne	1,46	1,91	0,0363	1,01	0,0721	0,0526	0,0348	0,0109
Suma [Pt]	**9,76**	**12,5**	**0,0738**	**5,99**	**0,208**	**0,172**	**0,327**	**0,0275**
ŹRÓDŁO DANYCH	Literatura, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU, BUWAL 250	Literatura, ETH-ESU, BUWAL 250	Dane producenta, ETH-ESU
REPREZENTATYWNOŚĆ	-	-	1 zakład w Polsce	-	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-	1 zakład w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ							Uwzględ. tylko przewody C.O.	Nie uwzględniono środków czystości

Tablica II.9. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Instalacja gazowa ½"	Ościeżnice drzwiowe stalowe FD-1	Parapety uniwersalne ze spienionego PVC	Parkiet mozaikowy - buk	Płyta gipsowo-kartonowa wodoodporna 12,5 mm	Płyta gipsowo-kartonowa zwykła 12,5 mm	Instalacja wodociągowa – PP „16"	Instalacja kanalizacyjna PP „32"
	Jednostka funkcjonalna							
	mb	kg	mb	m²	m²	m²	mb	mb
Związki kancerogenne	6,47E-4	0,00194	0,00839	0,00177	1,14E-4	0,00153	2,73E-5	5,15E-5
Związki organiczne	1,24E-5	3,23E-5	3,11E-4	3,42E-4	6,65E-5	3,26E-5	3,98E-5	7,52E-5
Związki nieorganiczne	0,00792	0,0202	0,0968	0,0571	0,0212	0,0134	0,0102	0,0192
Zmiany klimatu	0,00186	0,00452	0,0225	0,014	0,0053	0,00199	0,00184	0,00348
Radiacja	X	3,08E-5	X	X	4,84E-6	4,66E-6	X	X
Dziura ozonowa	2,32E-7	1,3E-6	3,46E-7	1,08E-6	1,48E-6	6,38E-6	X	X
Ekotoksyczność	0,00163	0,00667	6,0E-4	0,0165	2,29E-4	5,86E-4	3,86E-5	7,28E-5
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,00164	0,00413	0,0152	0,0124	0,00399	0,00295	0,0018	0,00339
Użytkowanie ziemi	0,00308	0,00762	3,64E-4	2,23	0,00315	0,00255	1,45E-9	2,73E-9
Minerały	6,34E-4	0,00237	1,43E-5	2,41E-5	5,2E-6	5,05E-6	4,22E-6	7,95E-6
Paliwa kopalne	0,0214	0,0537	0,3	0,11	0,0264	0,0171	0,0284	0,0535
Suma [Pt]	**0,0388**	**0,101**	**0,444**	**2,45**	**0,0604**	**0,0401**	**0,0423**	**0,0798**
ŹRÓDŁO DANYCH	Literatura, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU
REPREZENTATYWNOŚĆ	-	1 zakład w Polsce	2 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ	Uwzględ. tylko przewody gazowe						Uwzględ. przewod. i kształtki wod.	Uwzględ. przewod. i kształtki kanaliz.

Tablica II.10. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Profil C75	Profil U75	Przewód instalacji elektrycznej wtynkowej	Pustaki spalinowe ceramiczne typ P	Przewody PVC kanalizacyjne „110”	Rury spustowe systemu rynnowego 110 mm	Rynny dachowe 150 mm	Siatka Rabitza
	Jednostka funkcjonalna							
	mb	mb	mb	kg	mb	mb	mb	m^2
Związki kancerogenne	0,0146	0,0143	2,64E-5	0,0206	0,00121	9,09E-4	9,46E-5	0,00471
Związki organiczne	3,1E-5	3,92E-5	5,08E-5	1,59E-4	1,41E-4	1,38E-4	4,64E-4	2,02E-5
Związki nieorganiczne	0,0122	0,0153	0,156	2,16E-6	0,088	0,0593	0,037	0,0136
Zmiany klimatu	0,00706	0,00784	0,00684	0,00212	0,0159	0,0129	0,00884	0,0115
Radiacja	1,8E-4	1,55E-4	X	0,00101	X	X	X	X
Dziura ozonowa	8,87E-6	1,12E-5	1,43E-9	X	X	X	X	3,32E-6
Ekotoksyczność	0,0151	0,0139	3,82E-5	3,27E-7	3,4E-4	2,12E-4	8,67E-5	0,0407
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,00199	0,00256	0,0174	8,78E-5	0,0157	0,0113	0,00711	0,00302
Użytkowanie ziemi	0,00249	0,00265	0,0185	4,74E-4	2,03E-8	1,59E-8	0,00278	0,00396
Minerały	0,00185	0,00161	0,252	0,00733	1,99E-5	1,38E-5	8,11E-6	0,00171
Paliwa kopalne	0,0592	0,064	0,0662	1,71E-6	0,28	0,181	0,096	0,0563
Suma [Pt]	**0,115**	**0,122**	**0,517**	**0,00941**	**0,402**	**0,266**	**0,152**	**0,136**
ŻRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Literatura, ETH-ESU
REPREZENTATYWNOŚĆ	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	-
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ					Uwzględ. przewod. i kształtki wod.			

