



Research & Innovation
Research Fund for Coal and Steel

LVS³

WALORYZACJA WŁAŚCIWOŚCI DLA ZRÓWNOWAŻONYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH

Założenia metodyczne



Luty 2014
Raport opracowany jako wynik projektu LVS3 finansowanego z Funduszu Badawczego
Węgla i Stali (RFCs) Komisji Europejskiej

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2013-2014
przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego

Background document

Although all care has been taken to ensure the integrity and quality of this publication and the information herein, no liability is assumed by the project partners and the publisher for any damage to property or persons as a result of the use of this publication and the information contained herein.

Reproduction for non-commercial purpose is authorised provided the source is acknowledged and notice is given to the project coordinator. Publicly available distribution of this publication through other sources than the web sites given below requires the prior permission of the project partners. Requests should be addressed to the project coordinator: ARCELORMITTAL BELVAL & DIFFERANGE S.A., Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.

The present document related to the dissemination project (RFS2-CT-2013-00016) LVS³ - Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures, which has been co-funded by the Research Fund for Coal and Steel (RFCS) of the European Community.

Helena Gervásio, Paulo Santos, Luís Simões da Silva, Olivier Vassart, Anne-Laure Hettinger and Valérie Huet

Dokument odniesień metodycznych

Pomimo, że zostały podjęte wszelkie starania w celu zapewnienia integralności i jakości niniejszej publikacji oraz zawartych w niej informacji, Autorzy nie ponoszą odpowiedzialności za jakiegokolwiek naruszenie mienia lub osób, w wyniku wykorzystania niniejszej publikacji i informacji zawartych w dokumencie.

Powielanie do celów niekomercyjnych jest dozwolone pod warunkiem podania źródła i poinformowania koordynatora projektu. Publiczna dystrybucja raportu z innych źródeł niż ze stron internetowych podanych niżej, wymaga zgody partnerów projektu. Wnioski należy kierować do koordynatora projektu ArcelorMittal Belval & DIFFERANGE SA, 66 Rue de Luxembourg, Esch-sur-Alzette, Luksemburg.

Niniejszy dokument dotyczy rozpowszechniania wiedzy o projekcie (RFS2-CT-2013-00016) LVS³ – Waloryzacja właściwości dla zrównoważonych konstrukcji stalowych, współfinansowanym z Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS) Wspólnoty Europejskiej.

Przygotowanie wersji krajowej w Instytucie Techniki Budowlanej

Michał Piasecki, Halina Prejzner, Dominik Bekierski

Tłumaczono w ITB, Polska

ISBN wersja krajowa 978-83-249-6760-5

Instytut Techniki Budowlanej

Dział Upowszechniania Wiedzy

02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel.: 22 843 35 19

fax: 22 56 64 282, e-mail: wydawnictwa@itb.pl, www.itb.pl

Spis treści

1	WPROWADZENIE.....	5
2	OCENA CYKLU ŻYCIA BUDYNKÓW	6
2.1	POJĘCIE CYKLU ŻYCIA.....	6
2.2	METODY I NARZĘDZIA SŁUŻĄCE DO OCENY ZRÓWNOWAŻONOŚCI BUDYNKU	7
2.3	RAMY NORMATYWNE DLA OCEN LCA	9
2.3.1	Zdefiniowanie celu i zakresu.....	9
2.3.2	Analiza zbioru danych wejściowych i wyjściowych w cyklu życia.....	11
2.3.3	Ocena oddziaływania w cyklu życia.....	11
2.3.4	Interpretacja cyklu życia	20
2.3.5	Przykład	21
2.4	NORMY EUROPEJSKIE DOTYCZĄCE OCENY CYKLU ŻYCIA BUDYNKÓW	22
2.4.1	CEN TC350	22
2.4.2	Ocena budynku (EN 15978)	23
2.4.3	Ocena wyrobu (EN 15804)	28
2.5	INNE NORMY I PRZEPISY (DLA FAZY UŻYTKOWANIA)	29
3	UPROSZCZONA METODA OCENY BUDYNKÓW	31
3.1	WPROWADZENIE	31
3.2	ALGORYTM OCENY CYKLU ŻYCIA BAZUJĄCY NA MAKROELEMENTACH	31
3.2.1	Etapy ogólne.....	32
3.2.2	Alokacja materiałów recyklingowanych	35
3.2.3	Charakterystyka makroelementów.....	39
3.2.4	Przykład zestawu makroelementów.....	40
3.3	ALGORYTM DO OBLICZEŃ ENERGETYCZNYCH W FAZIE UŻYTKOWANIA	44
3.3.1	Wprowadzenie	44
3.3.2	Lokalizacja budynku i klimat	45
3.3.3	Metoda obliczania zapotrzebowania na energię.....	49
3.3.4	Kalibracja algorytmu	73
4	WALIDACJA PRZYJĘTYCH METOD.....	83
4.1	WALIDACJA PODEJŚCIA MAKROKOMPONENTOWEGO	83
4.1.1	Opis budynku przykładowego.....	83
4.1.2	Wybór makrokomponentów	84
4.1.3	Zastosowanie podejścia makrokomponentowego	86
4.1.4	Porównanie ze szczegółową analizą LCA	87

4.2	WALIDACJA MODELU OBLICZANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ	88
4.2.1	Dane klimatyczne	88
4.2.2	Wykorzystanie budynku przez użytkowników	89
4.2.3	Obsługa budynku.....	89
4.2.4	Właściwości przeszkleń oraz urządzeń zacinających	89
4.2.5	Obudowa	90
4.2.6	Wyniki oceny właściwości energetycznych budynku	90
4.2.7	Porównanie z zaawansowaną metodą numeryczną.....	90
4.3	UWAGI KOŃCOWE.....	92
	BIBLIOGRAFIA.....	93
	Załącznik 1. BAZA DANYCH MAKROKOMPONENTÓW.....	97

1 WPROWADZENIE

Celem niniejszego dokumentu jest przedstawienie szczegółowych informacji na temat rozwoju i walidacji metodologii cyklu życia, w szczególności skupienie się na ocenie cyklu życia konstrukcji stalowych. Dokument został opracowany w ramach upowszechniania projektu **LVS³ Waloryzacja właściwości dla zrównoważonych konstrukcji stalowych** (RFS2-CT-2013-00016).

Niniejszy dokument koncentruje się na dwóch uzupełniających się metodologiach:

- (i) podejściu makroelementowym w cyklu życia budynków i/lub elementów budowlanych z wyłączeniem kwantyfikacji energii w fazie użytkowania budynku;
- (ii) podejściu skupiającym się na fazie użytkowania budynku i umożliwiającym kwantyfikację energii w fazie użytkowania budynków.

Oba podejścia zostały opracowane i zwalidowane w ramach europejskiego projektu RFCS *SB_Steel: Sustainability of Steel Buildings* (SB_Steel, 2014).

Przyjęte podejścia metodyczne zaimplementowano w dostępnych narzędziach programowych w ramach aktualnego projektu LSV³. Pierwszy model został wdrożony w kalkulatorze *LCA*, narzędziu opracowanym przez Uniwersytet w Coimbrze (Portugalia) wraz z aplikacjami ECCS dla iPada i iPhona oraz AMECO, narzędziu opracowanym przez ArcelorMittal i CTICM. Ten ostatni został wdrożony przez CTICM w AMECO.

Dokument podzielony jest na trzy główne części. Część pierwsza zawiera krótkie wprowadzenie do analizy cyklu życia (rozdział 2), po którym następuje prezentacja różnych podejść oceny zrównoważoności budynków oraz opis ogólnych ram analizy cyklu życia zgodnie z międzynarodowymi normami. Druga część dokumentu (rozdział 3) zawiera szczegółowy opis przyjętych rozwiązań dotyczących oceny cyklu życia oddziaływania na środowisko oraz oceny potrzeb energetycznych budynku podczas eksploatacji. W części trzeciej niniejszego dokumentu (rozdział 4) przedstawiono przykład, który zastosowano do sprawdzania poprawności przyjętych rozwiązań.

2 OCENA CYKLU ŻYCIA BUDYNKÓW

2.1 Pojęcie cyklu życia

Analiza cyklu życia (LCA) jest obiektywnym sposobem i narzędziem oceny oddziaływań środowiskowych związanych z procesami w cyklu życia oraz służy do oceny możliwości wpływania tych procesów na poprawę lub pogorszenie stanu środowiska. LCA identyfikuje i określa ilościowo zużycie materiałów, energii, wytworzenie odpadów, emisję do atmosfery i wód w całym cyklu życia produktu (tj. od wydobycia surowca do końca życia), jak pokazano na rysunku 2.1 (w odniesieniu do jednostki wyrobu zwanej jednostką deklarowaną lub funkcyjną).

Podejście oceny cyklu życia jest zalecane w dokumentach unijnych, np. w IPP (Integrated Product Policy) (COM (2003) 302), w celu oceny potencjalnego oddziaływania produktów.

Potencjalne oddziaływania na środowisko występują na wszystkich etapach cyklu życia budynku lub innej konstrukcji. Główną zaletą podejścia cyklu życia jest to, że unika się przesunięcia obciążeń z jednego etapu cyklu życia do drugiego, z jednego obszaru geograficznego do drugiego oraz od jednego elementu środowiska (na przykład jakości powietrza) do drugiego (na przykład wody lub ziemi) – UNEP, 2004.



Rys. 2.1. Podejście cyklu życia w budownictwie (credits to stalkretsloppet.se)

Ponadto podejście cyklu życia umożliwia dokonanie lepszych wyborów w dłuższej perspektywie. Oznacza to, że w całym łańcuchu cyklu życia produktu, od kopalni (tj. wydobycia surowców) do grobu (składowisko), wszyscy ponoszą wspólnie odpowiedzialność i mają swoją rolę we wszystkich istotnych skutkach dla środowis-

ka (UNEP, 2004). Przez kwantyfikację wszystkich emisji do powietrza, wody i ziemi, które miały miejsce w każdej fazie cyklu życia, podejście cyklu życia pozwala na zidentyfikowanie najbardziej krytycznych procesów w ciągu życia wyrobu lub elementu, zwiększając tym samym potencjał służący poprawie stanu środowiska naturalnego w całym łańcuchu produktu.

Ten rodzaj analiz ma jednakże pewne wady:

- ✓ LCA jest zazwyczaj czasochłonne i kosztowne, często wymaga specjalistycznej wiedzy;
- ✓ nie ma powszechnie przyjętej metodologii LCA dla wszystkich wyrobów;
- ✓ niektóre z założeń przyjętych w LCA mogą być subiektywne (np. określenie granic, źródło danych i wybór oceny oddziaływań);
- ✓ wyniki LCA mogą być gromadzone na szczeblu krajowym i regionalnym, a zatem mogą one nie być odpowiednie do aplikacji lokalnych;
- ✓ dokładność analizy LCA zależy od jakości i dostępności odpowiednich danych.

Podejście cyklu życia przyjęte w projekcie LVS³ nakierowane było na przezwyciężenie powyższych problemów, jak to opisano w następnym rozdziale. W rozdziale 2.2 krótko podsumowano różne metodologie i narzędzia oceny zrównoważoności budynku.

2.2 Metody i narzędzia służące do oceny zrównoważoności budynku

Budownictwo jest odpowiedzialne za znaczną część oddziaływań na środowisko w sektorze przemysłowym. W ostatnich latach nastąpił wzrost zainteresowania oceną środowiskową środowiska zabudowanego.

Istnieją dwie główne grupy narzędzi do oceny środowiska zabudowanego (Reijnders i Roekel, 1999):

- (i) narzędzia jakościowe oparte na punktach i kryteriach;
- (ii) narzędzia wykorzystujące ilościowe analizy i wejść i wyjść, bazujące na podejściu cyklu życia.

Do pierwszej grupy narzędzi należą systemy takie, jak LEED (USA), BREEAM (Wielka Brytania), GBTool (Międzynarodowa Inicjatywa na rzecz Zrównoważonego Budownictwa i iSBE) itp. Metody te, znane również jako systemy ratingowe, zazwyczaj oparte są na audycie budynków i na przypisaniu punktów do wcześniej zdefiniowanych parametrów. Są to głównie parametry jakościowe, niemniej niektóre parametry mogą być również ilościowe, a nawet wykorzystywać analizę cyklu życia (LCA) w kwantyfikacji istotnych zysków. Zazwyczaj systemy te są wykorzystywane w celu uzyskania tzw. certyfikatów zielonych budynków i oznakowania ekologicznego. Jednak tego rodzaju narzędzia nie wchodzą w zakres niniejszego dokumentu,

dlatego omawiane będą narzędzia z drugiej grupy, które oparte są na podejściu cyklu życia, tj. LCA.

LCA może być bezpośrednio stosowana w sektorze budowlanym. Jednakże, ze względu na jej cechy, pojawiają się dodatkowe problemy w stosowaniu standardowego cyklu życia do budynków i innych obiektów. Głównymi przyczynami tych problemów metodycznych mogą być (IEA, 2001):

- (i) oczekiwany czas życia budynków jest długi i nieznany, a zatem obciążony wysokim poziomem niepewności,
- (ii) budynki są zależne od umiejscowienia, a wiele oddziaływań jest lokalnych,
- (iii) wyroby budowlane są zazwyczaj wykonane z materiałów kompozytowych, co oznacza większą liczbę danych, które należy zebrać i więcej związanych z nimi procesów produkcyjnych,
- (iv) zużycie energii w fazie użytkowania budynku w dużym stopniu zależy od zachowania użytkowników i usług,
- (v) budynek jest wysoce wielofunkcyjny, co sprawia, że trudno jest dobrać odpowiednią jednostkę funkcjonalną,
- (vi) budynki są ściśle zintegrowane z innymi elementami środowiska budowlanego, w szczególności z infrastrukturą miejską (drogi, rurociągi, tereny zielone i oczyszczalnie), stąd przeprowadzenie analizy LCA izolowanego budynku może prowadzić do mylnych wniosków.

W odniesieniu do oceny cyklu życia budynków i ich elementów, rozróżnia się narzędzia LCA opracowane z myślą o ocenie materiałów i komponentów, np. BEES (Lippiatt, 2002) i LCA podejścia do oceny budynku jako całości (np. Athena 1997), Envest (Howard i in., 1999), EcoQuantum (Kortman i in., 1998). Te ostatnie są zwykle bardziej złożone, gdyż całkowite (ogólne) właściwości budynku zależą od interakcji pomiędzy poszczególnymi elementami i podsystemami, jak również od interakcji z mieszkańcami i środowiskiem naturalnym. Wybór odpowiedniego narzędzia zależy od konkretnych celów środowiskowych projektu.

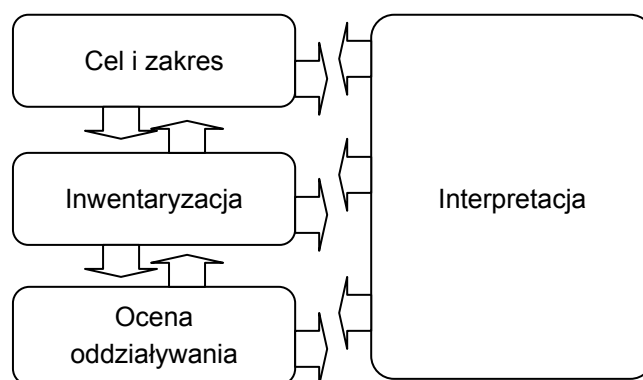
Precyzję i trafność wyboru narzędzi LCA, jako pomocy w projektowaniu, analizowano w projekcie opracowanym w ramach europejskiej sieci tematycznej PRESCO (praktyczne zalecenia dla Zrównoważonego Budownictwa) (KELLENBERGER, 2005). W projekcie porównywano kilka narzędzi LCA, bazując na studiach konkretnych przypadków, z globalnym celem harmonizacji narzędzi oceny budynków bazujących na LCA. Inne analizy porównawcze dotyczące narzędzi do oceny środowiskowej środowiska zabudowanego można znaleźć w Jönsson (2000) i Forsberg & von Malmberg (2004).

Jak już wspomniano, niniejszy dokument koncentruje się na LCA, w szczególności na jego zastosowaniu do analizy konstrukcji stalowych. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono normatywne ramy LCA. Na początku omówiono międzynarodowe

normy ISO 14040:2006 i ISO 14044:2006, ustanawiające ogólne zasady prowadzenia LCA, a następnie zaprezentowano nowe europejskie normy oceny zrównoważoności budynków.

2.3 Ramy normatywne dla ocen LCA

Normy międzynarodowe ISO 14040:2006 i 14044:2006 określają ogólne ramy, zasady i wymagania dotyczące prowadzenia i raportowania badań z oceny cyklu życia. Zakres norm obejmuje definicję celu i zakresu, metodę analizy danych, ocenę wpływu i interpretację wyników. Jak przedstawiono na rysunku 2.2, różne fazy oceny są ze sobą powiązane i czasami niezbędna jest procedura iteracyjna do realizacji celu badania. Poszczególne etapy zostały opisane w poniższych podrozdziałach.



Rys. 2.2. Ogólne zasady analizy LCA (ISO 14044:2006)

2.3.1 Zdefiniowanie celu i zakresu

Cel oceny LCA powinien wyraźnie wskazywać na: zamierzone jej wykorzystanie, powody przeprowadzenia oceny oraz grupę docelową, tj. dla kogo wyniki oceny są przeznaczone.

W zakresie analizy LCA głównymi kwestiami, które należy uwzględnić i jasno opisać, są jednostki funkcjonalne i granice systemu.

2.3.1.1 Funkcja i jednostka funkcjonalna

Zakres badania LCA powinien wyraźnie określać funkcje badanego systemu. Jednostka funkcjonalna jest miarą właściwości funkcjonalnych wyjść systemu wyrobu.

Głównym celem jednostki funkcjonalnej jest zapewnianie odniesienia, z którym są związane wejścia i wyjścia. To odniesienie jest niezbędne, aby zapewnić porównywalność wyników LCA. Porównywalność wyników nabiera szczególnego znacze-

nia wówczas, gdy oceniane są różne systemy w celu zapewnienia, że takie porównania zostały przeprowadzone na wspólnych podstawach (w praktyce może być to jednostka powierzchni budynku o określonej funkcji – np. szpital).

2.3.1.2 Granice sytemu

Granice systemu określają procesy jednostkowe, które powinny być włączone do LCA. W odniesieniu do danych ogólnych, LCA obejmuje wszystkie fazy od wydobywania surowców do końca życia, jak pokazano na rysunku 2.3.



Rys. 2.3. Ogólny schemat cyklu życia materiałów

W przypadku gdy LCA obejmuje tylko początkowe fazy produkcji wyrobu, wtedy analiza jest nazywana „od pozyskania surowców (kołyski) do bramy (fabryki)”. Jeśli obejmuje pełny cykl (od surowców do końca życia), wtedy ocena nazywana jest „od kołyski do grobu”. Gdy w fazie końca życia brany jest pod uwagę proces recyklingu i materiały wtórne nie zastępują materiałów pierwotnych, wtedy analiza jest często nazywana analizą „od kołyski do kołyski”.

Kilka czynników wpływa na granice analizowanego systemu, w tym zamierzone wykorzystanie oceny, przyjęte założenia, kryteria wykluczenia, dane dotyczące ograniczeń i grupa docelowa.

Wybór wejść i wyjść, poziom agregacji w ramach kategorii i modelowanie systemu powinny być realizowane w taki sposób, aby wejścia i wyjścia w jego graniach były przepływami elementarnymi.

2.3.1.3 Wymagania dotyczące jakości danych

W celu zrealizowania celu i zakresu analizy, w normie ISO 14044 zostały wskazane następujące wymagania:

- przedział czasowy: wiek danych oraz minimalna długość okresu, w którym powinny być gromadzone;
- zasięg geograficzny: obszar geograficzny, z którego powinny być gromadzone dane do procesów jednostkowych;
- zasięg technologii: specyficzna technologia lub mix technologiczny;
- precyzja: miara zmienności wartości danych dla każdej wyrażonej danej;
- kompletność: procent strumienia przepływu, który jest mierzony lub szacowany;

- reprezentatywność: jakościowa ocena stopnia w jakim zbiór danych odzwierciedla rzeczywistość;
- spójność: jakościowa ocena, czy badana metodologia jest jednolita;
- powtarzalność: jakościowa ocena stopnia powtarzalności informacji o metodologii i danych;
- wartości pozwalające niezależnemu praktykowi odtwarzać wyniki raportowane w badaniu;
- niepewność informacji (np. dane, modele i założenia).

2.3.2 Analiza zbioru danych wejściowych i wyjściowych w cyklu życia

Analiza zbioru danych polega na zbieraniu danych i procedur obliczeniowych w celu obliczenia odpowiednich strumieni wejść i wyjść do systemu wyrobu. Te wejścia i wyjścia mogą obejmować wykorzystanie surowców, emisje do powietrza, wody i gruntu, związane z systemem.

Jakościowe i ilościowe dane włączane do zbioru danych powinny być gromadzone dla każdego procesu jednostkowego, który został włączony w granice systemu.

Praktyczne ograniczenia dotyczące zbierania danych należy uwzględnić w zakresie oraz udokumentować w raporcie z badania.

2.3.3 Ocena oddziaływania w cyklu życia

2.3.3.1 Ogólne metody obliczeniowe

Etap oceny oddziaływania w cyklu życia ma na celu oszacowanie znaczenia potencjalnych oddziaływań środowiskowych za pomocą wyników analizy zbioru danych wejściowych i wyjściowych w cyklu życia. Ogólnie rzecz biorąc, proces ten obejmuje powiązanie zinwentaryzowanych danych ze specyficznymi oddziaływaniami środowiskowymi i jest realizowany w dwóch częściach;

- (i) elementy obowiązkowe, takie jak klasyfikacja i charakteryzacja;
- (ii) elementy opcjonalne, takie jak normalizacja, ranking, grupowanie i ważenie.

Klasyfikacja zakłada wcześniejszy wybór odpowiednich kategorii oddziaływania, zgodnie z celem badania oraz przypisanie wyników LCA wybranym kategoriom oddziaływania. Wykorzystuje się do tego charakterystyczne czynniki, reprezentujące względny stosunek wyniku LCA do parametru opisującego oddziaływanie środowiskowe. Według tej metody kategorie oddziaływania są liniowymi funkcjami, tj. charakterystyczne czynniki są niezależne od wielkości interwencji środowiskowej, jak podaje wyrażenie 2.1:

$$oddziaływanie_{kat} = \sum_i m_i \times charakt_czynnik_{kat,i}$$

Równanie (2.1)

gdzie: m_i jest masą zinwentaryzowanego strumienia i , a $charakt_czynnik_{kat,i}$ jest czynnikiem charakterystycznym zinwentaryzowanego strumienia i dla danej kategorii oddziaływania.