Tablica II.11. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Siatka z włókna szklanego	Skrzydło drzwiowe wewnątrzlokal.	Skrzydło drzwiowe zewnętrzne	Bloczki betonu komórkowego o gr. warstwy 7,5 cm	Bloczki betonu komórkowego o gr. warstwy 24 cm	Schody żelbetowe	Płyty styropianowe FS 15, gr. 10 cm - alternatywnie	Kołki mocujące styropian - alternatywnie
	Jednostka funkcjonalna							
	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	kg
Związki kancerogenne	3,65E-5	0,00264	0,0292	0,0912	0,292	0,0541	9,19E-4	0,00142
Związki organiczne	1,72E-7	1,73E-4	0,008	7,82E-4	0,0025	0,00199	1,23E-4	1,2E-4
Związki nieorganiczne	0,00128	0,0398	0,101	0,327	1,05	1,06	0,0346	0,0247
Zmiany klimatu	3,02E-4	0,0122	0,0331	0,132	0,423	0,423	0,011	0,00493
Radiacja	X	8,6E-7	1,15E-6	1,88E-5	6,02E-5	6,35E-4	X	X
Dziura ozonowa	1,65E-8	4,36E-5	6,61E-5	1,9E-4	6,07E-4	1,2E-4	X	6,09E-7
Ekotoksyczność	4,01E-4	0,0393	0,0203	0,0505	0,162	0,062	1,57E-4	0,00304
Zakwaszenie/Eutrofizacja	2,87E-4	0,007	0,0188	0,0646	0,207	0,264	0,00756	0,00506
Użytkowanie ziemi	1,4E-4	1,29	1,74	0,0979	0,313	9,73	X	0,00576
Minerały	4,87E-7	3,59E-4	0,0023	0,004	0,0128	0,0159	2,1E-5	0,00116
Paliwa kopalne	0,00359	0,115	0,287	0,703	2,25	1,6	0,246	0,107
Suma [Pt]	**0,006**	**1,51**	**2,24**	**1,47**	**4,71**	**13,2**	**0,301**	**0,153**
ŻRÓDŁO DANYCH	Literatura, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, BUWAL 250	Dane producenta, BUWAL 250	Literatura, ETH-ESU, BUWAL 250	ETH-ESU, BUWAL 250	Literatura, ETH-ESU, BUWAL 250
REPREZENTATYWNOŚĆ	-	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	3 zakłady w Polsce	3 zakłady w Polsce	-	-	-
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu
KOMENTARZ		Nie uwzględniono konserwacji	Nie uwzględniono konserwacji		Nie uwzględniono środków czystości	Nie uwzględniono środków czystości		

Tablica II.12. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Obciążenia środowiska [Pt]							
	Ekofiber alternatywnie	Wełna mineralna „120", gr. 10 cm, - alternatywnie	Pustak ceramiczny MAX, gr.29 cm - alternatywnie					
	Jednostka funkcjonalna							
	m^2	m^2	m^2					
Związki kancerogenne	0,0024	0,0517	0,316					
Związki organiczne	-5,83E-4	6,48E-4	0,0025					
Związki nieorganiczne	-0,0575	0,157	1,24					
Zmiany klimatu	-0,0238	0,0716	0,51					
Radiacja	X	0,00156	X					
Dziura ozonowa	4,96E-6	1,28E-4	6,53E-4					
Ekotoksyczność	0,00132	0,0135	0,174					
Zakwaszenie/Eutrofizacja	-0,00973	0,0511	0,243					
Użytkowanie ziemi	6,48E-4	0,0143	1,76					
Minerały	2,53E-5	9,73E-4	0,00334					
Paliwa kopalne	-0,00975	0,467	4,23					
Suma [Pt]	**-0,097**	**0,829**	**8,49**					
ŻRÓDŁO DANYCH	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU	Dane producenta, ETH-ESU					
REPREZENTATYWNOŚĆ	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce	1 zakład w Polsce					
GRANICE	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu	Od pozyskania surowców do fazy gotowego wyrobu					
KOMENTARZ								

Tablica II.13. Wskaźniki skumulowanych obciążeń środowiska poszczególnych kategorii dotyczące wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Z A Ł Ą C Z N I K 3

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Bloczki betonu komórkowego „500"	Blacha stalowa płaska gr. 0,5 mm, pow. poliester	Beton zwykły B-7,5	Beton zwykły B-15	Beton zwykły B-20	Belki stropowe prefabrykowane żelbetowe TERIVA	Belki iglaste nasycone kl. II	Bale 70 mm, kl. III	Cegła budowlana pełna	Cegła dziurawka
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	31,8	0,0409	0,3	0,873	3,44	1,13	0,0147	7,16E-4	0,00534	0,0234
Związki organiczne	0,272	9,73E-4	0,0268	0,0871	0,361	0,0175	2,76E-4	2,9E-5	0,0083	0,00105
Związki nieorganiczne	114	0,564	14,4	47,9	200	62,7	0,0627	0,00327	13,7	1,52
Zmiany klimatu	46,1	0,126	6,12	21	88,7	2,69	0,0211	9,2E-4	6,9	0,76
Radiacja	0,00656	X	X	X	X	X	0,00167	8,22E-7	X	X
Dziura ozonowa	0,0661	1,45E-5	5,06E-4	0,00148	0,00584	0,00138	1,05E-4	7,98E-6	1,38E-6	4,73E-5
Ekotoksyczność	17,6	0,115	0,142	0,415	1,63	1,67	0,00961	4,13E-4	0,00445	0,0131
Zakwaszenie/Eutrofizacja	22,5	0,118	3,88	12,8	53,6	2,19	0,0103	7,23E-4	3,23	0,356
Użytkowanie ziemi	34,1	0,213	84	247	972	20,4	7,06	1,23	59	6,31
Minerały	1,39	0,045	0,00366	0,0106	0,0419	0,525	8,71E-4	8,95E-6	3,09E-4	2,74E-4
Paliwa kopalne	245	1,52	12,1	36,8	148	27,4	0,22	0,0184	66,7	7,29
Suma [Pt]	**513**	**2,74**	**121**	**367**	**1470**	**119**	**7,4**	**1,25**	**149**	**16,3**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	31,36 m^3	5,61 m^2	5,55 m^3	16,24m^3	64,95 m^3	178 m	0,08 m^3	0,013 m^3	2313 szt.	346 szt.
KOMENTARZ			Uwzględniono mieszanie betonu	Uwzględniono mieszanie betonu	Uwzględniono mieszanie betonu					

Tablica III.1. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Dachówka ceramiczna	Dachówka ceramiczna szczytowa	Śruby, podkładki, nakrętki	Deski iglaste obrzyn. 38 mm, kl. III	Deski iglaste obrzyn. 19-25 mm, kl. III	Deski iglaste obrzyn. 25 mm, kl. III	Grzejniki C.O.	Deski iglaste obrzynane 28-45 mm, kl. III	Drewno okrągłe na stemple budowlane	Drewno opałowe
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	2,72	0,0528	1,17	0,0107	0,185	0,0329	6,09	0,043	0,0135	0,0871
Związki organiczne	0,03	4,81E-4	0,0026	4,11E-4	0,00595	6,95E-4	0,0128	0,00165	5,48E-4	0,00353
Związki nieorganiczne	24,7	0,312	1,05	0,0476	0,758	0,115	5,15	0,191	0,0617	0,398
Zmiany klimatu	11,4	0,138	0,571	0,0136	0,224	0,0367	2,84	0,0544	0,0174	0,112
Radiacja	X	X	0,0149	1,15E-5	1,59E-4	1,58E-5	0,083	4,61E-5	1,55E-5	1,0E-4
Dziura ozonowa	0,0056	1,09E-4	7,79-4	1,13E-4	0,00164	1,93E-4	0,00392	4,53E-4	1,51E-4	9,7E-4
Ekotoksyczność	1,5	0,0292	1,14	0,00617	0,105	0,0185	6,3	0,0247	0,00779	0,0502
Zakwaszenie/Eutrofizacja	5,39	0,0651	0,159	0,0105	0,162	0,0231	0,762	0,0419	0,0137	0,088
Użytkowanie ziemi	75,5	0,742	0,183	17,2	238	23,7	0,887	69	23,2	150
Minerały	0,029	5,6E-4	0,201	1,33E-4	0,00222	3,74E-4	1,16	5,32E-4	1,69E-4	0,00109
Paliwa kopalne	105	1,21	4,81	0,262	3,9	0,495	24,2	1,05	0,347	2,23
Suma [Pt]	**226**	**2,55**	**9,3**	**17,6**	**243**	**24,4**	**47,5**	**70,4**	**23,7**	**153**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	3423 szt.	34 szt.	58,63 kg	0,183 m^3	2,52 m^3	0,248 m^3	10x"22" 2x"33" wys. 450 mm	0,762 m^3	0,25 m^3	877 kg
KOMENTARZ										