W stosunku do opcjonalnych elementów procesu LCA, normalizacja jest zwykle potrzebna, aby pokazać, jak znaczący wkład ma dana kategoria oddziaływania do całkowitego oddziaływania na środowisko. W etapie ważenia znormalizowane wyniki dla poszczególnych indyktorów są przypisane do wartości wag przyjętych na podstawie relatywnych założeń. Ważenie bazuje na wyborze wartości, a nie na naukach przyrodniczych, dlatego norma ISO 14044 rozróżnia zastosowania wewnętrzne i zewnętrzne, i jeśli wyniki mają być porównane i przedstawione do publicznej wiadomości, to ważenie nie powinno być stosowane (obarczone subiektywizmem). Grupowanie jest kolejnym opcjonalnym etapem oceny cyklu życia, w którym kategorie oddziaływania są łączone w jeden lub więcej zestawów. W tym przypadku, zgodnie z ISO 14044, możliwe są dwie procedury: sortowanie wskaźników kategorii na podstawie nominalnej oraz ranking wskaźników kategorii na skali porządkowej

Niniejszy dokument koncentruje się na obowiązkowych etapach LCA; dlatego elementy opcjonalne, przedstawione powyżej, nie będą dalej rozpatrywane.

2.3.3.2 Obliczenia potencjalnych oddziaływań środowiskowych

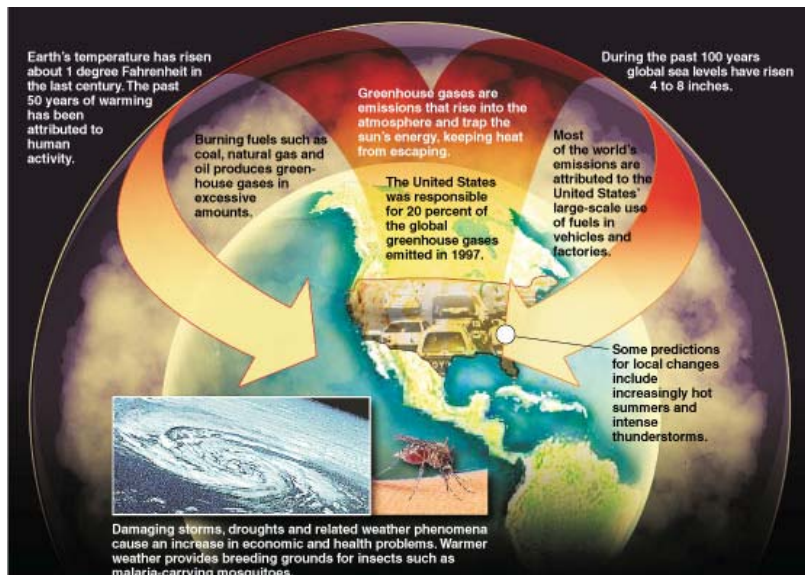
Zakłada się, że celem LCA jest dokonanie oceny potencjalnych środowiskowych oddziaływań związanych ze zidentyfikowanymi strumieniami wejść i wyjść do systemu budynku. W następnym paragrafie dokonano krótkiego omówienia najbardziej popularnych kategorii środowiskowych w LCA, razem z odpowiednią metodą obliczeniową zaadoptowaną w uproszczonym podejściu opisanym w tym dokumencie.

2.3.3.2.1 Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP)

Efekt cieplarniany (rys. 2.4) jest powodowany gazami aktywnymi w podczerwieni (IR), naturalnie obecnymi w ziemskiej atmosferze (np. H_2O , CO_2 i O_3), które absorbują (w podczerwieni) energię (lub promieniowanie) opuszczającą ziemię i oddają część tego ciepła z powrotem, co powoduje ogrzanie powierzchni ziemi i dolnych warstw atmosfery.

Stężenie tych gazów, znanych także jako gazy cieplarniane (GHG), wzrosło w okresie przemysłowym i wzmacnia naturalny efekt cieplarniany, co powoduje

wzrost temperatury na powierzchni ziemi i daje powody do zaniepokojenia potencjalnymi rezultatami zmiany klimatu w przyszłości.



Rys. 2.4. Efekt cieplarniany (EPS, 2009)

Nie wszystkie GHG są takie same. Podczas, gdy CO₂ jest najbardziej wszechobecnym GHG, istnieje kilka gazów, które wnoszą do zmiany klimatu tyle samo, co CO₂. Efekt różnych GHG jest wyrażany za pomocą potencjału globalnego ocieplenia (GWP).

GWP jest względną miarą ilości CO₂, które należałoby uwolnić, aby uzyskać ten sam pochłaniania promieniowania, jak uwalnianie 1 kg GHG w określonym przedziale czasu. GWP jest to sposób ilościowego przedstawienia potencjału globalnego ocieplenia danego gazu.

Potencjały GWP zostały obliczane przez Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) dla trzech horyzontów czasowych 20, 100 i 500 lat – podano je w tabelicy 2.1 (w odniesieniu do trzech najważniejszych gazów i dla trzech horyzontów czasowych).

Tabela 2.1. GWP dla danych horyzontów czasowych (w kg CO₂ eq./kg), (IPCC, 2007)

	20 lat	100 lat	500 lat
Dytlenek węgla (CO ₂)	1	1	1
Metan (CH ₄)	62	25	7
Podtlenek azotu (N ₂ O)	275	298	156

Stąd, wyznaczenie wskaźnika „globalnego ocieplenia” dane jest równaniem (2.2):

$$\text{Globalne ocieplenie} = \sum_i GWP_i \times m_i$$

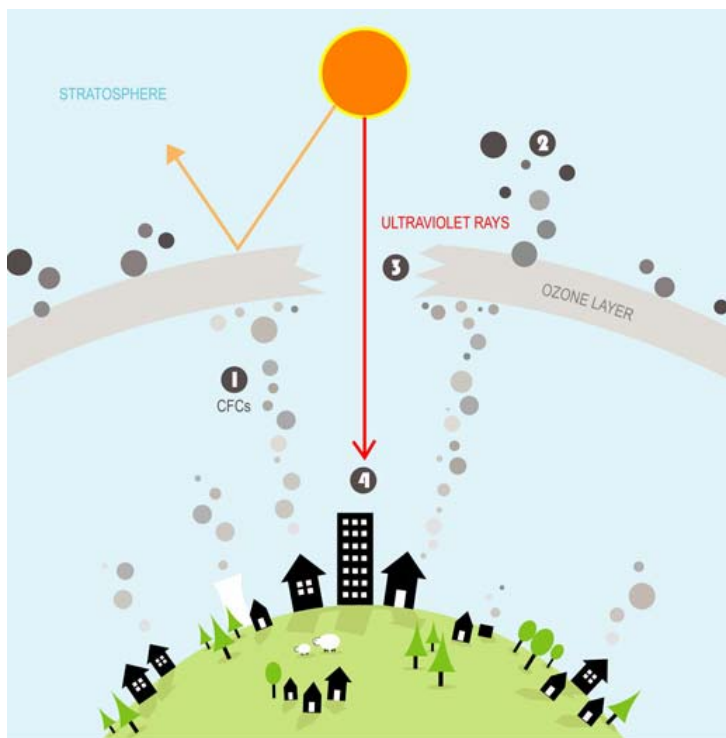
Równanie (2.2)

gdzie: m_i jest masą substancji i uwalnianej (w kg). Wskaźnik ten jest wyrażany w ekwiwalencie kg CO₂.

W przyjętym podejściu uwzględnia się horyzont czasowy 100 lat.

2.3.3.2.2 Potencjał uszczuplenia stratosferycznej warstwy ozonowej (ODP)

Gazy uszczuplające ozon powodują uszkodzenie stratosferycznej warstwy ozonowej lub „warstwy ozonowej” przez uwalnianie cząsteczek wolnych rodników, które powodują rozpad ozonu i jego wolnych cząstek (O_3).



Uszkodzenie warstwy ozonowej zmniejsza jej zdolność do ochrony atmosfery ziemskiej przed promieniowaniem ultrafioletowym (UV), zwiększając ilość kancerogennego promieniowania UVB, dochodzącego do powierzchni ziemi.

To z kolei powoduje problemy zdrowotne u ludzi, np. rak skóry i zaćma oraz związane ze słońcem choroby zwierząt i zniszczenie upraw.

Głównymi gazami uszczuplającymi warstwę ozonową są związki CFC, HCFC i halony.

Rys. 2.5. Uszczuplenie ozonu (Blendspace, 2013)

Rosnące obawy doprowadziły w 1980 roku do ogólnoświatowych starań zmierzających do ograniczenia niszczenia warstwy ozonowej, zakończone protokołem montrealским, w którym zabroniono stosowania wielu gazów najbardziej zubożających warstwę ozonową. Potencjał uszczuplenia ozonu jest wyrażany jako globalna utrata ozonu spowodowana daną substancją w porównaniu z globalną utratą ozonu spowodowaną przez substancję referencyjną CFC-11. Jednostkę referencyjną stanowi ekwiwalent kg freonu-11 (CFC-11). Model charakteryzujący został opracowany przez World Meteorological Organization (WMO). Zostały w nim określone potencjały uszczuplenia warstwy ozonowej przez różne gazy. W tablicy 2.2 podano potencjały ODP dla wybranych substancji (Heijungs i in., 1999)

Tablica 2.2. ODP niektórych substancji (w kg CFC-11 eq./kg), (Heijungs i in., 1999)

	Stan ustalony (t ≈:)
CFC-11	1
CFC-10	1,2
Halon 1211	6,0
Halon 1301	12,0

Parametr ODP uszczuplenia warstwy ozonowej określa się równaniem,

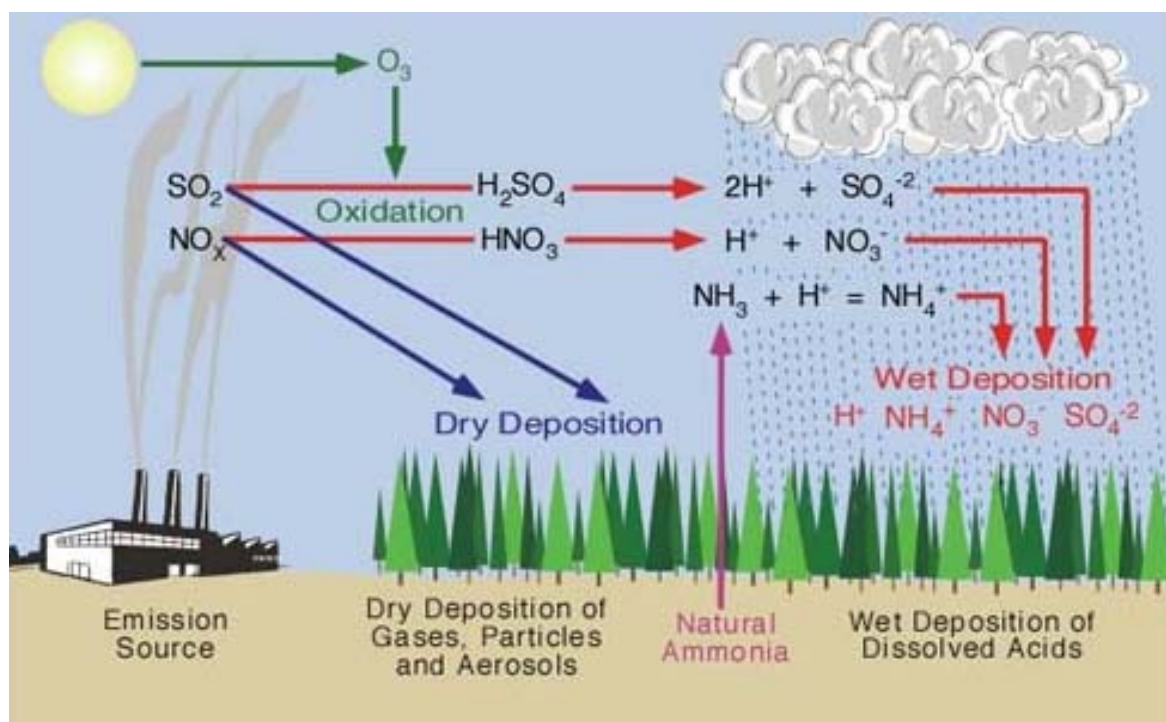
$$\text{Uszczuplenie Ozonu} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i$$

Równanie (2.3)

gdzie: m_i jest masą substancji i uwalnianej (w kg). Wskaźnik ten jest wyrażany w ekwiwalencie kg of CFC-11.

2.3.3.2.3 Potencjał zakwaszenia (AP)

Zakwaszenie to proces, w którym zanieczyszczenia powietrza (przede wszystkim amoniak (NH_3), ditlenek siarki (SO_2) i tlenki azotu (NO_x)) przekształcają się w substancje kwaśne, jak pokazano na rysunku 2.6. Kwaśne związki emitowane do atmosfery są transportowane przez wiatr i osadzają się jako kwaśne cząstki, kwaśne deszcze albo śnieg. Kiedy taki deszcz pada, często w znacznej odległości od pierwotnego źródła zanieczyszczeń, powoduje uszkodzenia ekosystemu w różnym stopniu, w zależności od rodzaju obecnych w krajobrazie ekosystemów.



Rys. 2.6. Potencjał zakwaszenia środowiska (The energy library, 2013)

Potencjał zakwaszenia mierzony jest zdolnością substancji do uwalniania jonów H^+ , co jest przyczyną zakwaszenia, lub może być mierzony ekwiwalentną ilością uwalnianego SO_2 .

Charakteryzujące wskaźniki bazują na modelu RAINS-LCA (Huijbregts, 2001). Średnie europejskie wskaźniki charakteryzujące dla AP zakwaszenia podano w tabelicy 2.3.

Tablica 2.3. Potencjały zakwaszenia (ekwiwalent kg SO₂), (Huijbregts, 2001)

	Amoniak (NH ₃)	Tlenki azotu (NO _x)	Ditlenek siarki (SO ₂)
AP _i	1,60	0,50	1,20

Tak więc, wskaźniki zakwaszenia wyznacza się w równaniu,,

$$Zakwaszenie = \sum_i AP_i \times m_i$$

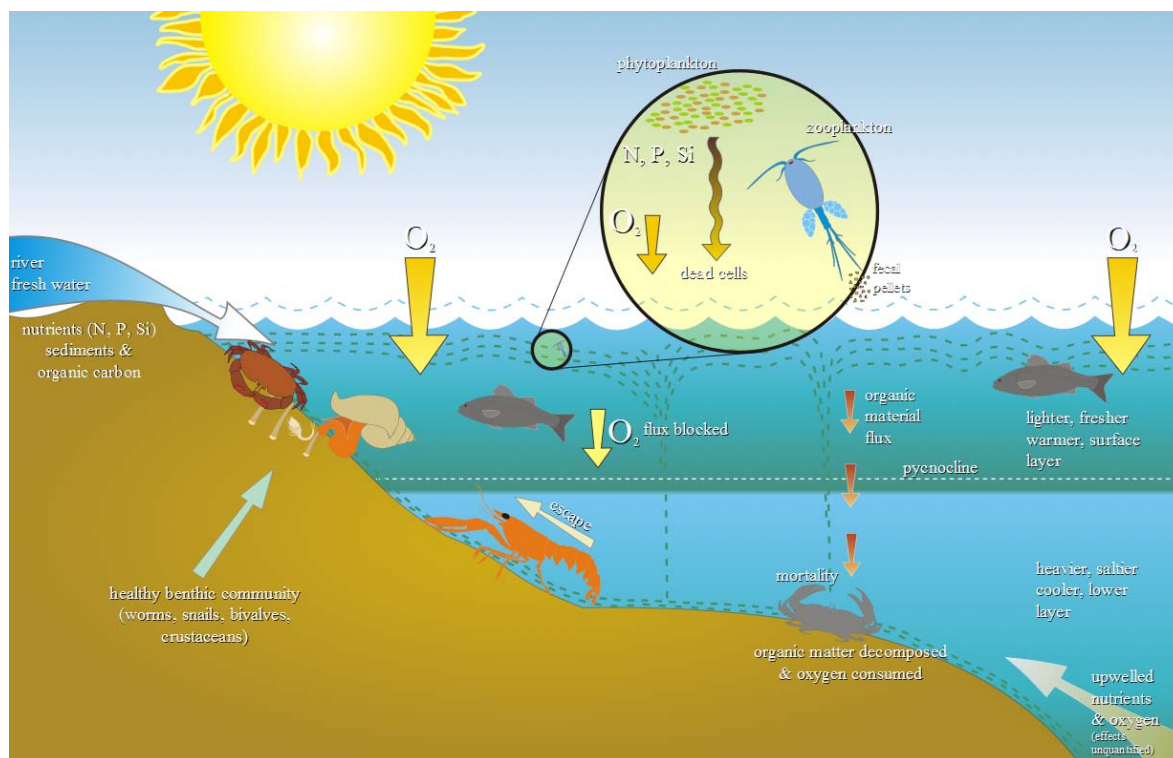
Równanie (2.4)

gdzie: m_i jest masą uwalnianej substancji i (w kg). Wskaźnik ten jest wyrażany jako ekwiwalent kg SO₂.

2.3.3.2.4 Potencjał eutrofizacji (EP)

Składniki odżywcze, takie jak azotany i fosforany, zazwyczaj dodaje się do gleby w postaci nawozów w celu stymulowania wzrostu roślin i produktów rolnych. Składniki te są niezbędne do życia, lecz gdy deponują się we wrażliwych obszarach naturalnych wody lub ziemi, to niezamierzone nawożenie może spowodować nadmierny rozrost roślin lub alg, które z kolei mogą udusić inne organizmy a po swojej śmierci zaczynają się rozkładać. W związku z tym, eutrofizację lub wzbogacanie substancjami odżywczymi, co zostało zilustrowane na rysunku 2.7, można zaklasyfikować jako ponadnormalne użyźnianie zbiorników wodnych. Jej występowanie może prowadzić do uszkodzenia ekosystemów, zwiększenia śmiertelności fauny i flory wodnej, utraty szlachetnych gatunków zależnych od środowiska, żyjących w środowisku o niskich wartościach odżywczych i bogatych w tlen. Prowadzi to do ogólnego zmniejszenia bioróżnorodności tych środowisk i wywołuje efekt domina, odbijając się na zwierzętach lądowych i ludziach, którzy korzystają z tych ekosystemów.

Eutrofizację mierzy się za pomocą jednostki referencyjnej, którą jest ekwiwalent kg azotu lub fosforu. Jest to miara stopnia, w jakim dana substancja w wodzie powoduje rozrost glonów, stosując związki azotowe i fosforany, jako substancje referencyjne. Głównymi czynnikami przyczyniającymi się do eutrofizacji są związki azotu, takie jak azotany, amoniak, kwas azotowy i związki fosforowe (w tym fosforany i kwas fosforowy).



Rys. 2.7. Potencjał eutrofizacji (Wikipedia, 2013a)

Biorąc fosforany jako substancję referencyjną wskaźniki charakteryzujące wybrane substancje mające wpływ na eutrofizację EP, przedstawiono w tablicy 2.4 (Heijungs i in., 1999).

Tabela 2.4. Potencjał eutrofizacji (ekwiwalent kgPO_4^{3-}), (Heijungs i in., 1999)

	Amoniak (NH_3)	Tlenki azotu (NO_x)	Azotany (N)	Fosforany (P)
EP_i	0,35	0,13	0,10	1,00

Stąd, potencjał eutrofizacji jest określony równaniem,

$$\text{Eutrofizacja} = \sum_i \text{EP}_i \times m_i$$

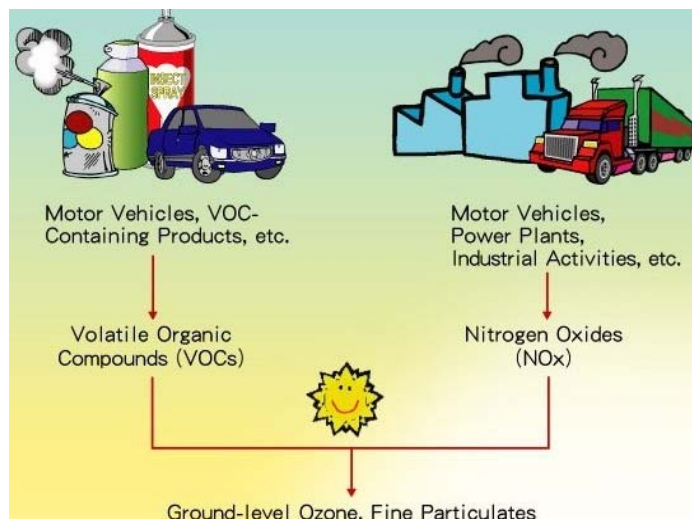
Równanie (2.5)

gdzie: m_i (kg) jest masą substancji i uwalnianej do powietrza, wody lub gleby. Wskaźnik ten wyrażany jest w ekwiwalencie kg PO_4^{3-} .

2.3.3.2.5 Fotochemiczne tworzenie ozonu (POCP)

W atmosferze zawierającej tlenki azotu (NO_x), pospolite zanieczyszczenia i lotne związki organiczne (VOCs), ozon i inne zanieczyszczenia, mogą powstać przy świetle słonecznym. Chociaż ozon jest istotny w atmosferze do ochrony przed promieniowaniem ultrafioletowym (UV), niski poziom ozonu odgrywa różnorodną

rolę, np. powoduje uszkodzenia roślin uprawnych i zwiększa możliwość występowania astmy i innych schorzeń układu oddechowego. Fotochemiczne tworzenie ozonu często nazywane jest smogiem.



Rys. 2.8. Smog fotochemiczny (EPD, 2013)

Najczęstszym objawem wysokiego poziomu gazów przyczyniających się do POCP jest letni smog widoczny w dużych miastach, np. w Los Angeles lub Pekinie. Głównym źródłem emisji NO_x jest spalanie paliwa, a VOCs są powszechnie emitowane z rozpuszczalników, które są stosowane w farbach i pokryciach.

Kategoria oddziaływania POCP mierzona jest potencjalną zdolnością substancji do wytwarzania ozonu w obecności NO_x i światła słonecznego. Charakterystyczne parametry dla POCP zostały opracowane w oparciu o model trajektorni.

Potencjały POCPs zostały obliczone dla dwóch scenariuszy (Heijungs i in., 1999):

- (i) ze względnie wysokim stężeniem tła NO_x ;
- (ii) ze względnie niskim stężeniem tła NO_x .

Oba charakteryzujące wskaźniki przedstawiiono w tabeli 2.5 w odniesieniu do kilku wybranych substancji POCP.

Tabela 2.5. POCPs dla różnych stężeń NO_x i kilku wybranych substancji (ekwiwalent $\text{kg C}_2\text{H}_4$), (Heijungs i in., 1999)

	Wysokie- NO_x POCPs	Niskie- NO_x POCPs
Acetaldehyd (CH_3CHO)	0,641	0,200
Butan (C_4H_{10})	0,352	0,500
Tlenek węgla (CO)	0,027	0,040
Acetylen (C_2H_2)	0,085	0,400
Metan (CH_4)	0,006	0,007
Tlenek azotu (NO_x)	0,028	brak danych
Propylen (C_3H_6)	1,123	0,600
Tlenek siarki (SO_x)	0,048	brak danych
Toluen ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)	0,637	0,500

Oznaczenie parametru fotochemicznego tworzenia ozonu określone jest równaniem:

$$\text{Potencjał – tworzenia ozonu troposferycznego} = \sum_i POCP_i \times m_i$$

Równanie (2.6)

gdzie: m_i jest masą substancji i uwalnianej (w kg). Wskaźnik ten jest wyrażany jako ekwiwalent kg etylenu (C_2H_4).

W przyjętym podejściu metodycznym LCA przyjęto tylko charakteryzujące czynniki odnoszące się do scenariusza z wysokim stężeniem tła NO_x .

2.3.3.2.6 Potencjał uszczuplenia zasobów abiotycznych

Wskaźniki uszczuplenia zasobów abiotycznych mają na celu uchwycenie zmniejszającej się dostępności zasobów nieodnawialnych w wyniku ich wydobycia oraz podstawowych braków. Rozważane są tutaj dwa rodzaje parametrów:

- uszczuplenie zasobów abiotycznych, związane z wydobyciem pierwiastków rzadkich (i ich rud);
- uszczuplenie zasobów abiotycznych poprzez użycie paliw kopalnych jako paliwa lub surowca.



Fig. 2.9. Uszczuplenie zasobów naturalnych (Wikipedia, 2013b)

Potencjał uszczuplenia zasobów abiotycznych w odniesieniu do pierwiastków jest określany przy każdym wydobyciu pierwiastków, bazując na pozostałych rezerwach i szybkości eksploatacji. ADP bazuje na równaniu $\text{Produkcja} / \text{Ostateczne Rezerwy}$,

który porównuje się z referencyjnym przypadkiem, czyli antymonem (Sb) (Guinée i in., 2002). Różne miary określają ekonomiczne lub ostateczne rezerwy Ziemi. Stąd, potencjał uszczuplenia zasobów abiotycznych (pierwiastki) zasobu i (ADP_i) jest podawany jako stosunek między ilością wydobytego zasobu i nadającymi się do eksploatacji zasobami, wyrażony w kg referencyjnego zasobu, antymonu. Charakterystyczne współczynniki podano w tablicy 2.6.

Tablica 2.6. Potencjały uszczuplenia zasobów abiotycznych dla kilku pierwiastków (ekwiwalent kg Sb), (Guinée i in., 2002)

Zasoby	ADP - pierwiastki
Glin	1.09E-09
Kadm	1.57E-01
Miedź	1.37E-03
Żelazo	5.24E-08
Ołów	6.34E-03

Wyznaczenie wskaźnika abiotycznego uszczuplenia (pierwiastki) jest określone równaniem:

$$Abiotyczne\ uszczuplenie = \sum_i ADP_i \times m_i$$

Równanie (2.7)

gdzie: m_i jest ilością zasobu i wydobytego (w kg). Wskaźnik ten jest wyrażany ekwiwalentem kg antymonu (referencyjne zasoby).

Paliwa kopalne mierzono początkowo tak samo, ale od 2010 roku oblicza się je w nieco inny sposób. W tym przypadku, za bezwzględną miarę uważa się wartość energetyczną paliwa kopalnego (Guinée i in., 2002). Nie bierze się tutaj pod uwagę względnego braku różnych paliw kopalnych, gdyż zasoby tych paliw są łatwo zbywalne, ale w rzeczywistości różnią się one tylko o 17% pomiędzy węglem (zasobem najpowszechniejszym) i gazem (najbardziej deficytowym). Wskaźnik uszczuplenia zasobów abiotycznych dla paliw kopalnych jest wyrażany w MJ.

2.3.4 Interpretacja cyklu życia

Interpretacja jest ostatnim etapem LCA, w którym łączy się ze sobą wyniki z analizy zbioru danych wejściowych i wyjściowych oraz z oceny oddziaływania. Głównym celem tego etapu jest sformułowanie wniosków, które można wyciągnąć z wyników LCA. Ponadto, należy przeanalizować rezultaty poprzednich etapów LCA i wyborów dokonanych w ciągu całego procesu, a mianowicie założeń, modeli, parametrów i danych używanych w LCA, pod kątem zgodności z całym zakresem badania.

2.3.5 Przykład

W celu zilustrowania poszczególnych etapów oceny cyklu życia, opisanych w poprzednich rozdziałach, przygotowano poniższy przykład.

Założmy, że przy produkcji 1 kg dowolnego wyrobu do izolacji zinwentaryzowano następujące emisje (patrz Tablica 2.7):

Tablica 2.7. Emisje zinwentaryzowane podczas produkcji 1 kg wyrobu do izolacji

Emisje	Wartość (w kg)
Tlenek węgla (CO)	0,12
Ditlenek węgla (CO ₂)	0,60
Amoniak (NH ₃)	0,01
Metan (CH ₄)	0,05
Tlenki azotu (NO _x)	1,02
Fosfor (P)	0,35
Ditlenek siarki (SO ₂)	0,10

Następnie, w kolejnym etapie oceny oddziaływania, wybrano kategorie oddziaływania środowiskowego, na przykład:

- (i) potencjał globalnego ocieplenia (GWP),
- (ii) potencjał zakwaszenia (AP),
- (iii) potencjał eutrofizacji (EP).

Wskaźniki charakteryzujące poszczególne emisje dla każdej kategorii oddziaływania środowiskowego podano w tablicy 2.8.

Tablica 2.8. Charakterystyczne wskaźniki dla wybranych kategorii oddziaływań środowiskowych

	GWP	AP	EP
	(kg CO₂ eq.)	(kg SO₂ eq.)	(kg PO₄- eq.)
Tlenek węgla (CO)	1,53	-	-
Ditlenek węgla (CO ₂)	1,00	-	-
Amoniak (NH ₃)	-	1,60	0,35
Metan (CH ₄)	25,00	-	-
Tlenki azotu (NO _x)	-	0,50	0,13
Fosfor (P)	-	-	3,06
Ditlenek siarki (SO ₂)	-	1,20	-

Wynik dla każdej kategorii oddziaływania środowiskowego uzyskuje się z wkładu poszczególnych emisji z wyrobu poprzez jego odpowiedni charakterystyczny wskaźnik (np. dla GWP: $0,12 \times 1,53 + 0,60 \times 1,00 + 0,05 \times 23 = 1,93$ kg CO₂ eq.), co prowadzi do wartości pokazanych w tablicy 2.9.

Tablica 2.9. Końcowe wartości wybranych parametrów środowiskowych

GWP (kg CO ₂ eq.)	AP (kg SO ₂ eq.)	EP (kg PO ₄ - eq.)
1,93	0,65	1,21

2.4 Normy europejskie dotyczące oceny cyklu życia budynków

2.4.1 CEN TC350

Europejski Komitet Normalizacyjny uzyskał w 2004 r. mandat na opracowanie horyzontalnych znormalizowanych metod oceny zintegrowanych właściwości środowiskowych budynków.

CEN TC 350 rozszerzył ten mandat na zrównoważoność obiektów budowlanych i podjął decyzję o przyjęciu podejścia uwzględniającego cykl życia jako podstawy wszystkich ocen. Od tego czasu Komitet Techniczny opracowuje normy, raporty techniczne i specyfikacje techniczne, dostarczając metodologii i wskaźników oceny zrównoważoności budynków.

Ramy normatywne do oceny zrównoważoności obiektów budowlanych, podane w serii norm opracowanych przez CEN/TC 350, obejmują aspekty środowiskowe, ekonomiczne i socjalne (EN 15643-1:2010), jak pokazano na rysunku 2.10.

Poziom koncepcji	Ocena środowiskowa	Ocena socjalna	Ocena ekonomiczna
Ramy metodyczne	EN 15643-1 Ocena zrównoważoności budynków – postanowienia ogólne		
	PN EN 15643-2 Ocena budynków – postanowienia dotyczące środowiskowych właściwości użytkowych	PN EN 15643-3 Ocena budynków – postanowienia dotyczące właściwości społecznych	PN EN 15643-4 Ocena budynków – postanowienia dotyczące właściwości ekonomicznych
Poziom budynku	PN EN 15978 Ocena środowiskowa budynku	EN 16309 Ocena właściwości socjalnych i społecznych budynku	prEN 16627 Ocena właściwości ekonomicznych
Poziom wyrobu	PN EN 15804 Deklaracje środowiskowe wyrobów (EPD)		

Rys. 2.10. Prace CEN TC350

Jak można zauważyć na rysunku 2.10, TC 350 działa na czterech poziomach: poziom koncepcji, poziom zasad, poziom budynku i poziom wyrobu) oraz obejmuje pięć właściwości: środowiskowe, socjalne, ekonomiczne, techniczne i funkcjonalne. Najbardziej zaawansowane są prace dotyczące oceny właściwości środowiskowych na poziomie budynku oraz na poziomie wyrobu.

Podejście cyklu życia do oceny właściwości środowiskowych przyjęte w omawianym projekcie powinno być zgodne z normami dotyczącymi oceny oddziaływania budynków na środowisko – EN 15978:2011 i EN 15804:2012, odpowiednio na poziomach budynku i wyrobów budowlanych.

2.4.2 Ocena budynku (EN 15978)

EN 15978:2011 dostarcza zasad obliczania właściwości środowiskowych nowych i istniejących budynków opartych na podejściu bazującym na cyklu życia. Ich celem jest wsparcie procesu decyzyjnego i dokumentowanie oceny właściwości środowiskowych budynku.

Żeby poznać pełną metodologię, zaleca się przeczytanie całej normy EN 15978:2011. Tematyka podrozdziału 2.4.2 skupia się na następujących kluczowych aspektach: ekwiwalent funkcjonalny, fazy cyklu życia oraz wskaźniki środowiskowe.

2.4.2.1 Ekwiwalent funkcjonalny

Ekwiwalent funkcjonalny został zdefiniowany w normie jako „określone ilościowo wymagania funkcjonalne i/lub wymagania techniczne dla budynku lub zamontowanego systemu (części obiektu), stosowane jako podstawa do porównań”. Stąd, porównanie między budynkami lub systemami będzie tylko wówczas akceptowalne, gdy spełniane przez nie funkcje będą takie same. W ekwiwalencie funkcjonalnym powinny być ujęte co najmniej następujące aspekty:

- (i) rodzaj budynku (np. mieszkalny, biuro itp.);
- (ii) forma użytkowania;
- (iii) istotne wymagania techniczne i funkcjonalne;
- (iv) wymagany okres użytkowania.

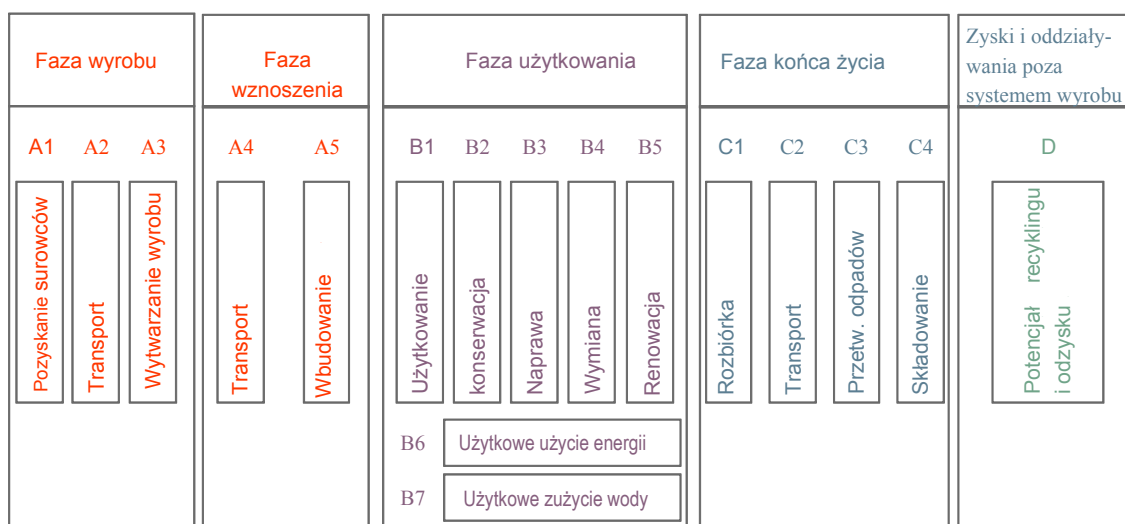
2.4.2.2 Fazy cyklu życia

Granice systemu ustalają zakres analizy cyklu życia, tj. określają procesy, które są uwzględniane w analizie. Jak podano w normie, ocena środowiskowa „włącza wszystkie procesy poprzedzające i następujące, niezbędne do ustanowienia i utrzymania funkcji budynku.”

Oczywiście, do oceny właściwości środowiskowych na poziomie budynku wymagane są informacje dotyczące wbudowanych wyrobów. Taka informacja

powinna być zgodna z zasadami kategoryzacji zdefiniowanymi w EN 15804 (patrz następny podrozdział).

W normie cykl życia budynku jest przedstawiony zgodnie z koncepcją modułową, co zilustrowano na rysunku 2.11.



Rys. 2.11. Moduły w cyklu życia budynku (EN 15978:2011)

Faza wyrobu zawiera moduły A1 do A3, faza budowy zawiera moduły A4 i A5, faza użytkowania obejmuje moduły B1 do B7, faza końca życia obejmuje moduły C1 do C4 i moduł D, który zawiera zyski i straty poza granicą system. W następnych podrozdziałach przedstawiono krótki opis każdej z faz i związanych z nimi modułów.

2.4.2.2.1 Faza wyrobu

Faza wyrobu zawiera moduły informacyjne A1 do A3. Granica systemu ze środowiskiem jest ustalona tak, aby obejmowała włączenie procesów, które dostarczają do systemu strumienie materiałów i energii (pozyskanie surowców) oraz następujące po nich procesy produkcji i transportu do bramy zakładu, jak również przetwarzanie wszelkich odpadów powstających w trakcie tych procesów.

Ta faza obejmuje:

- ✓ A1 – wydobywanie i przetworzenie surowców, ponowne użycie wyrobów lub materiałów z wcześniejszego systemu wyrobu, przetworzenie materiałów wtórnych z wcześniejszego systemu wyrobów;
- ✓ A2 – transport do bramy zakładu i transport wewnętrzny;
- ✓ A3 – produkcję materiałów pomocniczych, wytwarzanie wyrobów i współwyrobów, wytwarzanie opakowań.

2.4.2.2.2 Faza budowy

Faza budowy zawiera moduły informacyjne, dotyczące:

- ✓ A4 – transportu od bramy zakładu produkcyjnego na teren budowy,
- ✓ A5 – wbudowania wyrobu, łącznie z wytwarzaniem i transportem materiałów pomocniczych oraz wszelkiej energii lub wody, wymaganej do wbudowania lub funkcjonowania placu budowy. Obejmuje także działania związane z wyrobem na placu budowy.

2.4.2.2.3 Faza użytkowania

Faza użytkowania zawiera dwa rodzaje modułów informacyjnych. Moduły związane z rozwiązaniem konstrukcyjno-materiałowym (moduły B1 do B5) oraz moduły związane z funkcjonowaniem budynku (moduły B6 do B7):

- ✓ B1 – zastosowanie wbudowanego wyrobu z punktu widzenia wszelkich emisji do środowiska, pochodzących z elementów budynku i obiektu budowlanego podczas ich normalnego użytkowania (tzn. założonego);
- ✓ B2 – konserwacja obejmuje kombinację wszystkich planowanych działań technicznych i związanych z nimi działań administracyjnych podczas okresu użytkowania w celu utrzymania wyrobu wbudowanego w budynek w stanie, w którym może on spełniać wymagane właściwości funkcjonalne i techniczne, jak również zachować właściwości estetyczne;
- ✓ B3 – naprawa obejmuje kombinację wszystkich działań technicznych i związanych z nimi działań administracyjnych podczas okresu użytkowania, związanych z naprawą, przeróbką lub obróbką wyrobu budowlanego, lub jego części wbudowanych do budynku, aby przywrócić go do stanu akceptowalnego, w którym może spełniać wymagane właściwości funkcjonalne i techniczne;
- ✓ B4 – wymiana obejmuje kombinację wszystkich działań technicznych i związanych z nimi działań administracyjnych podczas całego okresu użytkowania, związanych z powrotem wyrobu budowlanego do stanu, w którym może on spełniać wymagane właściwości funkcjonalne i techniczne, przez wymianę całego elementu budowlanego;
- ✓ B5 – remont obejmuje kombinację wszystkich działań technicznych i związanych z nimi działań administracyjnych podczas okresu użytkowania wyrobu, związanych z powrotem budynku do stanu, w którym może on wypełniać przypisane mu funkcje;
- ✓ B6 – zużycie energii do funkcjonowania systemów technicznych budynku, łącznie ze związanymi z nim aspektami i oddziaływaniami środowiskowymi, w tym z przetworzeniem i transportem wszystkich odpadów powstających ze zużycia energii;

- ✓ B7 - Zużycie wody do funkcjonowania systemów technicznych budynku, łącznie ze związanymi z nim aspektami i oddziaływaniami środowiskowymi, biorąc pod uwagę cykl życia obejmujący wodę do produkcji i transportu oraz oczyszczanie ścieków.

2.4.2.2.4 Faza końca życia

Faza końca życia budynku obejmuje wszystkie materiały wyjściowe, które osiągnęły stan utraty statusu odpadu, pochodzące z demontażu, rozbiórki lub wyburzenia budynku. Faza końca życia obejmuje opcjonalnie następujące moduły informacyjne:

- ✓ C1 – rozbiórkę, w tym demontaż lub wyburzenie wyrobu z budynku, łącznie ze wstępnym sortowaniem materiałów na miejscu;
- ✓ C2 – transport odrzuconego wyrobu, jako część przetwarzania odpadów (np. do miejsca recyklingu) i transport odpadów (np. do miejsca ostatecznego usuwania);
- ✓ C3 – przetwarzanie odpadów, np. gromadzenie frakcji odpadów z rozbiórki i przetwarzanie strumieni masy przeznaczonych do ponownego użycia, recyklingu i odzysku energii;
- ✓ C4 – usuwanie odpadów, łącznie ze wstępną obróbką fizyczną oraz zarządzaniem miejscem składowania.

2.4.2.2.5 Zyski i straty poza granicą systemu

Moduł informacyjny D obejmuje wszystkie zyski i straty pochodzące od wyrobów nadających się do ponownego użycia, materiały nadające się do recyklingu i/lub użyteczne nośniki energii opuszczające system wyrobu (np. jako materiały i paliwa wtórne).

2.4.2.3 Ocena oddziaływania w cyklu życia

W etapie oceny cyklu życia rozważane są dwie kategorie środowiskowe zgodnie z EN 15978: parametry opisujące oddziaływania środowiskowe i parametry opisujące strumienie wejść i wyjść. Oba rodzaje parametrów omówiono w następnym rozdziale.

2.4.2.3.1 Parametry opisujące oddziaływania środowiskowe

Oddziaływania środowiskowe są opisywane przez 6 parametrów, które wymieniono w tabelicy 2.10.

Tablica 2.10. Parametry opisujące oddziaływania środowiskowe (EN15978)

Parametr	Jednostka
Potencjał globalnego ocieplenia, GWP	ekwiwalent kg CO ₂
Potencjał uszczuplenia stratosferycznej warstwy ozonowej, ODP	ekwiwalent kg CFC 11
Potencjał zakwaszenia gleby i wody AP	ekwiwalent kg SO ₂ ⁻
Potencjał eutrofizacji, EP	ekwiwalent kg (PO ₄) ³⁻
Potencjał tworzenia ozonu troposferycznego; POCP	ekwiwalent kg etylenu
Potencjał uszczuplenia zasobów abiotycznych; ADP_pierwiastki	ekwiwalent kg Sb
Potencjał uszczuplenia zasobów abiotycznych; ADP_paliwa kopalne	MJ

Wskaźniki powyższe omówiono w poprzednich rozdziałach niniejszego dokumentu.

2.4.2.3.2 Parametry opisujące strumienie wejść i wyjść (aspekty środowiskowe)

Dodatkowe parametry wprowadzono do opisu strumieni wejścia i wyjścia. Parametry przedstawiające zużycie zasobów zestawiono w tablicy 2.11. Opisują one użytkowanie odnawialnych i nieodnawialnych zasobów odnawialnej i nieodnawialnej energii pierwotnej oraz wody; są liczone bezpośrednio ze strumieni wejścia uzyskanych z LCI.

Tablica 2.11. Parametry opisujące zużycie zasobów (EN15978)

Parametr	Jednostka
Zużycie odnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowiec	MJ, wartość opałowa
Zużycie zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowiec	MJ, wartość opałowa
Zużycie zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej z wyłączeniem zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowiec	MJ, wartość opałowa
Zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej jako surowiec	MJ, wartość opałowa
Zużycie materiałów wtórnych	kg
Zużycie odnawialnych paliw wtórnych	MJ
Zużycie nieodnawialnych paliw wtórnych	MJ
Zużycie zasobów słodkiej wody	m ³

Parametry opisujące kategorie odpadów i strumienie wyjścia bezpośrednio bazują na strumieniach wyjścia uzyskanych z LCI (analiza danych wejścia wyjścia). Te

pierwsze zestawiono w tabelicy 2.12, a drugie w tabelicy 2.13. Ponadto, w celu ilościowego określenia tych parametrów, scenariusze ustalane są dla odpowiednich procesów i faz.

Tablica 2.12. Parametry opisujące kategorie odpadów (EN15978)

Parametr	Jednostka
Usunięte odpady niebezpieczne	kg
Usunięte odpady inne niż niebezpieczne	kg
Usunięte odpady radioaktywne	kg

Tablica 2.13. Parametry opisujące strumienie wyjściowe (EN15978)

Parametr	Jednostka
Elementy do ponownego zastosowania	kg
Materiały do recyklingu	kg
Materiały do odzyskiwania energii (niebędące odpadami do spalania)	kg
Energia eksportowana	MJ na nośnik energii

2.4.3 Ocena wyrobu (EN 15804)

Na poziomie wyrobu norma EN 15804 definiuje zasady kategoryzacji wyrobu do opracowania Deklaracji środowiskowej (EPD) wyrobów budowlanych. EPD są deklaracjami środowiskowymi III typu zgodnie z ISO 14025:2006 i często są dobrym źródłem danych środowiskowych do analizy cyklu życia budynku. EPD jest szczególnym rodzajem LCA opracowanym przy użyciu zdefiniowanego zestawu zasad kategoryzacji wyrobu (PCR), jak przedstawiono na rysunku 2.12. Wiele PCR można stosować do wyrobów budowlanych (CPA, 2012), lecz porównywane mogą być tylko EPD opracowane według tych samych PCR.



Rys. 2.12. Proces uzyskanie deklaracji EPD (2012)

Celem wspólnych zasad podanych w EN 15804 jest zapewnienie spójności oceny, porównywalności i wiarygodności informacji, umożliwiających agregację na poziomie budynku.

Zasady obliczeń do LCA na poziomie materiału (wyrobu) są podobne do tych opisanych na poziomie budynku. Zakres LCA przeprowadzanej na poziomie materiału (wyrobu) może być taki sam, jak w odniesieniu do poziomu budynku (patrz rys. 2.11). Jednak tylko deklaracja z fazy wyrobu (moduły A1 do A3) jest obowiązkowa w EN 15804, deklaracja innych faz cyklu życia jest opcjonalna.

W normie EN 15804 jednostka funkcjonalna zapewnia odniesienie, dzięki któremu wyniki LCA przepływów materiałowych są normalizowane. W normie wprowadzono jeszcze jednostkę deklarowaną. Jednostka deklarowana może być stosowana zamiast jednostki funkcjonalnej, kiedy funkcja wyrobu na poziomie budynku jest nieznana lub nieustalona. W praktyce jest to jednostka masy lub powierzchni wyrobu.