Tablica III.2. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Dwuteownik walcowany	Folia do pokrycia dachowego	Folia polietylenowa izolacyjna gr. 0,3 mm	Gąsiory półokrągłe	Gips budowlany szpachlowy	Drut stalowy okrągły	Gwoździe budowlane okrągłe	Gwoździe stolarskie	Kątowniki równoramienne na progi drzwiowe	Krawędziaki iglaste wymiarowe
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	1,46	14,9	0,036	3,33E-4	0,0242	0,847	0,32	7,0E-4	0,195	0,7
Związki organiczne	0,0256	0,0734	0,012	5,18E-4	0,00121	0,00172	0,00507	1,24E-5	5,43E-4	0,0236
Związki nieorganiczne	16	56,4	0,297	0,853	0,359	0,674	2,94	0,00739	1,19	2,93
Zmiany klimatu	3,82	17,9	0,44	0,43	0,201	0,401	0,703	0,00172	0,406	0,857
Radiacja	X	X	X	X	0,00284	0,0107	X	X	X	6,37E-4
Dziura ozonowa	8,61E-4	0,009	4,47E-5	8,63E-8	4,02E-4	4,92E-4	3,32E-4	5,72E-7	7,04E-5	0,00648
Ekotoksyczność	3,29	7,83	0,0143	2,78E-4	0,0206	0,886	0,618	0,00156	0,0385	0,4
Zakwaszenie/Eutrofizacja	3,3	9,86	0,065	0,201	0,0744	0,109	0,601	0,00152	0,147	0,63
Użytkowanie ziemi	6,07	X	0,0469	3,68	0,0971	0,14	1,02	0,00266	0,326	954
Minerały	1,24	1,03	0,00418	1,92E-5	0,00203	0,109	0,211	5,58E-4	0,854	0,00847
Paliwa kopalne	43,2	189	9,75	4,16	0,958	3,36	7,89	0,0198	2,51	15,3
Suma [Pt]	**78,4**	**297**	**10,7**	**9,32**	**1,74**	**6,54**	**14,3**	**0,0359**	**5,66**	**974**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	757,48 kg	283,8 m^2	449,2 m^2	127 szt.	201 kg	50,3 kg	132,2 kg	0,35 kg	8,95 kg	10,08 m^3
KOMENTARZ					Nie uwzględniano opakowań					