2.5 Inne normy i przepisy (dla fazy użytkowania)

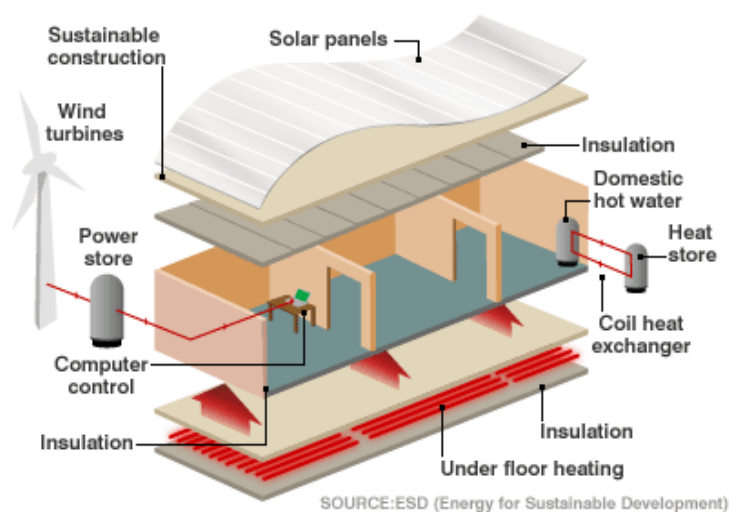
Jak wspomniano poprzednio, EN 15978:2011 wskazuje wszystkie potencjalne oddziaływania środowiskowe związane z budynkiem podczas jego cyklu życia w systemie modularnym (Rys. 2.11). W systemie tym moduł B6 obejmuje zużycie energii do funkcjonowania systemów technicznych wbudowanych w budynek, tj. energii zużytej przez zintegrowany system techniczny budynku. Obejmuje on zużycie energii na chłodzenie i ogrzewanie pomieszczeń, dostarczanie ciepłej wody użytkowej (DHW), wentylację, oświetlenie i pozostałą energię wykorzystywaną do pomp, w systemach kontrolnych i automatyce. Jednakże EN 15978 nie określa zasad obliczania energii, odsyłając do Energy Performance of Building Directive (EPBD, UE 2002) oraz jej krajowych implementacji.

Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków jest głównym instrumentem prawnym na poziomie UE, którego celem jest osiągnięcie efektywności energetycznej w budynkach. Cztery kluczowe zagadnienia EPBD, które mają być stosowane przez państwa członkowskie, są następujące (UE 2002):

- ✓ ramy ogólne do metodologii obliczania zintegrowanej charakterystyki energetycznej budynków;
- ✓ zastosowanie minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej nowych budynków oraz budynków istniejących, podlegających ważniejszej renowacji;
- ✓ certyfikacja energetyczna nowych i istniejących budynków, a w przypadku budynków użyteczności publicznej umieszczenie certyfikatu i innych związanych informacji w widocznym miejscu.

- ✓ regularna kontrola kotłów i systemów klimatyzacji w budynkach oraz dodatkowa ocena instalacji grzewczych, mających więcej niż 15 lat.

Zmiana dyrektywy EPBD w 2010 r. ustanawia ramy prawne w celu uaktualnienia krajowych przepisów budowlanych i przedstawia założenia polityki budynków o niemal zerowym zużyciu energii, zakładając że wszystkie nowe budynki będą miały prawie zerowe zużycie energii począwszy od 2020 r. Kluczowe właściwości technologiczne takich budynków przedstawiono na rysunku 2.13.



Rys. 2.13. Budynek carbon dodatni (dodatni energetycznie)

Pomimo ogólnych wymogów przewidzianych przez EPBD, nie przewiduje się metody obliczania i każde państwo członkowskie w UE może wybrać własną implementację. Większość krajów może stosować normy CEN lub inne normy międzynarodowe w określonym stopniu. W związku z tym, dwie dodatkowe normy są uwzględniane w niniejszym dokumencie referencyjnym:

- ISO 13790:2008, która obejmuje aspekty systemów grzewczych wykorzystywane w obliczeniach cieplnych oraz pomaga w uwzględnianiu dynamicznych efektów cieplnych w obliczeniach,
- EN 15316-3-1:2007 która obejmuje aspekty zapotrzebowania na energię do produkcji ciepłej wody użytkowej (CWU).

3 UPROSZCZONA METODA OCENY BUDYNKÓW

3.1 Wprowadzenie

Sektor budowlany jest coraz bardziej poddawany trendowi zrównoważonego rozwoju: deklaracje środowiskowe wyrobów, budynki niskoenergetyczne, oceny środowiskowe itp. Jednakże zainteresowane strony nie zawsze są odpowiednio przeszkolone, aby móc analizować właściwości środowiskowe.

Właściwości cieplne nowych budynków zostały kilka lat temu ujęte w ramy przepisów, obligując architektów do posiadania wiedzy o fazie użytkowania budynków. Z drugiej strony, energia skumulowana i ślad węglowy wyrobów są mniej znane, lecz stopniowo umieszcza się je w ogłoszeniach o przetargach. Kilka podmiotów sektora budowlanego ma wystarczającą wiedzę fachową w zakresie obu aspektów. Dlatego też, w celu wspierania wdrażania analizy cyklu życia w sektorze budowlanym, przedstawiono w niniejszym rozdziale dwa uproszczone sposoby podejścia metodycznego:

- (i) uproszczone podejście do cyklu życia, bazujące na tzw. makroelementach;
- (ii) podejście oparte na obliczaniu zapotrzebowania budynku na energię do chłodzenia i ogrzewania, obejmujące zapotrzebowanie na energię do produkcji ciepłej wody użytkowej.

Oba podejścia zostały opracowane w ramach Europejskiego Projektu Badawczego SB_Steel (2014) i bazują na zasadach opisanych w normach europejskich EN 15978 oraz EN 15804.

Najpierw opisano podejście oceny cyklu życia, a następnie uproszczone podejście do obliczania energii wraz z odpowiednią procedurą kalibracji.

3.2 Algorytm oceny cyklu życia bazujący na makroelementach

Rozwiązanie materiałowo-konstrukcyjne, zewnętrzne i wewnętrzne, odgrywa ważną rolę w zachowaniu budynku pod względem zużycia energii i obciążenia środowiska. Doprowadziło to do utworzenia wstępnie zmontowanych rozwiązań głównych elementów budynku, czyli makroelementów. Makroelementy są wstępnie definiowane, jako zestawy różnych materiałów, które w sumie składają się na ten sam element budynku (Gervásio i in., 2014).

Dla każdego elementu budynku wstępnie zaprojektowano różne rozwiązania makroelementowe, a model zastosowany w analizach cyklu życia budynku, bazujący na makroelementach, opisano szczegółowo w kolejnych rozdziałach.

3.2.1 Etapy ogólne

3.2.1.1 Cel i zakres

Celem narzędzia jest ilościowe ujęcie oddziaływań środowiskowych pojedynczych nieskomplikowanych budynków lub elementów budowlanych (m^2) za pomocą wstępnie zdefiniowanych makroelementów. Takie podejście umożliwia dokonanie oceny na dwóch różnych poziomach: poziomie elementu oraz poziomie budynku.

3.2.1.1.1 Jednostka funkcjonalna

Na poziomie budynku jednostką funkcjonalną jest budynek określonego typu (mieszkalny, biurowy itp.), zaprojektowany na wstępnie określony czas życia (np. 50 lat) i spełniający standardowe wymagania techniczne.

Na poziomie elementu budowlanego jednostką funkcjonalną ($w m^2$) jest element budowlany określonego typu (np. ściana zewnętrzna, wewnętrzne płyty itp.), użytkowany przez określony czas życia (np. 50 lat). Funkcja elementu budowlanego może być uwzględniana lub nie (w przypadku porównawczych ocen, funkcja elementu budowlanego powinna być uwzględniana).

3.2.1.1.2 Granice systemu

Analiza środowiskowa cyklu życia obejmuje fazę wyrobu (moduły A1 do A3), fazę budowy (moduł A4), fazę użytkowania (moduły B1 do B5), fazę końca życia (moduły C1 do C4) oraz zyski i straty spowodowane procesami recyklingu (moduł D), jak pokazano w tablicy 3.1.

Moduł B6 nie jest rozważany w tym podejściu. Jednakże metoda przedstawiona w następnym rozdziale odnosi także do aspektów zawartych w tym module.

Podobnie nie ujęto modułów A5, B1 i B7. Oddziaływania spowodowane fazą budowy – moduł A5 (włączając wykorzystanie sprzętu, działania na placu budowy i wytwarzania odpadów) uznane zostały za pomijalne na poziomie budynku (Gervásio i in., 2014).

Moduł B1 obejmuje emisje spowodowane zastosowaniem wbudowanego wyrobu i nie są one brane pod uwagę w pozostałych modułach fazy użytkowania

Tablica 3.1. Moduły informacyjne w cyklu życia budynku (zgodnie z EN 15643-2:2011)

Faza wyrobu			Faza budowy		Faza użytkowania							Faza końca życia				
Dostarczanie surowców	Transport	Produkcja	Transport	Wbudowanie w budynek	Użycie	Konserwacja	Naprawa	Wymiana	Remont	Zużycie energii	Zużycie wody	Rozbiórka	Transport	Przetwarzanie odpadów	Usuwanie	Potencjał ponownego użycia, odzysku i/lub recyklingu
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x

Biorąc pod uwagę, że w dzisiejszych czasach ze względu na surowe przepisy wyroby budowlane są zazwyczaj nisko emisyjne, moduł ten ma pomniejsze znaczenie. Ilościowe zużycie wody (moduł B7) nie jest uważane za niezależne od rozwiązań konstrukcyjnych.

3.2.1.2 Zbiory danych wejściowych i wyjściowych w cyklu życia

Jak wskazano wcześniej, kontrola jakości danych jest wymaganiem norm dotyczących LCA. Dlatego też w odniesieniu do wyrobów budowlanych dane powinny być sprawdzone pod względem (EN 15804):

- przedziału czasowego: zbiory danych powinny być uaktualniane na przestrzeni ostatnich 10 lat w przypadku danych ogólnych i ostatnich 5 lat w przypadku danych szczegółowych producenta;
- obszaru geograficznego: zbiory danych powinny odzwierciedlać geograficzny obszar deklarowanego wyrobu lub grupy wyrobów;
- zakresu technicznego: zbiory danych powinny odzwierciedlać rzeczywiste parametry fizyczne deklarowanego wyrobu lub grupy wyrobów;
- kompletności: zbiory danych powinny być kompletne, zgodnie z granicami systemu określonymi przez kryteria wykluczenia strumieni wejść i wyjść.

Większość zbiorów danych środowiskowych w modelu pochodzi z bazy PE International (2006), z wyjątkiem danych dotyczących stali. Zbiory danych dotyczące stali są dostarczane przez Worldsteel Association (2002), współpracującą z PE International. Stąd metodologie są bardzo podobne. To zapewnia dobrą zgodność w zakresie gromadzenia danych i zarządzania, jak również w zakresie zasad przyporządkowania i kryteriów wykluczenia. W tablicy 3.2 przedstawiono

informacje dla najważniejszych materiałów użytych do zdefiniowania makroelementów.

Tablica 3.2. Kontrola jakości w odniesieniu do podstawowych materiałów stosowanych w makroelementach

3.2.1.3	Przedział czasowy	Obszar geograficzny	Zasięg technologii	Kompletność
Kształtownik stalowy	2007, średnia roczna	Europa	Producenci europejscy	> 99% masa i energia
Stalowy pręt zbrojeniowy	2007, średnia roczna	Świat	Producenci światowi	> 99% masa i energia
Stalowe zwoje	2007, średnia roczna	Europa	Producenci europejscy	> 99% masa i energia
Beton C20/25	2011, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 95% masa i energia
Płyty OSB	2008, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 99% masa i energia
Płyty gipsowo-kartonowe	2008, średnia roczna	Europa	Producenci europejscy	> 95% masa i energia
Cegły	2011, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 95% masa i energia
Wełna skalna	2011, średnia roczna	Europa	Producenci europejscy	> 95% masa i energia
Polistyren expandowany EPS	2011, brak danych	Europa	Brak danych	Brak danych
Polistyren ekstrudowany XPS	2011, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 95% masa i energia
Sztywna pianka poliuretanowa PUR	2011, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 95% masa i energia
Korek ekspandowany	2011, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 95% masa i energia
Wełna szklana	2011, średnia roczna	Europa	Producenci europejscy	> 95% masa i energia
Pianka polietylenowa PE	2011, średnia roczna	Niemcy	Producenci niemieccy	> 95% masa i energia

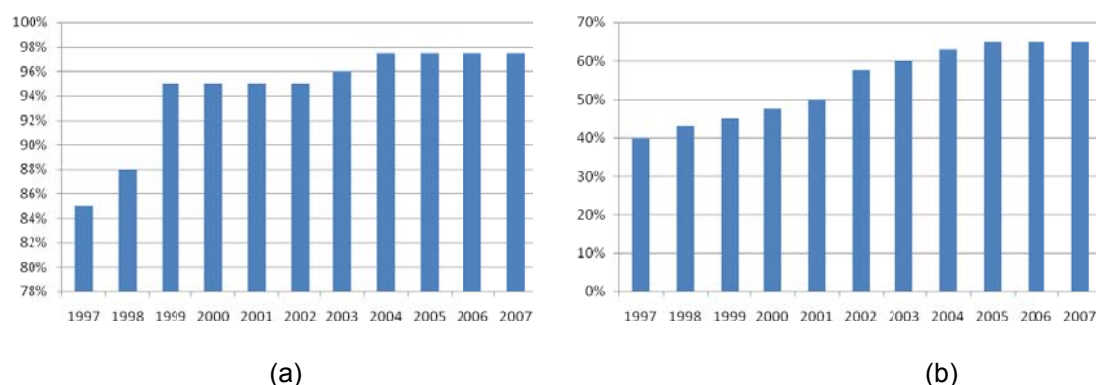
3.2.1.4 Ocena oddziaływania w cyklu życia

Kategorie środowiskowe wybrane do opisu oddziaływań środowiskowych, zestawione w tablicy 2.10, odpowiadają kategoriom środowiskowym rekomendowanym w europejskich normach dotyczących oceny środowiskowej właściwości budynków (EN 15643-2 i EN 15978).

Modularna koncepcja ww. norm została przyjęta także w niniejszym podejściu. Wyniki środowiskowych analiz cyklu życia każdego z makroelementów są dostarczane za pomocą modułu lub łącznej wartości dla każdej fazy. Środowiskowa analiza cyklu życia każdego makroelementu została wykonana przy użyciu oprogramowania Gabi (2012).

3.2.2 Alokacja materiałów recyklingowanych

Stal jest w 100% recyklingowalna i złom może zostać przekształcony w tej samej jakości stal zależnie od przebiegu procesu metalurgicznego lub recyklingu. (Worldsteel Association, 2009). Dlatego w końcu życia konstrukcji stalowej konstrukcja jest demontowana, a stal przekazywana do recyklingu lub ponownego użycia (częściowo lub całkowicie). Zgodnie z danymi Steel Recycling Institute (2009) w Północnej Ameryce wielkość recyklingu stali wynosi około 97.5%. Wykres prezentowany na rysunku 3.1 pokazuje trend w wielkości recyklingu w sektorze budowlanym, odpowiednio konstrukcji stalowych i stali zbrojeniowej.



Rys. 3.1. Potencjał recyklingu (a) stal konstrukcyjna i (b) stal zbrojeniowa
(Steel Recycling Institute, 2009)

Ponowne użycie oraz recykling stali są elementem procesów wielogłęziowych, wymagającym zastosowania procesu przyporządkowania (alokacji). Zasady alokacji opisano w tekście poniżej.

3.2.2.1 Wprowadzenie

Większość procesów przemysłowych jest wielogłęziowa, np. ich strumienie wyjścia obejmują więcej niż jeden wyrób, a strumienie wejścia do produkcji wyrobów zawierają często pośrednie lub odrzucone wyroby. Problem przyporządkowania zachodzi wtedy, gdy potrzebne są decyzje dotyczące rozdziału w przyporządkowaniu strumieni wejść/wyjść do jednostki funkcjonalnej przyjętej dla badanego systemu wyrobu.

Przyporządkowanie jest definiowane w ISO 14040:2006 jako „dzielenie strumieni wejść lub wyjść procesu lub systemu wyrobu między badany system wyrobu

i jeden lub więcej innych systemów wyrobu”. Tak więc, proces przyporządkowania rozdziela strumienie między procesy jednostkowe lub systemy wyrobu.

Zgodnie z ISO 14044:2006 należy unikać przyporządkowania, albo przez podział procesu jednostkowego na dwa lub więcej podprocesów (gromadzi się wtedy dane związane z tymi podprocesami) albo poprzez rozbudowę systemu wyrobu, tak aby objął dodatkowe funkcje związane z produktami ubocznymi (system rozszerzony). System rozszerzony obejmuje podejście polegające na unikaniu oddziaływań, co eliminuje nadmiarowe funkcje z wielofunkcyjnego procesu przez odjęcie ekwiwalentnych monofunkcyjnych procesów, otrzymując system monofunkcyjny.

Kiedy podział procesów ani rozbudowa systemu nie są możliwe do przeprowadzenia ze względu na zakres i cel badania, nieuniknione jest przyporządkowanie. Norma ISO 14044:2006 zaleca w tym przypadku dwa rozwiązania: (i) podział strumieni wejść i wyjść bazujący na fizycznych (chemicznych albo biologicznych) właściwościach; lub (ii) przyporządkowanie na podstawie innych zależności (np. wartości ekonomicznej wyrobu).

Rozważenie ponownego użycia i recyklingu wyrobów jest wynikiem wielofunkcyjności, co implikuje zastosowanie procesów przyporządkowania. Zasady przyporządkowania i ww. procedury stosuje się także w sytuacjach recyklingu i ponownego użycia, ale w takim przypadku należy przy wyborze procedury przyporządkowania uwzględnić zmiany w właściwościach związanych z materiałem (ISO 14044:2006).

W tym przypadku mogą mieć miejsce trzy podstawowe sytuacje (Werner, 2005):

- i) właściwości związane z materiałem nie zmieniły się w badanym systemie wyrobu i materiał może być użyty ponownie do tego samego zastosowania;
- ii) właściwości związane z materiałem zmieniły się w badanym systemie wyrobu, ale materiał może być ponownie użyty do tego samego zastosowania;
- iii) właściwości związane z materiałem zmieniły się w badanym systemie wyrobu, ale materiał może być ponownie użyty w innych zastosowaniach.

W pierwszym przypadku mamy sytuację zamkniętej pętli, w której zakłada się, że zastąpienie pierwotnego materiału jest całkowite, stąd żadne obciążenia dla środowiska, wynikające z produkcji materiału pierwotnego lub końcowego usuwania odpadów, nie są lokowane w systemie wyrobu. Drugi przypadek odpowiada sytuacji otwartej pętli, zakładając sytuację zamkniętej pętli. W tym przypadku zmienione właściwości materiału są nieistotne i recykling jest traktowany jako zamknięcie pętli.

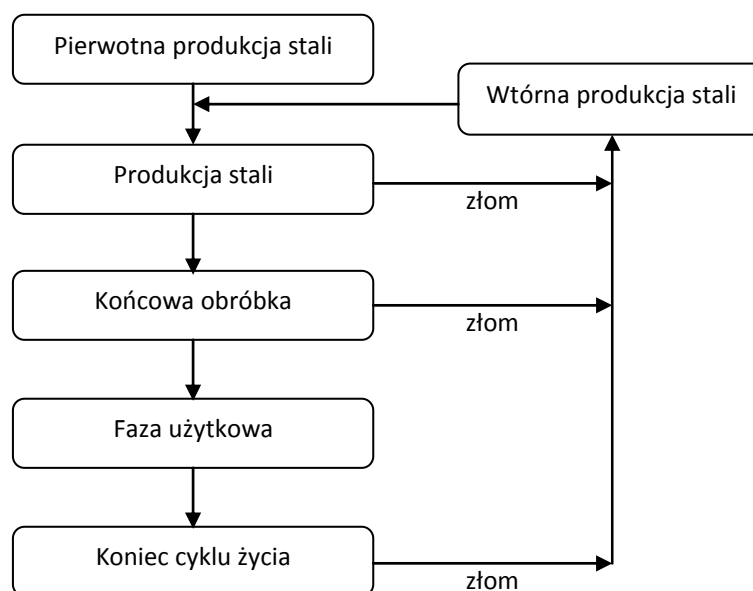
W ostatnim przypadku mamy sytuację otwartej pętli, gdzie zakłada się częściowe zastąpienie pierwotnego materiału. Obciążenia środowiska spowodowane produkcją

materiału pierwotnego lub końcowym usuwaniem powinny być częściowo lokowane w badanym systemie.

Zgodnie z ISO 14044:2006, w przypadku sytuacji zamkniętej pętli, unika się przyporządkowania, gdyż użycie materiałów wtórnych zastępuje użycie surowców.

3.2.2.2 Unikanie przyporządkowania złomu

Podczas cyklu życia stali złom powstaje w fazie produkcji, w fazie końcowej obróbki i w fazie końca życia (patrz rys. 3.2). Dlatego procedura przyporządkowania musi być brana pod uwagę dla strumienia wyjścia złomu z całego systemu życia. Ponadto stal jest przetwarzana w różnych procesach i przyporządkowanie strumienia wejść złomu w produkcji stali jest kolejną kwestią, którą należy rozważyć.



Rys. 3.2. Granice systemu dla stali w cyklu życia (LCI, 2002)

Stal może podlegać recyklingowi lub być ponownie użyta wiele razy i dlatego potrzebna jest odpowiednia metoda przyporządkowania nakierowana na wielokrotny recykling lub ponowne użycie stalowych komponentów.

Przyjęta metodologia uwzględnia problem przyporządkowania stali przez podejście zamkniętej materiałowej pętli recyklingu, opracowanej przez Worldsteel Association (LCI, 2002).

Metodologia została opracowana w celu wygenerowania danych LCI wyrobów stalowych, uważanych za koniec życia w recyklingu. Przyjęcie podejścia zamkniętej pętli jest uzasadnione tym, że złom jest ponownie przetapiany w celu wytworzenia nowej stali bez zmian jej charakterystycznych właściwości. W tym

przypadku, zgodnie z wytycznymi normy ISO 14044, unika się przyporządkowania, ponieważ użycie materiału wtórnego zastępuje surowce (pierwotne materiały).

Stal może być wytwarzana dwoma podstawowymi metodami: wielkopieczową Blast Furnance (BF) i w piecu łukowym Electric Arc Furnance (EAF). Główna różnica pomiędzy nimi polega na wprowadzaniu złomu w procesie wytwarzania stali: w procesie wielkopieczowym stal jest wytwarzana praktycznie wyłącznie z surowców; natomiast w procesie EAF produkcja stali opiera się głównie na wejściach złomu.

Tak więc, biorąc pod uwagę dwie główne drogi przetwórstwa stali i zakładając, że dane LCI dla produkcji stali drogą BF (przy założeniu 100% surowca) ujęte jest jako X_{pr} . Natomiast dane LCI dla produkcji stali drogą EAF (przy założeniu 100% stali wtórnej) ujęte jako X_{re} , to dane LCI związane ze złomem podaje równanie (3.1)

$$LCI_{złom} = Y(X_{pr} - X_{re})$$

Równanie (3.1)

gdzie: Y jest uzyskiem metalu ze wsadu, reprezentującym wydajność procesu wtórnego przekształcania złomu w stal. Według Worldsteel Association (LCI, 2002), około 1,05 kg złomu jest wymagane do wytworzenia 1 kg wtórnej stali.

Biorąc pod uwagę drogę BF, przy założeniu 100% wsadu surowca i stopy zwrotu (frakcja stali odzyskana jako złom w cyklu życia stalowego wyrobu) RR, wtedy na końcu życia, wytwarzany złom netto określony jest przez RR. Dlatego LCI 1 kg stali, włączając w to koniec życia, określony jest przez LCI dla podstawowej produkcji z zyskami wynikającymi z produkcji złomu, jak podaje równanie (3.2)

$$LCI = X_{pr} - RR[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Równanie (3.2)

Z drugiej strony, zakładając, że 1 kg wtórnej stali jest używany do produkcji nowej stali drogą EAF i w końcu życia RR kilogram stali zostaje odzyskany do recyklingu, wtedy złom netto zużyty określony jest jako $(1/Y-RR)$. W tym przypadku LCI 1 kg stali, włączając w to koniec życia, obliczany jest jako LCI wtórnej produkcji ze stratą spowodowaną zużyciem złomu, jak przedstawiono w równaniu (3.3)

$$LCI = X_{re} + (1/Y - RR)[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Równanie (3.3)

Przekształcenie równania (3.3) prowadzi do równania (3,2), co oznacza, że LCI systemu nie zależy od źródła materiału. Zależy ona od stosunku recyklingowej stali w końcu życia i wydajności procesu przetwarzania związanego z procesem recyklingu. Stąd, równanie (3.3) pozwala przyporządkowywać złom stalowy niezależnie od sposobu jego produkcji.

Poprzednie wyrażenie zostało otrzymane przy założeniu 100% podstawowej produkcji lub 100% wtórnej produkcji. W rzeczywistości wyroby stalowe produkowane w podstawowym procesie mogą zużywać pewną ilość złomu, a wyroby z EAF mogą używać pewien procent surowców. W tym przypadku straty i zyski podane w równaniu (3.1), można zapisać jako:

$$LCI_{złom} = (RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re})$$

Równanie (3.4)

gdzie: $(RR - S)$ reprezentuje złom netto w końcu życia. Rozważając dane LCI końcowych wyrobów stalowych oznaczone X' , LCI wyrobu, włączając koniec życia recyklingu, wyrażone jest równaniem

$$LCI = X' - [(RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Równanie (3.5)

Równanie (3.5) zostało przyjęte w metodologiach LCA, przedstawionych w następnym rozdziale w celu uzyskania danych LCA dla wyrobów stalowych, z uwzględnieniem recyklingu w końcu życia.

3.2.3 Charakterystyka makroelementów

Makroelementy zostały zdefiniowane dla różnych elementów budowlanych zgodnie z klasyfikacją UniFormat (2010). Przyjęto następujące kategorie: (A) Podziemna część konstrukcji, (B) Powłoka i (C) Wnętrze. Każda z głównych kategorii jest dzielona. Szczegółowa klasyfikacja została przedstawiona w Tablica 3.3.

Tablica 3.3: Klasyfikacja elementów budowlanych (UniFormat, 2010)

(A) Część podziemna konstrukcji	(A40) Płyty profilowane	(A4010) Standardowe płyty profilowane	
(B) Powłoka	(B10) Nadbudowa	(B1010) Konstrukcja podłogi	(B1010.10) Podłogowa rama konstrukcyjna
		(B1020) Konstrukcja dachu	(B1010.20) Stropy, płyty
			(B1020.10) Dachowa rama konstrukcyjna
	(B20) Obudowy zewnętrzne pionowe	(B2010) Ściany zewnętrzne	(B1020.20) Pokłady dachowe, płyty i powłoki
			(B2010.10) Wykładzina ścian zewnętrznych
			(B2010.20) Konstrukcja ścian zewnętrznych
	(B30) Obudowy wewnętrzne poziome	(B2020) Okna zewnętrzne	
		(B2050) Drzwi zewnętrzne	
		(B3010) Pokrycia dachowe	

(C) Wnętrza	(C10) Konstrukcja wnętrza	(C1010) Przegrody wewnętrzne	
	(C20) Wykończenia wnętrz	(C2010) Wykończenia ścian	
		(C2030) Wyroby podłogowe	
		(C2050) Wykończenia sufitu	

W ramach każdego elementu budowlanego (patrz tablica 3.3) właściwe makroelementy mają taką samą funkcję i mają podobne właściwości. Jednostką funkcjonalną każdego makroelementu jest 1 m² elementu budowlanego o podobnej charakterystyce i okresie użytkowania 50 lat. Niniejsze podejście zostało opracowane w celu oceny budynku na wczesnym etapie projektowania (Gervásio i in., 2014).

Dlatego, aby poradzić sobie z brakiem danych projektowych na wczesnych etapach projektowania, konstrukcja nośna (ze stali walcowanej na gorąco, lekkiej konstrukcji stalowej lub żelbetowej) została przedstawiona jako makroelementy konstrukcyjne; podłogowa rama konstrukcyjna (B1010.10) lub dachowa rama konstrukcyjna (B1020.10) wyrażona w m². Informacje dotyczące każdego makroelementu zostały przedstawione na rysunku 3.4.

Poza charakterystyką poszczególnych warstw, dostarczono także informacje o współczynniku przewodzenia ciepła U (uwzględniając mostki cieplne, jeśli występują) i bezwładność cieplną κ_m , aby umożliwić ilościowe wyznaczenie zużycia energii w fazie użytkowania budynku.

Makroelementy zostały wprowadzone do bazy danych znajdującej się w załączniku 1 do niniejszego dokumentu.

3.2.4 Przykład zestawu makroelementów

W niektórych przypadkach, w celu wypełnienia funkcji elementu budowlanego, różne makroelementy muszą być rozważane równocześnie. Zilustrowano to na przykładzie wewnętrznej płyty budynku mieszkalnego.

3.2.4.1 Zestaw makroelementów

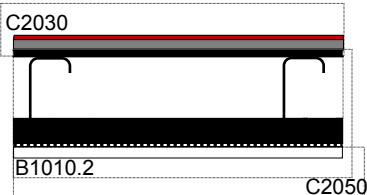
Na wewnętrzne płyty budynku wybrano następujące makroelementy:

- (i) na posadzki (C2030),
- (ii) na konstrukcję posadzki (B1010.10),
- (iii) na wykończenie sufitu (C2050).

Wybrane zestawy makroelementów przedstawiono na Tablica 3.4.

W tym przypadku nie podano wartości współczynnika przewodzenia ciepła U , gdyż makroelement stanowi wewnętrzną płytę i nie wpływa na obliczenia zapotrzebowania na energię.

Tablica 3.4. Makroelementy zestawu dla płyty wewnętrznej

Zestaw makroelementów	Makroelement	Materiał	Grubość (mm)/ Gęstość (kg/m ²)	Wartość U (W/m ² .K)	κ_m (J/m ² .K)
	C2030 Podłoga	Płytki ceramiczne	31 kg/m ²	-	61062
		Wylewka	13 mm		
	B1010.10 Konstrukcja podłogi	Płyty OSB	18 mm		
		Powietrze	160 mm		
		Wełna skalna	40 mm		
		Lekka konstrukcja stalowa	14 kg/m ²		
		Płyty gipsowe	15 mm		
	C2050 Wykończenie sufitu	Malowanie	0,125 kg/m ²		

3.2.4.2 Jednostka funkcjonalna i przewidywany okres użytkowania wyrobów

Jednostką funkcjonalną elementu budowlanego jest płyta wewnętrzna (m²) budynku mieszkalnego, z wymaganym okresem użytkowania określonym na 50 lat. Wybrane makroelementy muszą stosować te same jednostki funkcjonalne jak elementy budowlane. Dlatego uwzględniany jest przewidywany okres użytkowania różnych materiałów. Przewidywane okresy użytkowania materiałów podano w tablicy 3.5.

Tablica 3.5. Przewidywany okres użytkowania materiałów

Makroelement	Materiał	Jednostka	Przewidywany okres użytkowania [lata]
Pokrycia podłogowe	Płytki ceramiczne	m ²	25
	Wylewka	m ²	50
Konstrukcja podłogi	Stal formowana na zimno	kg/m ²	50
System podłogowy	Wełna skalna	m ²	50
	Płyty OSB	m ²	50
	Płyty gipsowe	m ²	50
Wykończenie	Farba	m ²	10

W celu wywiązania się z tej samej jednostki funkcjonalnej, niektóre z materiałów muszą być wymieniane lub naprawiane zgodnie z uprzednio zdefiniowanym scenariuszem.

3.2.4.3 Scenariusze i założenia

Do określenia informacji środowiskowej we wszystkich modułach potrzebny jest scenariusz i założenia.

Jednostka funkcjonalna jest związana przedziałem czasowym 50 lat. Oznacza to, że każdy materiał w makroelemencie musi spełnić ten wymóg. Stąd materiały z przewidywanym okresem użytkowania krótszym niż 50 lat muszą być konserwowane lub nawet wymieniane podczas tego okresu.

Dlatego też dla każdego materiału zakładane są różne scenariusze w celu dostosowania się do przedziału czasowego analizy. Podobnie, w fazie końca życia, każdy materiał ma różne docelowe przeznaczenie zgodnie z jego charakterystycznymi właściwościami. Dla każdego z materiałów scenariusz końca życia rozważany jest z uwzględnieniem właściwości każdego z tych materiałów. Wszystkie powyższe scenariusze są zgodnie z zasadami określonymi w EN 15643-2 i EN 15978.

3.2.4.3.1 Scenariusze transportu wyrobów (moduły A4 i C2)

Odległości transportu pomiędzy zakładami produkcyjnymi a placem budowy (moduł A4) i odległości między terenem rozbiórki i odpowiednimi miejscami recyklingu/składowania (moduł C2) przyjmuje się domyślnie na 20 km; transport wykonywany jest przez ciężarówkę o ładowności 22 ton. Jednak projektant jest w stanie ustalić inne odległości, co pozwala na przeprowadzenie analizy wrażliwości w odniesieniu do transportu różnych materiałów.

3.2.4.3.2 Scenariusze dla fazy użytkowania (moduły B1:B7)

Scenariusze są wstępnie definiowane dla różnych materiałów w celu spełnienia wymaganego okresu życia 50 lat. Dlatego też, w odniesieniu do powyższego zestawu makroelementów, określono następujące scenariusze:

- wymiana płytek ceramicznych co 25 lat;
- malowanie sufitu co 10 lat.

3.2.4.3.3 Scenariusze dla fazy końca życia (moduły C1:C4) i recyklingu (moduł D)

Różne scenariusze końca życia są określane dla materiałów w zależności od ich charakterystycznych właściwości (tabl. 3.6).

Przyjmuje się, że płyty OSB są spalane (80%) w elektrowniach na biomasę. Dzięki czemu uzyskuje się zyski środowiskowe z tytułu odzyskania energii. Stal podlega recyklingowi z zakładaną wielkością recyklingu 90%, a zyski środowiskowe są

otrzymywane ze względu na netto złom w końcu cyklu życia przetwarzania. Podobnie, uważa się, że wełna skalna jest recyklingowana w 80%. Jednakże, ze względu na brak danych o procesie recyklingu, nie uzyskuje się zysków środowiskowych przez zmniejszenie ilości składowanych odpadów.

Tablica 3.6. Opcje końca życia EOL dla materiałów

Materiał	Usuwanie/recykling	Zyski
Płytki ceramiczne	Składowanie (100%)	-
Wylewka	Składowanie (100%)	-
Płyty gipsowo-kartonowe	Składowanie (100%)	-
Wełna skalna	Recykling (80%) + składowanie (20%)	-
Płyty OSB	Spalanie (80%) + składowanie (20%)	Zyski z odzyskania energii
Lekkie konstrukcje stalowe	Recykling (90%) + składowanie (10%)	Zyski ze złomu netto

Uznano, że wszystkie pozostałe materiały będą wysyłane na składowiska odpadów obojętnych.

3.2.4.4 Analizy środowiskowe

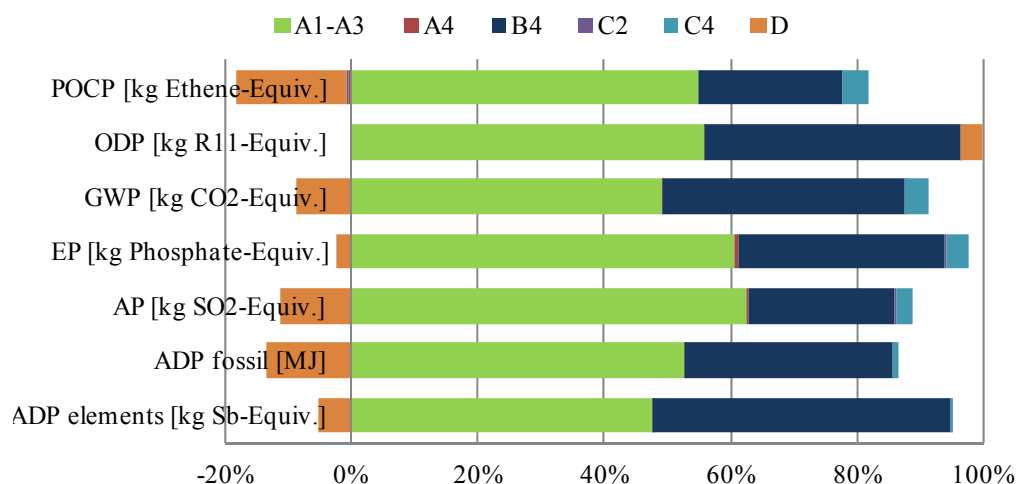
Wyniki dla zestawów makroelementów wymienionych w tablicy 3.4 przedstawiono w tablicy 3.7 w odniesieniu do m².

Tablica 3.7. Środowiskowa analiza cyklu życia makroelementów (na m²)

Kategoria oddziaływania	A1-A3	A4	B4	C2	C4	D	TOTAL
ADP pierw. [kg Sb-ekw.]	1.86E-03	6.59E-09	1.83E-03	5.76E-09	5.93E-07	-1.96E-04	3.49E-03
ADP paliwa [MJ]	1.31E+03	2.45E+00	8.12E+02	2.14E+00	2.31E+01	-3.35E+02	1.82E+03
AP [kg SO ₂ Ekw.]	2.47E-01	7.91E-04	9.14E-02	6.85E-04	1.01E-02	-4.45E-02	3.05E-01
EP [kg PO ₄ ekw.]	2.61E-02	1.82E-04	1.40E-02	1.57E-04	1.54E-03	-1.01E-03	4.09E-02
GWP [kg CO ₂ ekw.]	8.38E+01	1.77E-01	6.48E+01	1.54E-01	6.80E+00	-1.45E+01	1.41E+02
ODP [kg R11 ekw.]	2.80E-06	3.09E-12	2.04E-06	2.70E-12	1.27E-09	1.76E-07	5.01E-06
POCP [kg Eten ekw.]	3.41E-02	-2.58E-04	1.43E-02	-2.23E-04	2.62E-03	-1.07E-02	3.98E-02

Analiza udziału poszczególnych modułów została pokazana na rysunku 3.3. Moduły A1 do A3 dominują w przypadku wszystkich kategorii oddziaływań (ponad 50% wszystkich kategorii środowiskowych), po którym następuje moduł B4 z udziałem wahającym się od 10% do 20%. Moduł D ma znaczący udział (blisko 10%) dla

większości kategorii oddziaływań. Mniej istotny jest udział modułu C4 (blisko 5% w pewnych przypadkach), po którym następują pozostałe moduły o pomniejszym znaczeniu.



Rys. 3.3. Oddziaływania cyklu życia dla makrokomponentu (na m²)

Wszystkie makroelementy były obliczone w podobny sposób. Jak już wspomniano, podejście to umożliwia przeprowadzenie analizy cyklu życia na poziomie elementu lub na poziomie budynku.

3.3 Algorytm do obliczeń energetycznych w fazie użytkowania

3.3.1 Wprowadzenie

Jak wcześniej wspomniano EN 15978:2011 przyporządkowuje wszystkie potencjalne oddziaływania środowiskowe w trakcie jego cyklu życia (produkcja materiałów, użytkowanie, zakończenie użytkowania i wtórne użycie, regeneracja i potencjał recyklicacji) w ramach podejścia modułowego. Zgodnie z tym podejściem moduł B6 jest związany z energią użytkową, tzn. zużyciem energii przez budynek.

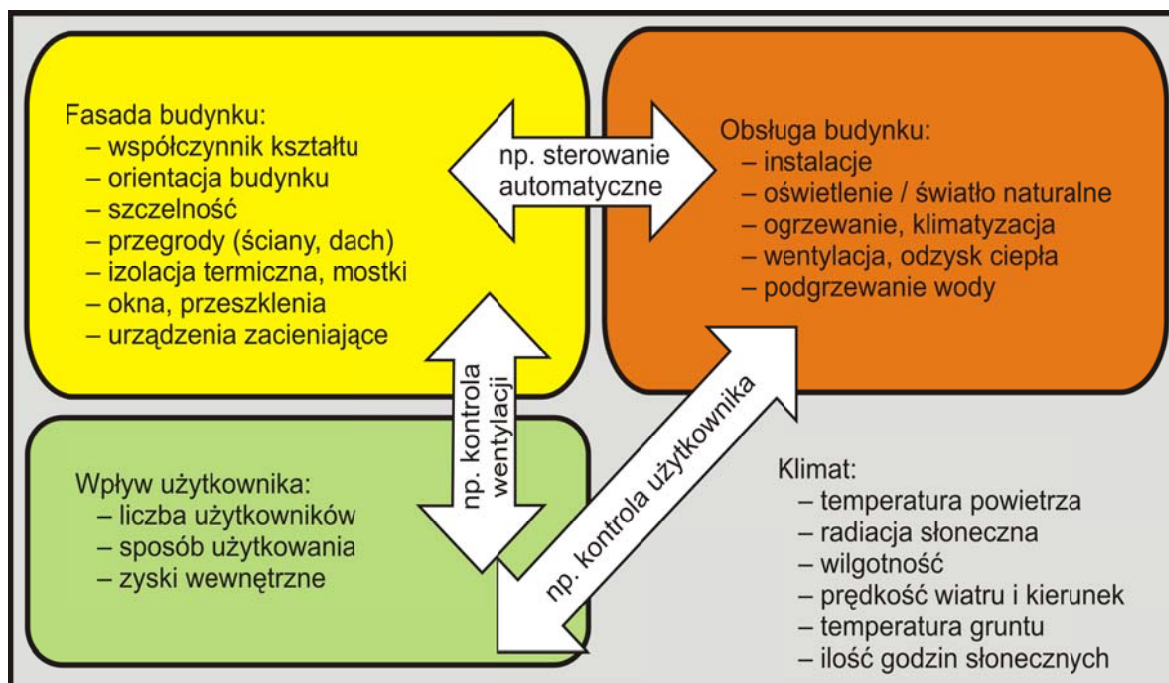
Granice modułu B6 powinny się zgadzać z dyrektywą EPBD poprzez zastosowanie normy EN 15603:2008 i powinny obejmować energię zużywaną na ogrzewanie, chłodzenie, zaopatrzenie budynku w ciepłą wodę użytkową, wentylację, oświetlenie i oraz pozostałe systemy.

Przyjęte w metodzie uproszczone podejście ogranicza się do zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń oraz do zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową. Jeśli chodzi o zapotrzebowanie energii na mechaniczną wentylację i na oświetlenie, to nie są one ujęte, gdyż te składniki nie są bezpośrednio związane z systemem konstrukcyjnym zastosowanym w budynku. Obliczenia zużycia energii na ogrzewanie i chłodzenie są prowadzone zgodnie z metodą stanu

quasi stacjonarnego wg ISO 13790:2008, obejmując okresy miesięczne. Wspomniana norma uwzględnia wszystkie aspekty termiczne, które występują w obliczeniach cieplnych i dostarcza współczynniki korelacyjne potrzebne do ujęcia w nich dynamicznych efektów cieplnych. Zapotrzebowanie energii na przygotowanie CWU (ciepłej wody użytkowej) jest obliczane zgodnie z EN 15316-3-1:2007.

3.3.2 Lokalizacja budynku i klimat

W celu wyliczenia energii zużywanej przez budynek w trakcie fazy użytkowania, ważne jest uwzględnienie zmiennych czynników mających istotny wpływ na wynik m.in. związanych z właściwościami cieplnymi i efektywnością energetyczną budynku.



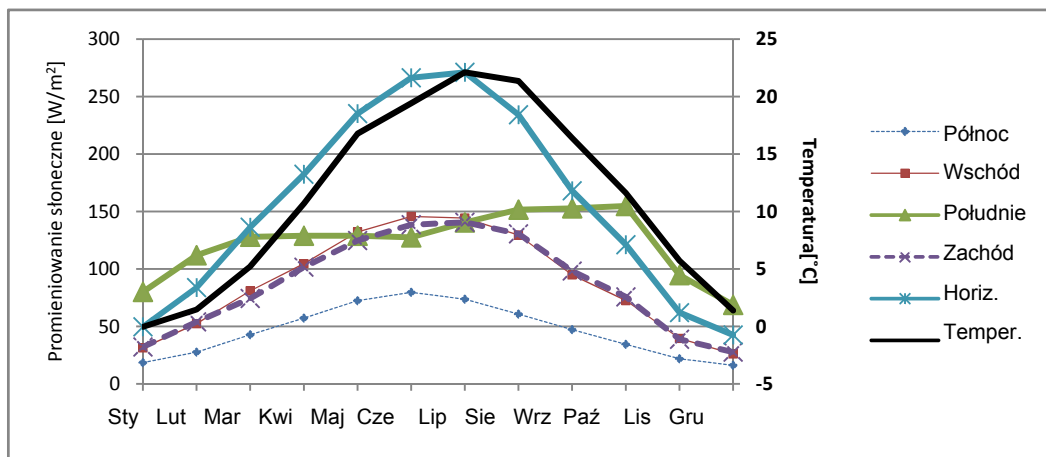
Rys. 3.4. Podstawowe czynniki mające wpływ na zużycie energii w budynku (Santos i in., 2012)

Czynniki istotne mogą być podzielone na 4 grupy: klimat, przegrody zewnętrzne, instalacje i czynniki ludzkie, jak to przedstawiono na rysunku 3.4. Większość tych czynników została uwzględniona w algorytmie, co szczegółowo opisano w następnych rozdziałach.

Lokalizacja budynku pod względem warunków klimatycznych ma podstawowe znaczenie w obliczeniach cieplnych (Santos i in., 2011, 2012). Aby ją ująć należy zdefiniować dwa czynniki obliczeń zapotrzebowania na energię:

- temperaturę powietrza;
- natężenie promieniowania słonecznego na powierzchni obiektu o danej orientacji.

Rysunek 3.5 ilustruje graficznie powyższe dane miesięczne dla miasta Timisoara w Rumunii.