Tablica III.3. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Kształtki U z betonu komórkowego 60X25x36,5	Lakier do drewna	Łaty iglaste 50x45 mm	Łaty iglaste 75x22 mm	Lepik asfaltowy na gorąco	Lepik asfaltowy na zimno	Listwy iglaste	Listwy przyścienne z drzewa liściastego	Masa asfaltowa	Nadproża prefabrykowane YN/24
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	0,227	X	0,243	0,0547	0,439	0,13	0,0518	0,018	0,016	0,434
Związki organiczne	0,00452	0,735	0,00453	0,00127	0,0846	0,0251	0,00158	0,00256	0,00307	0,00715
Związki nieorganiczne	2,05	X	0,812	0,197	3,16	0,936	0,207	0,42	0,115	4,08
Zmiany klimatu	0,569	X	0,266	0,0621	0,856	0,254	0,062	0,11	0,0311	1,12
Radiacja	5,4E-5	X	9,61E-5	3,03E-5	0,0145	0,00429	4,14E-4	X	5,27E-4	1,06E-4
Dziura ozonowa	4,17E-4	X	0,00126	3,53E-4	0,0416	0,0123	4,34E-4	1,24E-5	0,00151	5,24E-4
Ekotoksyczność	0,321	X	0,136	0,0308	0,562	0,167	0,0295	0,119	0,0204	0,758
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,446	X	0,161	0,0402	0,565	0,168	0,044	0,0908	0,0206	0,855
Użytkowanie ziemi	0,685	X	144	45,4	0,226	0,0669	61,9	16,9	0,0082	1,62
Minerały	0,101	X	0,00272	6,29E-4	0,0314	0,00931	6,17E-4	2,4E-4	0,00114	0,265
Paliwa kopalne	5,13	X	3,33	0,887	52,6	15,6	1,04	0,865	1,91	9,85
Suma [Pt]	**9,54**	**0,735**	**149**	**46,7**	**58,6**	**17,3**	**63,4**	**18,6**	**2,13**	**19**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	5,4 mb	52,2 dm^3	1,53 m^3	0,48 m^3	408,5 kg	382,3 kg	0,654 m^3	0,05 m^3	14,85 kg	6 szt
KOMENTARZ		Nie uwzględniano opakowań				Nie uwzględniano opakowań			Nie uwzględniano opakowań	YN-130/24

Tablica III.4. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Nadproża prefabrykowane YN/36.5	Okna fabrycznie wykończone – kształty	Okna i drzwi balkonowe fabrycznie wykończone	Papa asfaltowa na tekturze - izolacyjna	Piasek = piasek do zaprawy	Płyta z wełny mineralnej półtwarda „80", gr. 6 cm	Płytki chodnikowe betonowe 35x35x5	Płytki GRES o wym. 30x30x1	Płytki klinkierowe	Płyty styropianowe samogasnące odm. 15, gr.5 cm
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	1,23	0,711	2,66	2,89	1,01	0,577	0,137	0,239	0,104	0,0325
Związki organiczne	0,0194	0,0775	0,293	0,332	0,0393	0,00723	0,0037	0,00486	0,00211	0,00436
Związki nieorganiczne	10,8	5,76	21,7	19,4	14,2	1,75	80,4	4,04	1,75	1,22
Zmiany klimatu	3,07	1,63	6,14	7,25	3,59	0,799	0,901	1,86	0,807	0,389
Radiacja	3,35E-4	0,00448	0,0169	0,0528	X	0,0174	X	0,0486	0,021	X
Dziura ozonowa	0,00166	0,00168	0,00628	0,156	0,00208	0,00143	1,82E-4	0,00122	5,29	X
Ekotoksyczność	1,94	0,375	1,4	3,51	0,56	0,151	0,0302	0,154	0,0668	0,00555
Zakwaszenie/Eutrofizacja	2,26	1,16	4,35	3,48	4,02	0,57	0,705	0,842	0,363	0,267
Użytkowanie ziemi	4,3	0,279	1,04	0,823	308	0,159	5,12	0,553	0,239	X
Minerały	0,66	0,14	0,528	0,205	0,0116	0,0109	0,00185	0,0272	0,0118	7,43E-4
Paliwa kopalne	25,4	23,6	89,1	239	29,9	5,21	7,73	22,4	9,67	8,7
Suma [Pt]	**49,7**	**33,8**	**127**	**277**	**361**	**9,25**	**95**	**30,2**	**13**	**10,6**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	12 szt.	5,28 m^2	19,93 m^2	454,4 m^2	53,5 m^3	27,89 m^2	35 m^2	82,76 m^2	31,59 m^2	2,36 m^3
KOMENTARZ	YN-130/36.5					Nie uwzględniano opakowań				

Tablica III.5. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Płyty styropianowe samogasnące odm. 20, gr.4	Płyty z wełny mineralnej, gr. 18 cm	Pręty gładkie, śr. do 7 mm	Pręty żebrowe, śr. 8-14 mm	Pręty żebrowe o śr. ponad 16 mm	Pustaki stropowe z betonu lekkiego TERIVA I	Roztwór asfaltowy do gruntowania	Sucha mieszanka tynkarska mineralna	Sucha zaprawa samopoziomująca	Wkręty stalowe
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	0,296	9,86	0,311	1,31	0,201	0,558	0,416	0,055	0,235	0,0405
Związki organiczne	0,0397	0,124	0,00595	0,0251	0,00384	0,013	0,0753	0,00274	0,031	5,29E-4
Związki nieorganiczne	11,1	29,9	3,8	16	2,46	297	2,88	0,932	4,75	0,288
Zmiany klimatu	3,55	13,7	0,892	3,76	0,576	3,35	0,787	0,436	2,18	0,0734
Radiacja	X	0,297	X	X	X	X	0,0129	2,06E-4	0,00347	X
Dziura ozonowa	X	0,0244	1,11E-4	4,7E-4	7,19E-5	6,57E-4	0,037	6,56E-4	0,0124	5,54E-5
Ekotoksyczność	0,0505	2,57	0,782	3,3	0,505	0,137	0,514	0,0343	0,223	0,0603
Zakwaszenie/Eutrofizacja	2,44	9,74	0,789	3,33	0,509	2,56	0,515	0,231	1,14	0,0579
Użytkowanie ziemi	X	2,73	1,48	6,24	0,956	19	0,207	1,96	3,42	0,091
Minerały	0,00677	0,185	0,305	1,29	0,197	0,00738	0,0282	0,00154	0,0113	0,0183
Paliwa kopalne	79,3	89	10,3	43,3	6,63	28,7	47	1,4	17,3	0,774
Suma [Pt]	**96,8**	**158**	**18,6**	**78,6**	**12**	**351**	**52,4**	**5,05**	**29,3**	**1,4**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	16,1 m^3	158,92 m^2	186,37 kg	786,42 kg	120,36 kg	716,82 szt.	363 kg	675,4 kg	1493,4 kg	11,36 kg
KOMENTARZ	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań					Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań

Tablica III.6. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Zaprawa cementowa M15	Zaprawa cementowa M50	Zaprawa cementowa M80	Zaprawa cementowo-wapienna M30	Zaprawa cementowo-wapienna M15	Zaprawa cementowo-wapienna M50	Zaprawa spoinująca	Zaprawa wapienna M4	Farba do gruntowania	Farba emulsyjna
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	0,214	0,0182	0,0024	3,89E-4	0,236	0,0524	2,3	0,0308	2,23	1,92
Związki organiczne	0,0331	0,0048	7,4E-4	1,03E-4	0,0264	0,011	0,109	0,00143	0,0078	0,00664
Związki nieorganiczne	21,4	1,67	0,271	0,0288	14,1	5,48	6,31E-4	0,436	3,68	3,15
Zmiany klimatu	9,9	0,578	0,0987	0,00728	6,48	2,48	0,407	0,107	1,2	1,02
Radiacja	X	X	X	8,04E-7	0,00201	2,01E-4	0,217	9,37E-4	0,0993	0,0867
Dziura ozonowa	1,06E-4	3,75E-4	5,47E-5	1E-5	7,68E-4	4,27E-4	X	1,69E-4	0,00396	0,00341
Ekotoksyczność	0,0429	0,0156	0,00214	3,72E-4	0,148	0,0356	5,36E-5	0,0248	8,52	7,43
Zakwaszenie/Eutrofizacja	5,69	0,466	0,0748	0,0083	3,73	1,46	0,221	0,121	0,476	0,404
Użytkowanie ziemi	2,03	2,71	0,312	0,0395	65,6	12,9	0,103	6,63	0,696	0,601
Minerały	0,003	1,02E-4	1,17E-5	2,06E-6	0,00391	6,3E-4	0,105	9,24E-4	2,52	2,19
Paliwa kopalne	10,4	1,25	0,183	0,0268	9,75	3,07	0,00133	0,891	8,67	7,39
Suma [Pt]	**49,8**	**6,72**	**0,944**	**0,112**	**100**	**25,5**	**1,13**	**8,25**	**28,1**	**24,2**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	10,66 m^3	0,38 m^3	0,053 m^3	0,007 m^3	11,915 m^3	2,26 m^3	32,4 kg	1,691 m^3	179,2 dm^3	156,13 dm^3
KOMENTARZ	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań