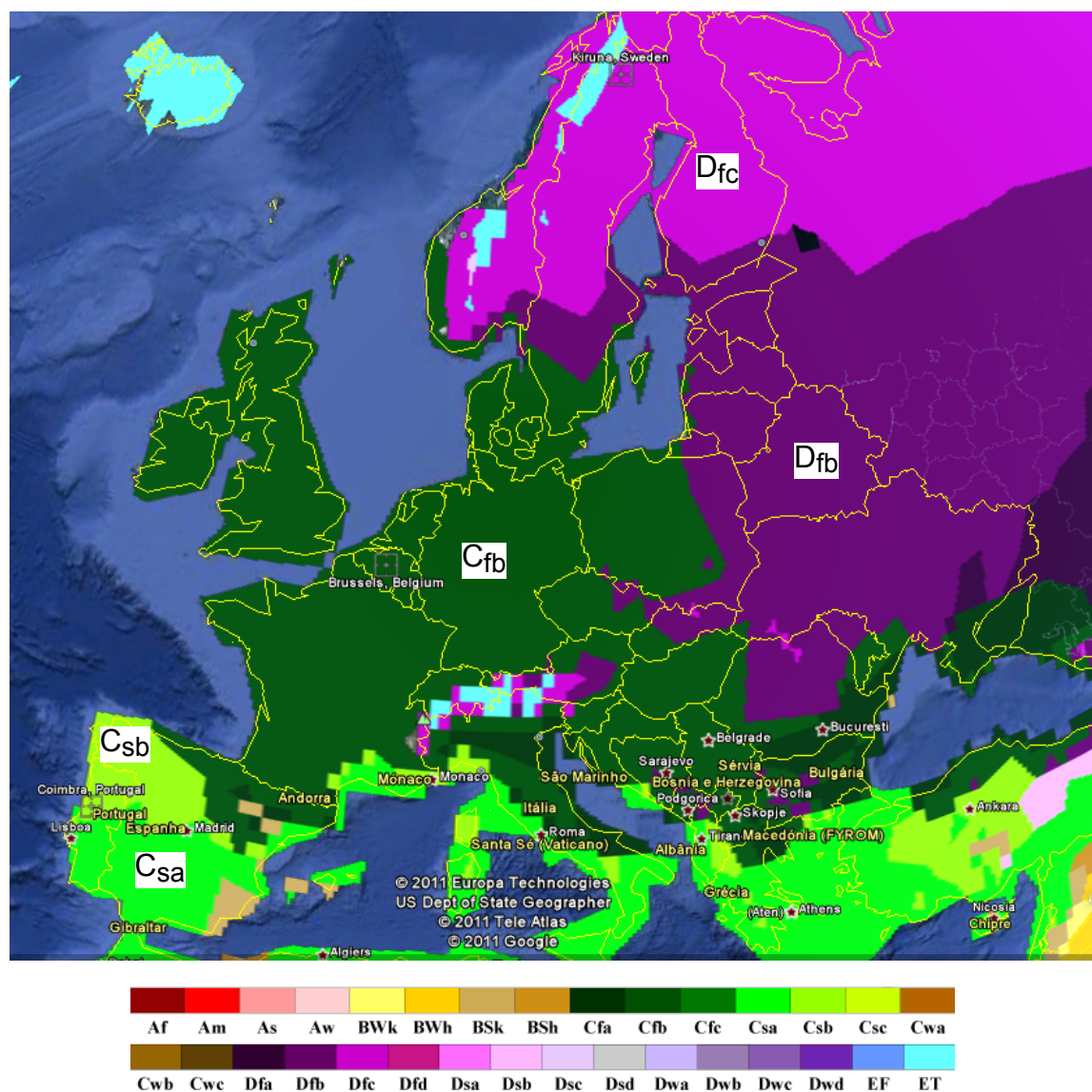


Rys. 3.5. Średnie miesięczne temperatury zewnętrzne oraz promieniowanie słoneczne w Timisoarze

Metodologia została skalibrowana dla pięciu regionów klimatycznych (sklasyfikowanych zgodnie z klasyfikacją klimatyczną Köppena-Geigera): (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. Klasyfikacja klimatyczna Köppena-Geigera jest jednym z najszerzej stosowanych systemów klasyfikacji klimatu (Kottek i wsp., 2006). Rysunek 3.6 przedstawia klasyfikację klimatyczną Köppena-Geigera dla obszaru Europy. Wyraźnie widoczne jest znaczenie szerokości geograficznej, wysokości i sąsiedztwa wybrzeża dla klimatu w tym regionie. W regionach o mniejszej szerokości geograficznej (poniżej 45°N); południowa Europa, np. państwa śródziemnomorskie) klimat jest opisany jako Csa i Csb, tzn. „C – umiarkowanie ciepły”, „s – lato suche” i „a – lato gorące” lub „b – lato ciepłe”.

Powyżej tych szerokości geograficznych (między 45-55°N) w państwach zachodniej części Europy Środkowej klimat jest głównie skategoryzowany jako Cfb, tzn.: „C – umiarkowanie ciepły” i „f – całkowicie wilgotny” oraz „b – o ciepłym lecie”. W państwach części wschodniej Europy Środkowej (aż od wybrzeża Atlantyku) klimat jest oznaczony jako Dfb, tzn., „D – śnieg”, z „f – całkowicie wilgotny” i „b – z ciepłym latem”.

W regionach o jeszcze większej szerokości geograficznej (powyżej 55°N), w krajach skandynawskich, klimat jest oznakowany głównie jako: Dfc, tzn.: „D – śnieg” z „f – całkowicie wilgotny” i „c – chłodne lato”. Ten klimat jest trochę podobny do klimatu występującego w krajach wschodniej części Europy Środkowej, przy czym najważniejszą różnicą jest chłodniejsze lato.



Podstawowe klimaty:	Opad:	Temperatura:
A: równikowy	W: pustynia	h: suche ciepłe
B: suchy	S: step	k: zimne suche
C: ciepłe temperatury	f: wysoka wilgotność	a: ciepłe lato
D: śnieg	s: suche lato	b: gorące lato
E: polarny	w: sucha zima	c: chłodne lato
	m: monsunowy	d: ekstremalnie kontynentalna

Rys. 3.6. Strefy klimatyczne Köppena-Geigera (Kottek i in., 2006; Google Earth, 2014)

Baza danych z pogodą dla różnych europejskich lokalizacji jest w fazie wdrażania. Tabela 3.8 przedstawia listę 48 miast, dla których uzyskano już taką informację. Większość danych klimatycznych uzyskano w ramach softwarowej bazy danych EnergyPlus dla symulacji energetycznych (EERE-USDoE, 2014), zaś pozostałe uzyskano od partnerów projektu badawczego.

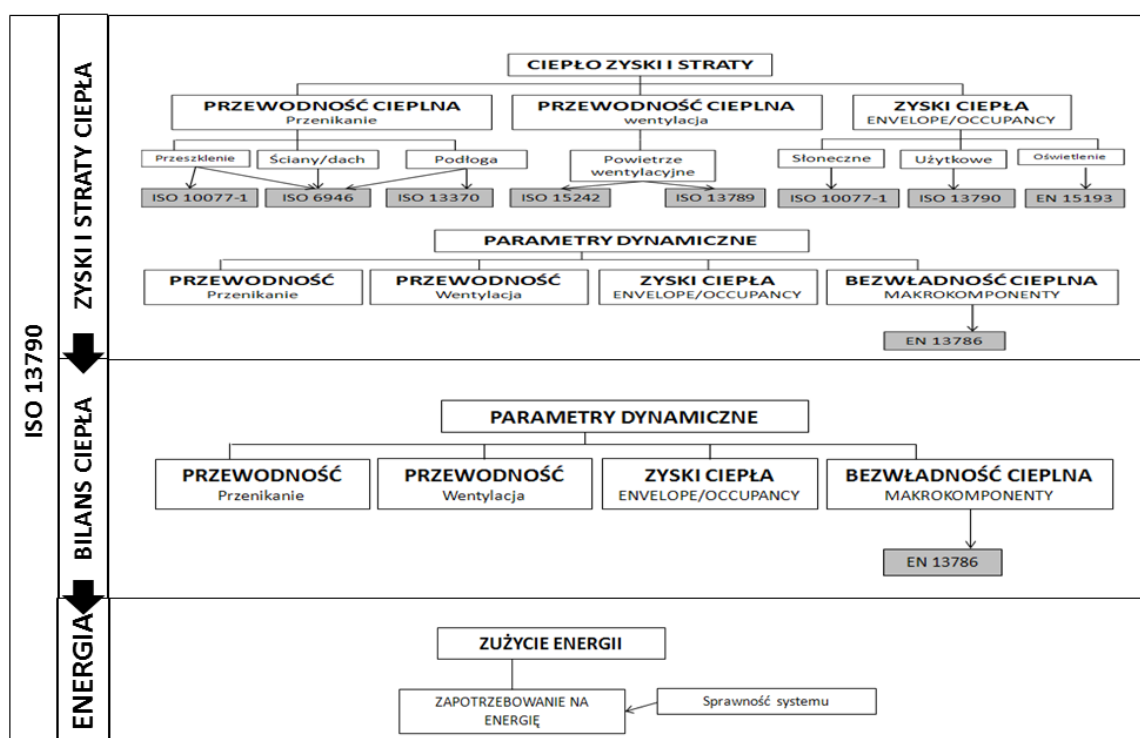
Tablica 3.8: Lista lokalizacji z określonymi danymi pogodowymi

Miasto	Państwo	Region klimatyczny	Szerokość geograficzna
Amsterdam	Holandia	Cfb	52
Ankara	Turcja	Csb	39
Archangielsk	Rosja	Dfc	64
Ateny	Grecja	Csa	37
Barcelona	Hiszpania	Csa	41
Berlin	Niemcy	Cfb	52
Bilbao	Hiszpania	Cfb	43
Bratysława	Słowacja	Cfb	48
Bruksela	Belgia	Cfb	50
Bukareszt	Rumunia	Cfa	44
Coimbra	Portugalia	Csb	40
Genua	Włochy	Csb	44
Graz	Austria	Dfb	47
Hamburg	Niemcy	Cfb	53
Helsinki	Finlandia	Dfb	60
Istambuł	Turcja	Csa	40
Kijów	Ukraina	Dfb	50
Kiruna	Szwecja	Dfc	67
La Coruna	Hiszpania	Csb	43
Lizbona	Portugalia	Csa	38
Ljubljana	Słowenia	Cfb	46
Londyn	Wielka Brytania	Cfb	50
Madryt	Hiszpania	Csa	40
Marsylia	Francja	Csa	43
Mediolan	Włochy	Cfb	45
Mińsk	Białoruś	Dfb	53
Montpellier	Francja	Csa	43
Moskwa	Rosja	Dfb	55
Monachium	Niemcy	Cfb	48
Nantes	Francja	Cfb	47
Nicea	Francja	Csb	43
Oslo	Norwegia	Dfb	59
Ostersund	Szwecja	Dfc	63
Paryż	Francja	Cfb	48
Porto	Portugalia	Csb	41
Praga	Czechy	Cfb	50
Rzym	Włochy	Csa	41
Salamanca	Hiszpania	Csb	40
San Remo	Włochy	Csb	43
Sewilla	Hiszpania	Csa	37

Miasto	Państwo	Region klimatyczny	Szerokość geograficzna
Sztokholm	Szwecja	Dfb	59
Tampere	Finlandia	Dfc	61
Saloniki	Gracja	Cfa	40
Timisoara	Rumunia	Cfb	45
Wiedeń	Austria	Dfb	48
Vigo	Hiszpania	Csb	42
Warszawa	Polska	Dfb	52
Zurych	Szwajcaria	Cfb	47

3.3.3 Metoda obliczania zapotrzebowania na energię

Zaadoptowany sposób podejścia umożliwia obliczenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń oraz na wytworzenie ciepłej wody użytkowej. W celu uwzględnienia udziału każdego z elementów występujących w obliczeniach cieplnych konieczne jest oparcie się o kilka norm, jak to pokazano na rysunku 3.7 dla ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń.

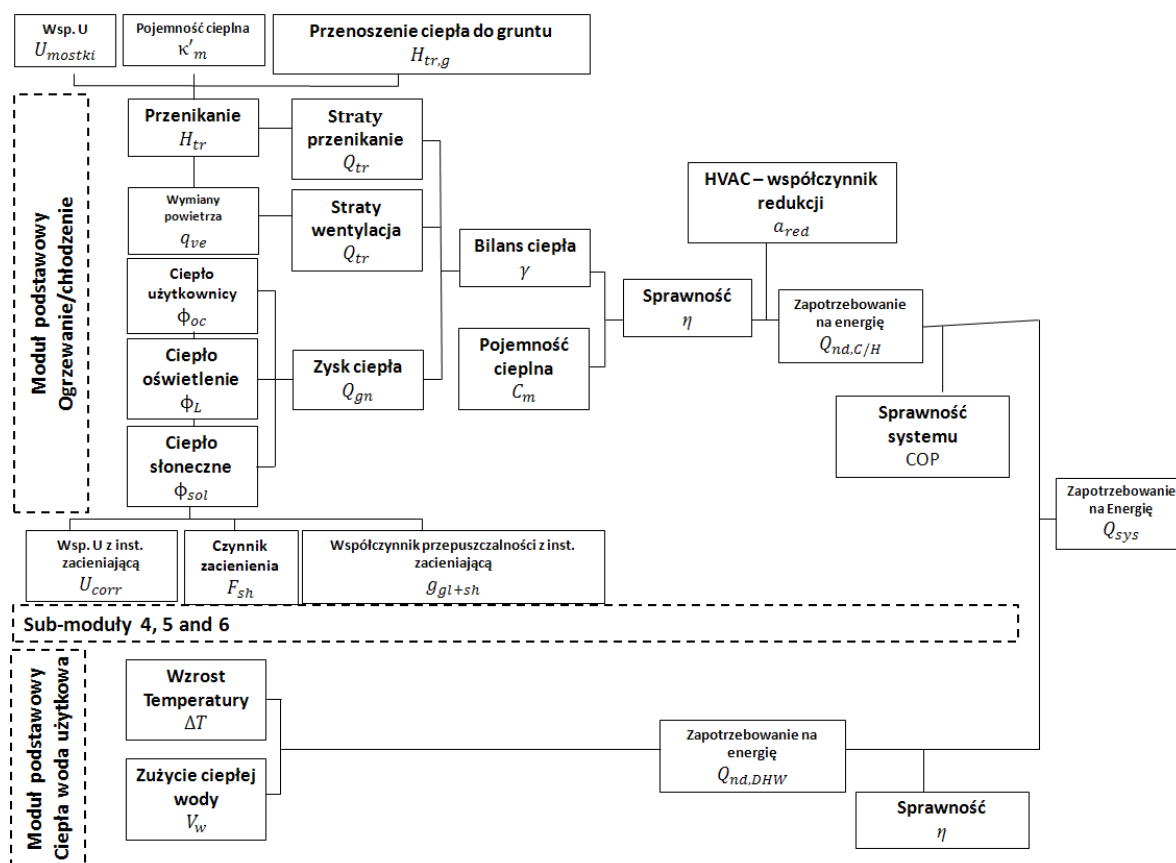


Rys. 3.7. Schemat obliczania zużycia energii wraz z normami

Jak to pokazuje rysunek 3.7 ISO 13790:2008 stanowi podstawową normę, od której pochodzą odnośniki do innych norm określających specyficzne metody

obliczeń. Biorąc pod uwagę znaczenie wytwarzania CWU (ciepłej wody użytkowej) do zużycia energii w budynku, przede wszystkim w budynkach mieszkalnych, konieczne jest także oszacowanie udziału tego czynnika. Jak wspomniano wcześniej czyni się to w sposób określony w EN 15316-3-1:2007.

Procedura i architektura algorytmu użytego do obliczenia zapotrzebowania na energię jest przedstawiona na rysunku 3.8.



Rys. 3.8. Poglądowe przedstawienie sposobu obliczania zużycia energii w budynku

Podmoduły 1 i 2 odnoszące się odpowiednio do wartości U i pojemności cieplnej elementów składowych przegrody zewnętrznej (ściany, dach, okna, drzwi) były pierwotnie obliczane dla elementów makro wybranych przez użytkownika. Podmoduł 3 odnosi się do przenoszenia ciepła przez grunt. Podmoduły 4, 5 i 6 odnoszą się do procedur drugorzędnych (podprocedur obliczeniowych) używanych do obliczania efektów użycia urządzeń/instalacji zacięniających oraz uwzględniających efekt zacięnienia związany z kształtem architektonicznym. Jednakże w obecnej wersji AMECO uwzględnia się jedynie prostokątne kształty stropów.

3.3.3.1 Zapotrzebowanie na energię na ogrzewanie i chłodzenie

Równania (3.6) i (3.7) stanowią główne równania określone w ISO 13790:2008 do stosowania kwantyfikacji miesięcznej (m) zapotrzebowania energii przy założeniu ciągłego działania systemu (terminologia – patrz ISO 13790):

$$Q_{H,nd,cont,m} = (Q_{H,tr,m} + Q_{H,ve,m}) - \eta_{H,gn,m} \cdot Q_{H,gn,m}$$

Równanie (3.6)

$$Q_{C,nd,cont,m} = Q_{C,gn,m} - \eta_{C,ls,m} \cdot (Q_{C,tr,m} + Q_{C,ve,m})$$

Równanie (3.7)

gdzie,

- $Q_{H,nd}$ – sezonowe zapotrzebowanie energii grzewczej (kWh);
- $Q_{C,nd}$ – zapotrzebowanie energii na chłodzenie (kWh);
- Q_{tr} – całkowita wartość strat przez przenikanie (kWh);
- Q_{ve} – całkowita wartość strat energii poprzez wentylację (kWh);
- $\eta_{H,gn}$ – współczynnik efektywności wykorzystania zysków energii (-);
- $\eta_{C,ls}$ – współczynnik wykorzystania strat energii (-).

Metodologia zastosowana do obliczania wszystkich tych „paczek” zapotrzebowania na energię jest opisana w kolejnych rozdziałach.

3.3.3.1.1 PRZEPŁYW CIEPŁA PRZEZ PRZENIKANIE

Bilans energii w budynku obejmuje wszystkie rodzaje przenoszenia energii przez przenikanie przez:

- (i) ściany;
- (ii) dach;
- (iii) posadzki zewnętrzne (jeśli istnieją);
- (iv) oszklenie (szyby i ramy);
- (v) posadzkę parteru.

Przenoszenie ciepła drogą przenikania poprzez (i) oraz (iv) rozpatruje się wg mechanizmu przewodzenia ciepła bez efektów masowych, gdyż strata lub zysk ciepła są proporcjonalne do różnicy temperatur między wnętrzem a środowiskiem zewnętrznym oraz do współczynnika przenoszenia ciepła przez element, jak to wynika z równań (3.8), (3.9) i (3.10). Przepływ ciepła przez przenoszenie do gruntu zakłada efekt bezwładności cieplnej gruntu. Oznacza to, że współczynnik przenoszenia ciepła jest wyliczany w odmienny sposób niż dla pozostałych elementów przegród – zgodnie z równaniem (3.11).

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Równanie (3.8)

$$H_{tr,adj} = H_{D,W} + H_{D,R} + H_{D,EF} + H_{D,Gl} + H_{GF}$$

Równanie (3.9)

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i$$

Równanie (3.10)

$$H_{GF} = b_{tr,g} \cdot A_i \cdot U_{GF}$$

Równanie (3.11)

gdzie,

 Q_{tr} – całkowita wartość strat ciepła przez przenikanie (kWh); $H_{tr,adj}$ – całkowity współczynnik strat ciepła przez przenikanie (W/K); $\theta_{int,sec,H}$ i $\theta_{int,sec,C}$ – temperatury projektowe dla stref budynku odpowiednio dla ogrzewania i chłodzenia (°C); t – długość miesiąca podana w ISO 13790 (Ms); H_D – współczynnik przenoszenia ciepła przez przenikanie do środowiska zewnętrznego: ściany, $H_{D,W}$; dach, $H_{D,R}$; zewnętrzne stropy (podłogi), $H_{D,EF}$; elementy przeszklenia, $H_{D,Gl}$; H_{GF} – współczynnik przenoszenia ciepła do gruntu (W/K); $b_{tr,g}$ – miesięczna wartość współczynnika korekcyjnego dla gruntu (W/K); A_i – powierzchnia elementu i (m²); U_i – współczynnik przenikania dla elementu i (W/m²·K); U_{GF} – współczynnik przenikania dla układu posadzka-grunt (W/m² K).

Parametry zależne od czasu użyte w obliczeniach zostały wzięte z ISO 13790 i są przedstawione w tablicy 3.9.

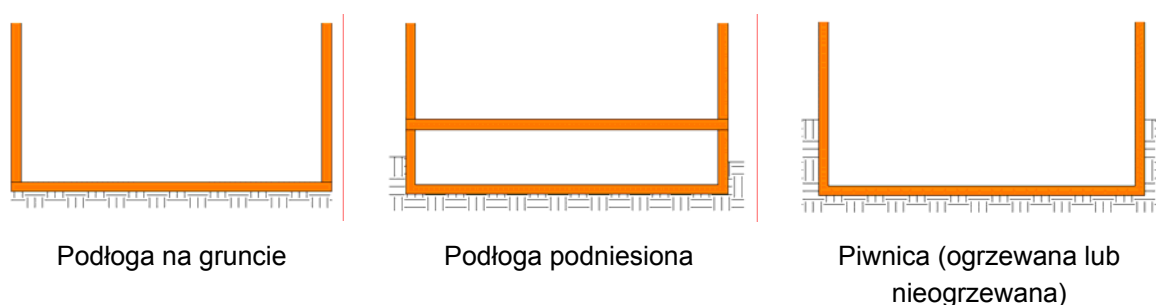
Tablica 3.9. Wartości parametrów uzależnione od czasu

	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ	LIS	GRU
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Długość miesiąca (Ms)	2.6784	2.4192	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784
Ilość dni w miesiącu	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Dni pracujące	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Wszystkie współczynniki przenikania, z wyjątkiem tego, który odnosi się do przenoszenia ciepła do gruntu, są obliczane zgodnie z EN ISO 6946:2007.

Przenoszenie ciepła do gruntu

Przenoszenie ciepła do gruntu jest określane w różny sposób w zależności od typu konstrukcji kondygnacji na gruncie, jak to przedstawia rysunku 3.9.



Rys. 3.9. Typy konstrukcji na gruncie

Obliczenia wykonuje się zgodnie z ISO 13370:2007. Ilość ciepła przenoszona do albo z gruntu jest wyliczana przez modyfikację współczynnika przenikania ciepła w taki sposób, aby uwzględnić dodatkową izolację jaką zapewnia grunt. Ponadto współczynnik przenikania ciepła jest także korygowany, aby ująć miesięczne natężenie strumienia ciepła, które jest obliczane z uwzględnieniem efektu bezwładności cieplnej gruntu. Przyjęte cieplne właściwości gruntu przedstawiono w tabelicy 3.10.