Tablica III.7. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Instalacja C.O.	Zlew dwu komorowy	Instalacja gazowa	Ościeżnice drzwiowe stalowe FD-1	Parapety uniwersalne ze spienionego PVC	Parkiet mozaikowy - buk	Płyta gipsowo-kartonowa wodoodporna 12,5 mm	Płyta gipsowo-kartonowa zwykła 12,5 mm	Instalacja wodociągowa – PP - rury	Instalacja wodociągowa – PP - kształtki
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	0,283	0,14	0,0227	0,064	0,181	0,273	0,0225	0,0242	0,00138	9,23E-4
Związki organiczne	0,0139	3,09E-4	4,34E-4	0,00145	0,00673	0,0526	0,0131	5,18E-4	0,00201	0,00135
Związki nieorganiczne	1,56	0,148	0,277	0,923	2,09	8,76	4,17	0,212	0,514	0,345
Zmiany klimatu	0,211	0,0833	0,0651	0,202	0,486	2,15	1,04	0,0316	0,093	0,0624
Radiacja	0,0144	0,00183	X	1,85E-4	X	X	9,55E-4	7,4E-5	X	X
Dziura ozonowa	6,73E-4	8,76E-5	8,13E-6	1,1E-5	7,47E-6	1,65E-4	2,92E-4	1,01E-4	X	X
Ekotoksyczność	0,518	0,138	0,057	0,209	0,013	2,54	0,0452	0,00931	0,00195	0,00131
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,174	0,0236	0,0575	0,192	0,329	1,9	0,785	0,0469	0,0907	0,0608
Użytkowanie ziemi	0,126	0,0256	0,108	0,356	0,00786	343	0,622	0,0405	7,31E-8	4,9E-8
Minerały	11,7	0,0516	0,022	0,0808	3,1E-4	0,0037	0,00103	8,02E-5	2,13E-4	1,43E-4
Paliwa kopalne	1,74	0,696	0,749	2,46	6,48	16,8	5,2	0,271	1,43	0,96
Suma [Pt]	**16,3**	**1,31**	**1,36**	**4,49**	**9,6**	**376**	**11,9**	**0,637**	**2,13**	**1,43**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	Ø 10 – 12m Ø 12 – 21m Ø15 – 10m	1 szt.	Ø1/2″–11m Ø3/4″–5m Ø1″–7m	8 szt.	28 mb	153,62 m²	153,62 m²	15,93 m²	R″16″-33m R″20″-10	Kolanka, trójniki, mufy
KOMENTARZ		Nie uwzględniano opakowań			Nie uwzględniano opakowań	Nie uwzględniano opakowań				

Tablica III.8. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Instalacja kanalizacyjna PP - rury	Instalacja kanalizacyjna PP - kształtki	Przewody PVC kanalizacyjne	Instalacja kanalizacyjna PVC - kształtki	Profil C75	Profil U75	Przewód instalacji elektrycznej wtynkowej	Pustaki spalinowe ceramiczne typ P	Rury spustowe systemu rynnowego 110 mm	Rynny dachowe 150 mm
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	0,00103	3,36E-4	0,059	0,0057	0,81	0,254	0,00341	0,053	0,0172	0,00693
Związki organiczne	0,00151	4,9E-4	0,00403	6,64E-4	0,00171	5,21E-4	0,00574	7,51E-4	0,00261	0,034
Związki nieorganiczne	0,386	0,125	3,06	0,414	0,671	0,205	32,6	0,758	1,12	2,71
Zmiany klimatu	0,0697	0,0227	0,737	0,0746	0,389	0,121	1,37	0,363	0,244	0,647
Radiacja	X	X	X	X	0,01	0,00318	X	X	X	X
Dziura ozonowa	X	X	X	X	4,89E-4	1,49E-4	3,02E-7	1,09E-4	X	X
Ekotoksyczność	0,00146	4,75E-4	0,0122	0,0016	0,838	0,265	0,00724	0,0293	0,00401	0,00634
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,068	0,0221	0,589	0,0738	0,109	0,0334	3,58	0,17	0,213	0,521
Użytkowanie ziemi	5,48E-8	1,78E-8	X	9,56E-8	0,136	0,043	3,92	2,67	3,01E-7	0,204
Minerały	1,6E-4	5,19E-5	7,89E-4	9,33E-5	0,102	0,0326	53,3	5,7E-4	2,62E-4	5,93E-4
Paliwa kopalne	1,07	0,349	11,3	1,32	3,27	1,02	12,3	3,39	3,42	7,03
Suma [Pt]	**1,6**	**0,521**	**15,7**	**1,89**	**6,34**	**1,98**	**107**	**7,43**	**5,03**	**11,2**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	Rura „32”-20m	Kolanka, trójniki	„50”-5m „110”-15m „160”-15m	Kolanka, trójniki, czyszczak	55,5mb	20,58 mb	YDYt 3x1-50m; YDYt 2x1 –50m; YDYt 3x1.5- 50m	130 szt.	15 mb	60 mb
KOMENTARZ										

Tablica III.9. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Siatka Rabitza	Siatka z włókna szklanego	Skrzydło drzwiowe wewnątrzlokal.	Skrzydło drzwiowe zewnętrzne z ościeżnicą	Spłuczka ustępowa	Umywalka	Wanna łazienkowa	Deska sedesowa	Miska ustępowa	Zaprawa do bet. komórkowego
	Obciążenie środowiska związane z produkcją wszystkich materiałów i wyrobów wykorzystanych do budowy domku [Pt]									
Związki kancerogenne	0,0354	0,00642	0,0144	0,0584	9,41E-4	7,92E-6	0,0356	0,0167	1,87E-4	1,07
Związki organiczne	1,49E-4	3,03E-5	9,44E-4	0,016	9,27E-4	1,23E-5	0,00281	0,00206	9,9E-5	0,0123
Związki nieorganiczne	0,102	0,226	0,217	0,201	0,24	0,0203	0,31	0,177	0,108	5,85
Zmiany klimatu	0,0876	0,0532	0,0665	0,0661	0,0436	0,0102	0,0804	0,0217	0,0241	2,6
Radiacja	X	X	4,69E-6	2,3E-6	X	X	1,85E-4	7,7E-4	X	5,42E-6
Dziura ozonowa	2,39E-5	2,91E-6	2,38E-4	1,32E-4	1,9E-8	2,05E-9	2,65E-5	2,81E-4	5,41E-8	0,00222
Ekotoksyczność	0,312	0,0706	0,215	0,0405	0,0019	6,6E-6	0,076	0,0203	1,85E-4	0,591
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,0228	0,0506	0,0382	0,0375	0,0425	0,00478	0,0633	0,0432	0,028	1,28
Użytkowanie ziemi	0,0302	0,0247	7,03	3,47	0,00185	0,0874	0,12	0,00578	0,146	2,02
Minerały	0,0131	8,57E-5	0,00196	0,00459	4,94E-4	4,57E-7	0,0278	5,29E-4	5,34E-6	0,0113
Paliwa kopalne	0,426	0,632	0,629	0,574	0,667	0,0988	0,878	0,372	0,247	8,81
Suma [Pt]	**1,03**	**1,06**	**8,21**	**4,47**	**0,999**	**0,222**	**1,57**	**0,66**	**0,554**	**22,3**
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	7,6 m^2	176,1 m^2	8 szt.	1 szt.	2 szt.	3 szt.	1 szt.	2 szt.	2 szt.	810,4 kg
KOMENTARZ										

Tablica III.10. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne

Kategorie oddziaływania	Rodzaje materiałów i wyrobów budowlanych									
	Schody żelbetowe	Bloczki betonu komórkowego „600"								
Związki kancerogenne	0,203	20,7								
Związki organiczne	0,00752	0,177								
Związki nieorganiczne	4	74,2								
Zmiany klimatu	1,6	30,0								
Radiacja	0,00239	0,00427								
Dziura ozonowa	4,51E-4	0,043								
Ekotoksyczność	0,233	11,4								
Zakwaszenie/Eutrofizacja	0,997	14,6								
Użytkowanie ziemi	36,6	22,2								
Minerały	0,0595	0,906								
Paliwa kopalne	6,01	159								
Suma [Pt]	**49,7**	**334**								
RZECZYWISTA ILOŚĆ WYKORZYSTANYCH WYROBÓW BUDOWLANYCH	3,75m^2	20,33m^3								
KOMENTARZ										

Tablica III.11. Skumulowane obciążenie środowiska poszczególnych kategorii dotyczące rzeczywistych ilości wyrobów wykorzystanych do budowy domku jednorodzinnego. Źródło: Opracowanie własne