Tablica 3.10. Właściwości cieplne gruntu (ISO 13370:2007)

	Przewodność cieplna λ [W/(m·K)]	Objętościowa pojemność cieplna [MJ/(m ³ ·K)]
Gлина lub ił	1,5	3,00
Piasek lub żwir	2,0	2,00
Skala homogeniczna	3,5	2,00
Domyślnie	2,0	2,00

Przepływ ciepła przez okna

Algorytm zawiera bazę danych ze średnimi wartościami właściwości optycznych i cieplnych różnych rodzajów okien (EN 15193), jak to przedstawiono w tabelicy 3.11, gdzie $g_{gl,n}$ oznacza przepuszczalność energii słonecznej przez oszklenie przy założeniu prostokątnego kierunku padania promieniowania słonecznego, zaś U_{Gl} jest współczynnikiem przenikania ciepła przez okna.

Tablica 3.11. Domyślne wartości optycznych i cieplnych właściwości okien

Typ okna	$g_{gl,n}$	U_{Gl}
Pojedyncza szyba	0,87	5,8
Podwójna szyba	0,78	2,9
Szyba podwójna o małej emisyjności 1	0,72	1,7
Szyba podwójna o małej emisyjności 2	0,67	1,4
Szyba podwójna o małej emisyjności 3	0,65	1,2
Potrójna szyba	0,7	2,0
Potrójna szyba o małej emisyjności 1	0,5	0,8
Potrójna szyba o małej emisyjności 2	0,5	0,6

Przepływ ciepła przez powierzchnię okien wyliczany jest zgodnie z równaniem (3.10). Jednakże w celu uwzględnienia pozytywnego efektu urządzeń zacięniających (zasłaniających) aktywowanych w nocy, konieczne jest zmodyfikowanie współczynnika przenoszenia ciepła. Skorygowana wartość współczynnika przenikania ciepła $U_{Gl,corr}$ w $[W/(m^2K)]$ jest wyznaczana z równania (3.12):

$$U_{Gl,corr} = U_{Gl+shut} \cdot f_{shut} + U_{Gl} \cdot (1 - f_{shut})$$

Równanie (3.12)

gdzie: współczynnik przenikania ciepła przez układ okno + zasłona (żaluzja);

$U_{Gl+shut}$ – przewodność cieplna razem z zasłoną ($W/m^2 \cdot K$);

f_{shut} – bezwymiarowa wartość udziału zakumulowanej różnicy temperatury w okresie działania zasłon;

U_{Gl} – współczynnik przenikania ciepła przez okno bez zasłon.

Współczynnik przenikania ciepła przez okno z zasłoną $U_{Gl+shut}$ jest obliczany zgodnie z równaniem:

$$U_{Gl+shut} = \frac{1}{\frac{1}{U_{Gl}} + R_{sh} + \Delta R}$$

Równanie (3.13)

gdzie:

R_{sh} – opór cieplny zasłony ($m^2 \cdot K/W$);

ΔR – dodatkowa wartość oporu cieplnego przy określonej przepuszczalności powietrza przez zasłonę ($m^2 \cdot K/W$).

W algorytmie zastosowano domyślne wartości R_{sh} i ΔR , które wzięto z normy ISO 10077-1:2007. Wartości te zależą od rodzaju materiału zasłony i jej przepuszczalności dla powietrza, jak to ilustruje Tablica 3.12.

Tablica 3.12. Opór cieplny zasłon (żaluzji) precyzyjnych

Typ zasłony	R_{sh} [m ² .K/W]	Przepuszczalność powietrza		
		Duża/ bardzo duża	Średnia	Niska
		ΔR [m ² .K/W]		
Zewnętrzna roleta aluminiowa bez izolacji	0,01	0,00	0,12	0,00
Zewnętrzna drewniana zasłona/okiennica (bez izolacji)	0,10	0,00	0,16	0,00
Zewnętrzna roleta drewniana bez izolacji	0,10	0,00	0,16	0,00
Zewnętrzna roleta plastikowa bez izolacji	0,10	0,00	0,16	0,00
Zewnętrzna żaluzja drewniana wenecka	0,01	0,09	0,00	0,00
Zewnętrzna żaluzja metalowa wenecka	0,01	0,09	0,00	0,00
Zewnętrzna roleta nieprzezroczysta	0,01	0,09	0,00	0,00
Zewnętrzna roleta przezroczysta	0,01	0,09	0,00	0,00
Wewnętrzna roleta	0,01	0,00	0,00	0,24
Wewnętrzna zasłona nieprzezroczysta	0,00	0,00	0,00	0,00
Wewnętrzna zasłona przezroczysta	0,00	0,00	0,00	0,00
Wewnętrzna zasłona drewniana (nieprzezroczysta)	0,10	0,00	0,00	0,31
Plastikowa roleta z wypełnieniem piankowym	0,15	0,00	0,19	0,00
Żaluzja drewniana o grub. 25 mm do 30 mm	0,20	0,00	0,22	0,00

Bezwymiarowa wartość f_{shut} udziału zakumulowanej różnicy temperatury dla okresu działania zasłon została uzyskana na podstawie danych (wartości) godzinowych. Została ona potraktowana jako równa dla nocy (ochrona nocna).

3.3.3.1.2 STRATY CIEPŁA PRZEZ WENTYLACJĘ

Należy wybrać jeden z typów technik ogrzewania/chłodzenia pasywnego dla optymalizacji pracy wentylacji w budynku w celu osiągnięcia optymalnej charakterystyki cieplnej budynku.

W zimie korzystne jest ograniczenie strumienia powietrza wentylacyjnego w celu zmniejszenia strat ciepła, podczas gdy latem korzystniejsze może być zwiększenie intensywności wymiany powietrza, o ile zewnętrzna temperatura wpłynie korzystnie na działanie tej pasywnej techniki. Przez to algorytm umożliwia

zdefiniowanie/określenie różnych wartości natężenia strumienia powietrza przy ogrzewaniu / chłodzeniu.

Metodologia uwzględniania przenoszenia ciepła w procesie wentylacji jest opisana w normie ISO 13790:2008, punkt 9.3, za pomocą następujących równań:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Równanie (3.14)

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right)$$

Równanie (3.15)

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

Równanie (3.16)

gdzie:

$\rho_a \cdot c_a$ – pojemność cieplna powietrza w przeliczeniu na jednostkę objętości ($\text{J/m}^3 \cdot \text{K}$);

$q_{ve,k,mn}$ – średnia w czasie wielkość przepływu strumienia powietrza dla k (m^3/s);

$b_{ve,k}$ – temperaturowy współczynnik korekcyjny dla przepływu powietrza przez k (-).

Jeśli brakuje systemu wstępnego podgrzewania powietrza (np. w wymienniku ciepła) wówczas temperaturowy współczynnik korekcyjny dla przepływu powietrza, $b_{ve,k}$ przyjmuje wartość 1. W przypadku budynku wyposażonego w taki wymiennik współczynnik korekcyjny wynosi:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \cdot \eta_{hru})$$

Równanie (3.17)

gdzie:

$f_{ve,frac,k}$ – cząstkowy udział przepływu powietrza przez element k , który przechodzi przez wymiennik ciepła w instalacji wentylacyjnej;

η_{hru} – sprawność wymiennika ciepła.

3.3.3.1.3 WEWNĄTRZNE ZYSKI CIEPLNE

Ciepło wydzielane przez użytkowników oraz instalacje/urządzenia jest uwzględniane w obliczeniach jako tzw. zyski wewnętrzne. Jest to ważny składnik w bilansie cieplnym budynku. Algorytm umożliwia wykorzystanie danych indywidualnych

użytkowników lub danych domyślnych (pobranych z ISO 13790:2008), utworzonych na podstawie tygodniowego schematu/terminarza użytkowania (obecności) i odpowiadającej mu szybkości/natężenia strumienia powietrza. Poniżej podano równanie używane do obliczania zysków ciepła z wewnętrznych źródeł:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Równanie (3.18)

gdzie:

- $\Phi_{int,mn,k}$ – uśredniona w czasie wartość strumienia ciepłego ze źródła wewnętrznego k (W);
- $\Phi_{int,mn,u,l}$ – uśredniona w czasie wartość strumienia ciepłego ze źródła wewnętrznego l znajdującego się w przyległym, nieogrzewanym / niechłodzonym pomieszczeniu (W);
- $b_{tr,l}$ – współczynnik redukcyjny dla sąsiadującego nieogrzewanego / niechłodzonego pomieszczenia;
- t – długość miesiąca (Ms).

Wewnętrzne przepływy /strumienie ciepła w budynku mogą pochodzić od: użytkowników oraz urządzeń. W tablicy 3.13 przedstawiono wartości referencyjne dla strumieni ciepła emitowanego przez użytkowników i urządzenia.

Tablica 3.13. Wartości strumieni ciepła od użytkowników i urządzeń w budynkach mieszkalnych – terminarz (z ISO 13790:2008)

Dni	Godziny	Pokój dzienny i kuchnia ($\Phi_{int,0c} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]	Pomieszczenia nieklimatyzowane (np. sypialnie) ($\Phi_{int,0c} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]
Poniedziałek- Piątek	07:00 - 17:00	8,0	1,0
	17:00 - 23:00	20,0	1,0
	23:00 - 07:00	2,0	6,0
Sobota- Niedziela	07:00 - 17:00	8,0	2,0
	17:00 - 23:00	20,0	4,0
	23:00 - 07:00	2,0	6,0

3.3.3.1.4 SOLARNE ZYSKI CIEPŁA

Ten typ zysków ciepła jest ważną zmienną w równaniu bilansu ciepłego budynku. Ogólne równanie do ich wyliczenia jest następujące:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Równanie (3.19)

gdzie:

$\Phi_{sol,mn,k}$ – uśredniona w czasie wielkość strumienia ciepła od solarnego źródła (W);

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ – uśredniona w czasie wielkość strumienia ciepłego ze źródła solarnego, znajdującego się w przyległym, nieogrzewanym / niechłodzonym pomieszczeniu (W);

$b_{tr,l}$ – współczynnik redukcyjny dla sąsiadującego nieogrzewanego / niechłodzonego pomieszczenia;

t – długość miesiąca (Ms).

Niezbędne jest wyznaczenie efektywnej powierzchni zbierającej promieniowanie słoneczne dla każdego elementu wystawionego na jego działanie. Metody podane w ISO 13790:2008 pozwalają na uwzględnienie efektu zacienienia spowodowanego obecnością urządzeń zacieniających, zacienienia od samego budynku oraz innych klimatycznych zjawisk. Opisano to w kolejnych rozdziałach.

Przepływ ciepła związany z zyskami solarnymi jest obliczany z równania

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}$$

Równanie (3.20)

gdzie:

$F_{sh,ob,k}$ – współczynnik redukcyjny na zacienienie od zewnętrznych przeszkód (-);

$A_{sol,k}$ – efektywna powierzchnia elementu k (-);

$I_{sol,k}$ – efektywna powierzchnia zbierająca promieniowanie elementu k (W/m²);

$F_{r,k}$ – współczynnik kształtu między elementem budowlanym k a nieboskłonem (-);

$\Phi_{r,k}$ – dodatkowy przepływ ciepła związany z promieniowaniem ciepłym od elementu k , a nieboskłonem (W/m²).

Współczynnik redukcyjny na zacienienie przez przeszkody zewnętrzne $F_{sh,ob,k}$ jest pomijany w niniejszej wersji AMECO. Efektywna powierzchnia zbierająca promieniowanie słoneczne elementów przeszkłonych jest obliczana ze wzoru:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}$$

Równanie (3.21)

gdzie:

$F_{sh,gl}$ – współczynnik redukcyjny na zacinienie od ruchomych elementów zacinających (-);

g_{gl} – sumaryczna wartość przenoszenia energii przez przezroczyste części elementu (-);

F_F – udział ramy w powierzchni okna (-);

$A_{w,p}$ – całkowita powierzchnia okna wystawiona na działanie promieniowania słonecznego (m²).

Możliwe jest wzięcie pod uwagę pozytywnego efektu (np. w trakcie sezonu chłodzenia) wynikającego ze stosowania urządzeń zacinających na oknach. W tym celu należy wyznaczyć współczynnik redukcyjny na zacinienie wywołane zastosowaniem takiego urządzenia poprzez wykonanie obliczeń wg równania:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}}{g_{gl}}$$

Równanie (3.22)

gdzie:

g_{gl+sh} – sumaryczna przepuszczalność energii przez okno z zaciągniętą zasłoną;

$f_{sh,with}$ – ważony udział czasu użytkowania zasłony (urządzenia zacinającego).

Przyjęte wartości przepuszczalności (transmisji) energii przez okna z zasłoną zaciągniętą / aktywowanym urządzeniem zacinającym g_{gl+sh} , przedstawiono w Tablica 3.14 zgodnie z RCCTE (2006).

Tablica 3.14. Wartości przepuszczalności energii przez okna z zasłoną zaciągniętą/aktywowanym urządzeniem zacinającym, g_{gl+sh}

Typ urządzenia zacinającego	Kolor		
	Jasny	Pośredni	Ciemny
Zewnętrzna roleta aluminiowa bez izolacji	0,03	0,05	0,06
Zewnętrzna drewniana zasłona/okiennica (bez izolacji)	0,04	0,05	0,07
Zewnętrzna roleta drewniana bez izolacji	0,04	0,07	0,09
Zewnętrzna roleta plastikowa bez izolacji	0,04	0,07	0,09
Zewnętrzna żaluzja drewniana wenecka	0,08	0,08	0,08
Zewnętrzna żaluzja metalowa wenecka	0,09	0,09	0,09
Zewnętrzna roleta nieprzezroczysta	0,04	0,06	0,08
Zewnętrzna roleta przezroczysta	0,16	0,18	0,2
Wewnętrzna roleta	0,47	0,59	0,69
Wewnętrzna zasłona nieprzezroczysta	0,37	0,46	0,55
Wewnętrzna zasłona przezroczysta	0,39	0,48	0,58
Wewnętrzna zasłona drewniana (nieprzezroczysta)	0,35	0,46	0,58
Plastikowa roleta z wypełnieniem piankowym	0,04	0,07	0,09
Żaluzja drewniana o grub. 25 mm do 30 mm	0,04	0,05	0,07

Ważony udział czasu użytkowania zasłony (urządzenia zacinającego) $f_{sh,with}$ jest wyliczany dla każdej orientacji w oparciu o godzinowe wartości napromieniowania słonecznego (oznaczonego przy użyciu EnergyPlus, który bazuje na modelu obliczeniowym Pereza). Określa on udział czasu, w którym natężenie promieniowania słonecznego jest większe od zadanej wartości dla danej orientacji. W przypadku okien z szybami nierozpraszającymi promieniowania oraz bez urządzeń zacinających całkowita przepuszczalność energii słonecznej g_{gl} jest wyliczana ze wzoru:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \cdot F_w$$

Równanie (3.23)

gdzie:

F_w – współczynnik korekcyjny dla oszklenia nierozpraszającego energii (-);

$g_{gl,n}$ – przepuszczalność energii słonecznej dla promieniowania padającego prostopadle do szyby lub SHGC (solarny współczynnik zysku cieplnego) (-).

Jednakże, jeśli okno ma urządzenie zacinające lub szyba rozprasza energię, wówczas konieczne jest wyliczenie uśrednionej w czasie przepuszczalności energii w oparciu o ważoną sumę bezpośredniego i rozproszonego udziału

promienienia słonecznego. Ten parametr wylicza się dla okresu miesięcznego zgodnie z równaniem (3.24)

$$g_{gl} = a_{gl} \cdot g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) \cdot g_{gl,dif}$$

Równanie (3.24)

$$alt_g = \frac{\sum_1^n \alpha_i \cdot I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{dir,i}}$$

Równanie (3.25)

$$a_{gl} = \frac{\sum_1^n I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{sol,i}}$$

Równanie (3.26)

gdzie:

a_{gl} – ważony współczynnik zależny od pozycji okna (orientacji, nachylenia), klimatu i sezonu (-);

$g_{gl,alt}$ – przepuszczalność energii dla promieniowania słonecznego o określonym kącie padania, wynikającym z szerokości geograficznej alt_{gl} , reprezentacyjna dla pozycji okna (orientacja, nachylenie), klimatu i sezonu (-);

$g_{gl,dif}$ – przepuszczalność energii słonecznej dla równomiernie rozproszonego światła (-);

$I_{dir,i}$ – bezpośrednia wartość natężenia promieniowania słonecznego w godzinie i (W/m^2);

I_{sol} – całkowita, średnia wartość natężenia promieniowania słonecznego w godzinie i (W/m^2);

α_i – kąt nachylenia słońca ($^{\circ}$);

n – ilość godzin w danym miesiącu.

Bezpośrednie oraz całkowite promieniowanie, a także kąt padania promieni słonecznych $I_{dir,i}$, I_{sol} oraz α_i , wyznaczono przy użyciu programu *EnergyPlus*, który bazuje na modelu obliczeniowym Pereza i umożliwia wykonanie obliczeń związanych z promieniowaniem słonecznym.

Cząstkowy udział ramy w oknie F_F jest obliczany w oparciu o normę ISO 10077-1: 2006. Można użyć wartości 0,2 lub 0,3, które dają maksymalną wartość przepuszczalności dla okna. Jako wartość domyślną przyjęto 0,3 (patrz ISO 13790, p. 11.4.5).

Całkowita, wystawiona na działanie promieniowania powierzchnia okna $A_{w,p}$, obejmuje szybę i ramę, dlatego właściwości cieplne przypisane oknom także obejmują ich całość (oszklenie + rama). Ta metodologia jest ponadto rekomendowana przez ISO 13789:2007 w załączniku B.

Wartość efektywnej powierzchni zbierającej promieniowanie słoneczne dla elementów nieprzezroczystych jest obliczana z równania:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

Równanie (3.27)

gdzie:

$\alpha_{s,c}$ – bezwymiarowy współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego przez element nieprzezroczysty;

R_{se} – współczynnik oporu cieplnego powierzchni zewnętrznej elementu nieprzezroczystego wyznaczany z ISO 6946:2007 ($m^2 \cdot K/W$);

U_c – współczynnik przenikania ciepła elementu nieprzezroczystego, obliczony zgodnie z ISO 6946:2007 ($W/m^2 \cdot K$);

A_c – wielkość wyeksponowanej powierzchni elementu (w kierunku płaszczyzny równoległej do powierzchni) (m^2).

Wielkość bezwymiarowego współczynnika pochłaniania (absorpcji) promieniowania słonecznego zależy od koloru powierzchni zewnętrznej elementu nieprzezroczystego, jak to przedstawiono w tablicy 3.15 (RCCTE, 2006).

Tablica 3.15. Współczynnik oporu cieplnego powierzchni zewnętrznej elementu nieprzezroczystego (RCCTE, 2006)

Kolor	$\alpha_{s,c}$
Jasny	0,3
Średni	0,5
Ciemny	0,8

Wartość natężenia promieniowania słonecznego $I_{sol,k}$ jest średnią wartością dla okresu obliczeniowego jednego miesiąca. Jest ona zależna od klimatu, szerokości geograficznej, pozycji (orientacji, nachylenia).

Współczynnik kształtu między elementem a nieboskłonem $F_{r,k}$ ma wartość określoną na 1,00 albo 0,5 – odpowiednio dla pionowych oraz poziomych elementów.

Promieniowanie cieplne do nieboskłonu $\Phi_{r,k}$ jest wliczone do zysków słonecznych. Jednakże niniejszy transfer ciepła przez promieniowanie wynika z różnicy temperatur między powierzchnią elementu (przyjętą jako równą temperaturze zewnętrznej) a nieboskłonem. Równanie (3.28) podaje wyliczenie tej wartości przenoszenia ciepła

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$$

Równanie (3.28)

gdzie:

h_r – współczynnik radiacyjnego przenikania ciepła ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$);

$\Delta\theta_{er}$ – średnia różnica między temperaturą powietrza zewnętrznego a pozorną temperaturą nieboskłonu ($^{\circ}\text{C}$).

Norma ISO 13790:2008 postuluje przyjęcie wartości radiacyjnego współczynnika przenikania ciepła h_r ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$), jako 5ε (gdzie ε jest emisyjnością materiału), co odpowiada temperaturze 10°C powierzchni i temperaturze nieboskłonu.

Zgodnie z ISO 13790 (punkt 11.4.6) wartości średniej różnicy temperatur między temperaturą zewnętrznego powietrza a pozorną temperaturą nieboskłonu $\Delta\theta_{er}$, można przyjąć jako 9°C dla strefy subpolarnej, 13°C dla tropików i 11°C dla regionów pośrednich.

3.3.3.1.5 CZYNNIKI DYNAMICZNE

Dla okresu grzania współczynnik wykorzystania zysków $\eta_H \eta_{H,gn,m}$ określony jest przez następujące równania:

$$\text{jeżeli } \gamma_H > 0 \text{ i } \gamma_H \neq 1, \text{ wtedy} \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

Równanie (3.29)

$$\text{jeżeli } \gamma_H = 1, \text{ wtedy} \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1}$$

Równanie (3.30)

$$\text{jeżeli } \gamma_H < 0, \text{ wtedy} \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}$$

Równanie (3.31)

gdzie:

$\gamma_H = Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$ – iloraz zysków i strat cieplnych;

$a_H = a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}$ – bezwymiarowy parametr;

$\tau = C_m/H$ – stała czasowa dla strefy budynku i uwzględniająca jego bezwładność cieplną oraz przepływ ciepła na drodze przenikania i przez wentylację;

$a_{H,0}$ i $\tau_{H,0}$ – bezwymiarowe parametry przyjmujące odpowiednio wartość 1 i 15 (ISO 13790).

Miesięczny współczynnik wykorzystania zysków dla trybu chłodzenia wyznacza się wykorzystując jedno spośród poniższych równań:

$$\text{jeżeli } \gamma_C > 0 \text{ i } \gamma_C \neq 1, \text{ wtedy } \eta_{C,Is} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

Równanie (3.32)

$$\text{jeżeli } \gamma_C = 1, \text{ wtedy } \eta_{C,Is} = \frac{a_C}{a_C + 1}$$

Równanie (3.33)

$$\text{jeżeli } \gamma_C < 0, \text{ wtedy } \eta_{C,Is} = 1$$

Równanie (3.34)

Parametry użyte do wyliczania wartości współczynnika wykorzystania zysków η są podobne do tych samych parametrów dla trybu ogrzewania, ale ich oznakowanie odpowiada trybowi chłodzenia (wartości bezwymiarowych parametrów $a_{C,0}$ i $\tau_{C,0}$ przyjmuje się odpowiednio: 1 i 15 na podstawie ISO 1790).

Bezwładność (masa) budynku jest wprowadzona do obliczeń za pośrednictwem stałej czasowej dla strefy budynku τ wyrażonej w godzinach. Tę wartość oblicza się z równania (3.35):

$$\tau = \frac{C_m}{3600 (H_{tr,adj} + H_{ve,adj})}$$

Równanie (3.35)

gdzie:

C_m – wewnętrzna pojemność cieplna budynku lub strefy budynku (J/K);

$H_{tr,adj}$ – reprezentatywny współczynnik przepływu ciepła otrzymywany z równania (3.9);

$H_{ve,adj}$ – reprezentatywny współczynnik przepływu ciepła otrzymywany z Równanie (3.15).

Wewnętrzna pojemność cieplna budynku C_m (J/K) została wyliczona jako suma pojemności cieplnej wszystkich elementów konstrukcyjnych budynku, będących w bezpośrednim kontakcie z powietrzem wewnętrznym (ISO 13790), jak to przedstawia równanie 3.36:

$$C_m = \sum_j k_j \cdot A_j$$

Równanie (3.36)

gdzie:

k_j – wewnętrzna pojemność cieplna liczona na m^2 elementu j konstrukcji budynku j (J/K. m^2);

A_j – powierzchnia elementu j konstrukcji budynku (m^2).

Wewnętrzna pojemność cieplna w przeliczeniu na jednostkę powierzchni k_j została obliczona dla każdego dużego elementu zgodnie z wytycznymi załącznika A normy EN ISO 13786:2007, które to wytyczne uwzględniają uproszczoną metodę oceny tej wielkości.

Dla szybkiego wyznaczenia wewnętrznej pojemności cieplnej budynku ISO 13790 dostarcza wartości standardowe (domyślne) przeliczone na m^2 dla danej klasy budynku. Są one przedstawione w tablicy 3.16 dla miesięcznej i sezonowej metodyki.

Tablica 3.16. Wartości standardowe (domyślne) dla wewnętrznej pojemności cieplnej (ISO 13790:2008)

Klasa	C_m [J/K]
Bardzo lekka	$80000 \cdot A_f$
Lekka	$110000 \cdot A_f$
Średnia	$165000 \cdot A_f$
Ciężka	$260000 \cdot A_f$
Bardzo ciężka	$370000 \cdot A_f$

A_f – powierzchnia podłogi

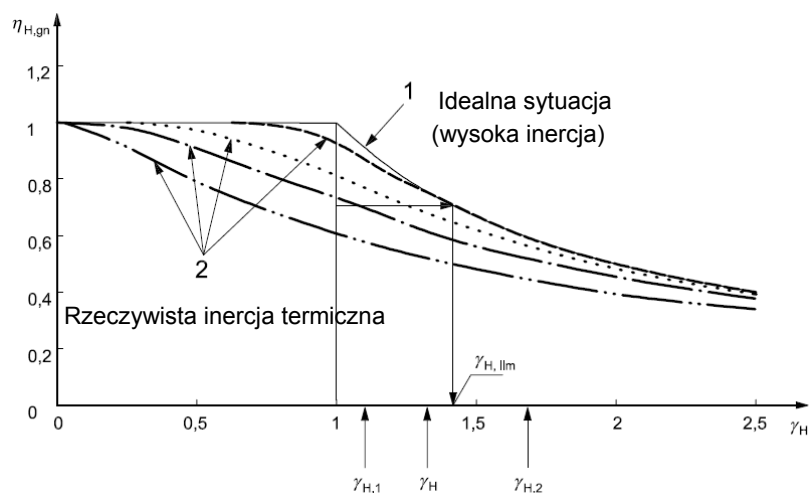
Długość sezonu grzewczego i okresu chłodzenia

W celu oszacowania sezonu (miesiące) zapotrzebowania na energię do ogrzewania albo chłodzenia ISO 13790 proponuje dwie metody bazujące odpowiednio na ilorazie zysków i strat cieplnych oraz na bezwymiarowych parametrach a_C i a_H .

Chociaż norma ISO 13790 proponuje dwie metody, w niniejszym dokumencie szczegółowo zaprezentowana zostanie jedynie metoda b (p. 7.4.1.1), gdyż jest ona możliwa do zaadoptowania w stosowanym narzędziu (*algorytmie*).

Okres grzewczy

Oszacowanie udziału części miesiąca, w której występuje zapotrzebowanie na energię do ogrzewania pomieszczeń, zaczyna się od obliczenia wartości ilorazu zysków i strat energii grzewczej $\gamma_{H,lim}$, odpowiadającej wartości współczynnika wykorzystania energii $\eta_{H,gn}$. Ten ostatni współczynnik przyjmuje wartość, przy której zapotrzebowanie na energię grzewczą osiąga wartość zerową. To podejście zakłada, że w budynku idealnym o nieskończonej bezwładności cieplnej $\gamma_{H,lim} = 1,0$ i odpowiadająca jej wartość $\eta_{H,gn} = 1,0$. Z uwagi na fakt, że rzeczywiste budynki wykazują skończoną wartość bezwładności cieplnej – nie wszystkie zyski ciepłe są wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń i współdziałają w procesie podwyższania temperatury wewnętrznej do temperatury komfortu cieplnego (w związku z przegrzewaniem). W związku z tym rzeczywista wartość współczynnika wykorzystania energii jest mniejsza i konieczne jest powiększenie zysków dla zbilansowania równania bilansu (żeby zapotrzebowanie na energię wyniosło zero). To rozumowanie przestaje być ważne dla przepływu energii (jeśli stosunek zysków do strat ciepła jest mniejszy od 1 oznacza to, że straty ciepła są większe od zysków; ponieważ współczynnik wykorzystania ciepła nie może przyjąć wartości większej od 1, przez to nie jest możliwe zmniejszenie zapotrzebowania na energię do poziomu zerowego, czyli nie jest też możliwe oznaczenie optimum wartości stosunku zysków do strat mniejszej od 1,0. Zostało to graficznie zilustrowane na rysunku 3.10.



Rys. 3.10. Czynniki właściwe do oznaczenia części okresu miesięcznego o zapotrzebowaniu energii na potrzeby ogrzewania lub chłodzenia (ISO 13790)

Optimum stosunku zysków do strat ciepła jest wyliczane ze wzoru:

$$\gamma_{H,lim} = \frac{(a_H + 1)}{a_H}$$

Równanie (3.37)

Do obliczenia części okresu miesięcznego o zapotrzebowaniu na energię grzewczą należy oznaczyć γ_H dla początku i końca miesiąca. Średnią wartość γ_H dla początków miesięcy wylicza się ze średnich wartości γ_H dla danego miesiąca i dla miesiąca poprzedzającego. Ten sam parametr γ_H dla końca miesiąca otrzymuje się jako średnią γ_H dla końca danego miesiąca i miesiąca następnego. Ponadto potrzebne są dwa „nowe” parametry $\gamma_{H,1}$ i $\gamma_{H,2}$. Pierwszy z nich otrzymuje się, wyznaczając minimalną wartość z dwóch parametrów γ_H wyliczonych w opisany wyżej sposób, zaś $\gamma_{H,2}$ odpowiada wartości maksymalnej. Te parametry ($\gamma_{H,1}$ i $\gamma_{H,2}$) stanowią wartości ilorazu zysków i strat odpowiednio dla początku i końca miesiąca i są wyznaczane ze wzorów:

$$\text{jeśli } \gamma_{H,2} < \gamma_{H,lim}, \text{ wtedy } f_H = 1$$

Równanie (3.38)

$$\text{jeśli } \gamma_{H,1} > \gamma_{H,lim}, \text{ wtedy } f_H = 0$$

Równanie (3.39)

Równanie (3.39) oznacza, że jeśli mniejsza wartość ilorazu zysków i strat dla początku i końca miesiąca jest większa od optimum, wówczas w tym miesiącu nie ma potrzeby ogrzewania pomieszczeń. Jednakże, jeśli żaden z tych warunków nie został spełniony, wówczas stosuje się następujące równania:

$$\text{jeśli } \gamma_H > \gamma_{H,lim}, \text{ wtedy } f_H = 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_{H,1}}{\gamma_H - \gamma_{H,1}}$$

Równanie (3.40)

$$\text{jeśli } \gamma_H \leq \gamma_{H,lim}, \text{ wtedy } f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_H}{\gamma_{H,2} - \gamma_H}$$

Równanie (3.41)

Te równania oparte są o to samo rozumowanie jak w przypadku równań (3.38) i (3.39), z tą różnicą, że dla równań (3.40) i (3.41) γ_H odnosi się do średniej wartości dla miesiąca, a nie do wartości z jego początku i końca.

Długość sezonu grzewczego można wyznaczyć jako sumę f_H obliczoną dla każdego miesiąca, tj.:

$$L_H = \sum_{m=1}^{12} f_{H,m}$$

Równanie (3.42)

Tryb (okres) chłodzenia

Sposób rozumowania przedstawiony dla okresu grzewczego może być zastosowany także do trybu chłodzenia. W związku z tym nie przedstawia się wyjaśniania tej metodyki. Obliczenie części miesiąca, dla której występuje zapotrzebowanie na energię do chłodzenia, jest realizowane z użyciem odwrotności optimum stosunku zysków do strat ciepła $(1/\gamma_c)_{lim}$. Parametr ten wylicza się z:

$$(1/\gamma_c)_{lim} = (a_c + 1)/a_c$$

Równanie (3.43)

Parametry graniczne $(1/\gamma_c)_1$ i $(1/\gamma_c)_2$ wyznacza się z równań (3.44) i (3.45):

$$\text{jeśli } (1/\gamma_c)_2 < (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ wtedy } f_c = 1$$

Równanie (3.44)

$$\text{jeśli } (1/\gamma_c)_1 > (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ wtedy } f_c = 0$$

Równanie (3.45)

Jeśli spełnienie żadnego z tych warunków nie zostanie potwierdzone, wówczas:

$$\text{jeśli } (1/\gamma_c) > (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ wtedy } f_c = 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_c)_{lim} - (1/\gamma_c)_1}{(1/\gamma_c) - (1/\gamma_c)_1}$$

Równanie (3.46)

$$\text{jeśli } (1/\gamma_c) \leq (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ wtedy } f_c = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_c)_{lim} - (1/\gamma_c)}{(1/\gamma_c)_2 - (1/\gamma_c)}$$

Równanie (3.47)

Sezon chłodniczy można też wyznaczyć poprzez zsumowanie wszystkich wartości f_c każdego z miesięcy, jak to przedstawiono w postaci równania (3.48):

$$L_C = \sum_{m=1}^{12} f_{C,m}$$

Równanie (3.48)

Zapotrzebowanie na energię dla systemów działających w trybie nieciągłym

Jeśli system HVAC działa zgodnie z (zadany) kalendarzem (czyli w trybie nieciągłym) ISO 13790:2008 dostarcza wytycznej dla wyznaczenia zredukowanego zapotrzebowania na energię, opartej na obliczeniach dla trybu ciągłego, jak przedstawiono w równaniach Równanie (3.6) i Równanie (3.7). Jest to realizowane poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania: Q_H , $Q_{H,nd}$ i $Q_{C,nd}$, dzięki zastosowaniu bezwymiarowych współczynników redukcyjnych dla nieciągłego ogrzewania i chłodzenia: $a_{C,red}$ i $a_{H,red}$. Udziały cząstkowe miesiąca o zapotrzebowaniu energii w trybach ogrzewania i chłodzenia $f_{H,m}$ i $f_{C,m}$ mają tu również zastosowanie. Tak więc:

$$Q_{H,nd,interm,m} = f_{H,m} \cdot a_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont,m}$$

Równanie (3.49)

$$Q_{C,nd,interm,m} = f_{C,m} \cdot a_{C,red} \cdot Q_{C,nd,cont,m}$$

Równanie (3.50)

Stała czasowa budynku τ i ilorazy zysków do strat ciepła γ_H i γ_C również mają wpływ na współczynniki redukcyjne zapotrzebowania na energię dla trybu nieciągłego pracy systemu HVAC, jak to można zauważyć w następujących równaniach:

$$a_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot \frac{\tau_{H,0}}{\tau} \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}), \text{ z } f_{H,hr} \leq a_{H,red} \leq 1,0$$

Równanie (3.51)

$$a_{C,red} = 1 - b_{C,red} \cdot \frac{\tau_{C,0}}{\tau} \cdot \gamma_C \cdot (1 - f_{C,day}), \text{ z } f_{C,day} \leq a_{C,red} \leq 1,0$$

Równanie (3.52)

gdzie:

b_{red} – stały czynnik, którego wartość przyjęto jako równą 3 (zarówno dla trybu grzania, jak i chłodzenia);

$f_{H,hr}$ – przedstawia liczbę godzin, których system działa;

$f_{C,day}$ – przedstawia liczbę dni w tygodniu, których system działa.

3.3.3.2 Zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU)

Zapotrzebowanie na energię do wytwarzania CWU w MJ/miesiąc jest wyliczane zgodnie z EN 15316-3-1:2007. Mają na nie wpływ: rodzaj budynku, powierzchnia podłóg i różnica temperatur między wodą dochodzącą do budynku, a tą w kranach i w punktach odbioru, zgodnie z równaniem:

$$Q_{DHW,nd,m} = 4,182 \cdot V_{W,m} \cdot (\theta_{W,t} - \theta_{W,o})$$

Równanie (3.53)

gdzie:

$V_{W,m}$ – objętość wody zgodna z zapotrzebowaniem miesięcznym CWU, jak to przedstawia EN 15316-3-1:2007;

$\theta_{W,t}$ – temperatura CWU w miejscach poboru (kranach) [°C];

$\theta_{W,o}$ – temperatura wody wpływającej do budynku [°C].

Dzienne zapotrzebowanie na CWU dla domu jednorodzinnego wylicza się w oparciu o powierzchnię podłóg w m³/dobę, jak podano niżej:

$$V_w = \frac{a \cdot N_U}{1000}$$

Równanie (3.54)

gdzie:

a – jednostkowe, dzienne zapotrzebowanie określające ilość litrów wody o temperaturze 60°C;

N_U – ilość jednostek, które należy uwzględnić w obliczeniach.

Miesięczne zapotrzebowanie na CWU $V_{w,m}$ można otrzymać przez przemnożenie dziennej wartości V_w przez ilość dni w miesiącu. Parametry a i N_U zależą od rodzaju budynku oraz od aktywności użytkowników i mogą być wyliczone na podstawie powierzchni podłóg A_f zgodnie z równaniem

$$\text{jeśli } A_f > 30\text{m}^2, \text{ wtedy } a = \frac{62 \cdot \ln(A_f) - 160}{A_f}$$

Równanie (3.55)

$$\text{jeśli } 15 \leq A_f \leq 30\text{m}^2, \text{ wtedy } a = 2$$

Równanie (3.56)

3.3.3.3 Zużycie energii

Wyliczone zapotrzebowanie na energię nie uwzględnia sprawności systemów zainstalowanych w budynku do klimatyzowania pomieszczeń ani do przygotowania CWU. Algorytm uwzględnia, że budynek może mieć systemy o różnych sprawnościach, gdyż nieczęsto się zdarza, aby np. wartości współczynnika sprawności COP do ogrzewania i chłodzenia były takie same. Tak więc każde cząstkowe zapotrzebowanie na energię (na chłodzenie pomieszczeń, ich ogrzewanie, przygotowanie CWU) jest uzależnione od sprawności zastosowanych urządzeń. Poniższy, ogólny wzór do obliczania zużycia energii może być zastosowany do każdego rodzaju zapotrzebowania na energię:

$$Q_{cons} = \frac{Q_{nd}}{\eta_{sys}}$$

Równanie (3.57)

gdzie:

Q_{nd} – zapotrzebowanie na energię;

η_{sys} – sprawność systemu.

Przyjęte w tablicach 3.17, 3.18 i 3.19 wartości domyślne (standardowe) do sprawności zostały zaadoptowane głównie z RCCTE (2006).

Tablica 3.17. Sprawności systemów grzewczych

System grzewczy	$\eta_{H,sys}$	Typ energii
Piec elektryczny	1	Prąd
Piec gazowy	0,87	Gaz
Piec na paliwa płynne	0,8	Paliwa
Piec na paliwa stałe	0,6	Paliwa stałe
Pompa ciepła	4	Prąd

Tablica 3.18. Sprawności systemów chłodniczych

System grzewczy	$\eta_{C,sys}$	Typ energii
Pompa ciepła	3	Prąd
Chłodziarka kompresyjna	3	Prąd
Chłodziarka absorbcyjna	0,8	Prąd

Tablica 3.19. Sprawności systemów CWU

System grzewczy	$\eta_{DHW,sys}$	Typ energii
Boiler elektryczny	0,9	Prąd
Boiler gazowy	0,6	Gaz
Podgrzewacz kondensacyjny	0,72	Gaz
Podgrzewacz	0,4	Gaz

Całkowite zużycie energii przez budynek jest otrzymywane przez zsumowanie wszystkich rodzajów zużycia:

$$Q_{Tot,cons} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,sys}} + \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,sys}} + \frac{Q_{DHW,nd}}{\eta_{DHW,sys}}$$

Równanie (3.58)

Energia pierwotna jest obliczana przez pomnożenie wartości współczynnika konwersji F_{pu} [kgoe/kWh] przez zużycie energii,

$$Q_{Tot,prim} = F_{H,pu} \cdot Q_{H,cons} + F_{C,pu} \cdot Q_{C,cons} + F_{DHW,pu} \cdot Q_{DHW,cons}$$

Równanie (3.59)

Współczynnik konwersji z energii zużytej na energię pierwotną zależy od paliwa (lub rodzaju energii) dla każdego z systemów. Wartości standardowe (domyślne) zostały wzięte z RCCTE (2006) i przedstawione w Tablica 3.20.

Tablica 3.20. Współczynniki konwersji z energii zużytej na pierwotną (RCCTE, 2006)

Typ energii	F_{pu} [kgoe/kWh]
Elektryczność	0,29
Gaz, paliwa ciekłe i stałe	0,086

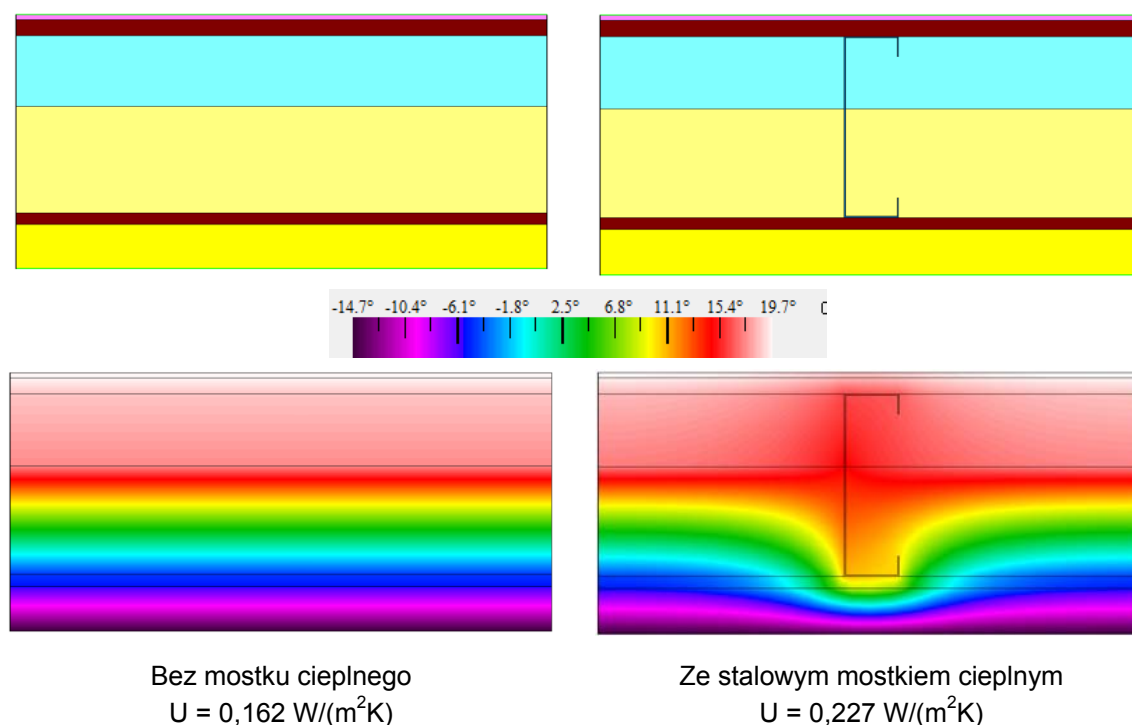
3.3.3.4 Bezwładność cieplna

W odniesieniu do bezwładności cieplnej obliczenia pojemności cieplnej budynku C_m przeprowadzono zgodnie ze sposobem sugerowanym w ISO 13790 i wcześniej przedstawionym w równaniu (3.36). Wewnętrzna pojemność cieplna przeliczona na powierzchnię każdego makroelementu została obliczona zgodnie z formułą zawartą w załączniku A normy EN ISO 13786:2007. Jest to uproszczona podstawa proceduralna w odniesieniu do głębokości wnikania fali promieniowania cieplnego obliczonej dla materiału przyległego do powierzchni wnętrza (przestrzeni wewnętrznej), co jest odpowiednie do tego typu obliczeń. W przypisanej metodzie uwzględnia się pojemność cieplną warstw aż do maksymalnej ich grubości 100 mm (licząc od powierzchni wnętrza).

3.3.3.5 Mostki cieplne

Effekt powtarzalnych mostków cieplnych (np. wynikających z obecności stalowych słupów, jak to przedstawiono na rys. 3.11) we wnętrzu elementów konstrukcji (np. ściany czy płyty) jest brany pod uwagę w przenikaniu ciepła (wartości U). Efekt

liniowych i punktowych mostków cieplnych jest pomijany. Ta wartość U jest zawarta w softwarowej bazie danych dla każdego makroelementu.



Rys. 3.11. Wpływ mostków cieplnych (zewnętrznych lekkich ram stalowych) na wartość U

Wartości U elementów tworzących mostki zostały wyznaczone metodą przedstawioną w części 6 ISO 6946:2007 i udoskonaloną przez Gorgolewskiego (2007), gdyż pierwotna wersja możliwa jest do zastosowania jedynie jeśli warstwa izolacji nie jest mostkowana przez obecność stalowej ramy. Druga metoda opiera się na wyznaczaniu dwóch wartości granicznych dla oporu cieplnego elementów konstrukcyjnych i czynników korekcyjnych zależnych od wymiarów słupów i odstępów. Mniejsza wartość graniczna obliczana jest z kombinacji równoległych oporów dla warstw, tzn. przyjmując, że każda płaszczyzna wykazuje tę samą temperaturę. Górna wartość graniczna oporu cieplnego jest wyznaczana przez zsumowanie oporów dla każdej ścieżki przepływu ciepła.

Jeśli element nie zawiera mostków cieplnych, wówczas stosuje się metodę do warstw jednorodnych, uwzględniając obwody oporów cieplnych w serii.

3.3.4 Kalibracja algorytmu

W celu zweryfikowania i ewentualnego poprawienia precyzji algorytmu stosowanego do prognozowania zużycia energii użytkowej na potrzeby ogrzewania i chłodzenia budynku opartą na metodyce miesięcznej dla stanu quasi-statycznego (quasi-

ustalonego) wg ISO 13790, wykonano szereg prób i sprawdzeń wg procedur kalibracyjnych.

Po pierwsze dokładność algorytmu miesięcznego sprawdzono poprzez jego użycie w dwunastu przypadkach badawczych określonych w EN 15265 dla pojedynczego pomieszczenia biurowego. Następnie, z uwagi na fakt, że rzeczywiste budynki stanowią dużo bardziej złożone układy o większej ilości pomieszczeń, algorytm został poddany kalibracji na budynku mieszkalnym o wielu pomieszczeniach, przy badaniu którego użyto współczynników korekcyjnych stosowanych w czterech głównych składnikach równowagi cieplnej budynków, a także – bezwymiarowych parametrów dynamicznych.

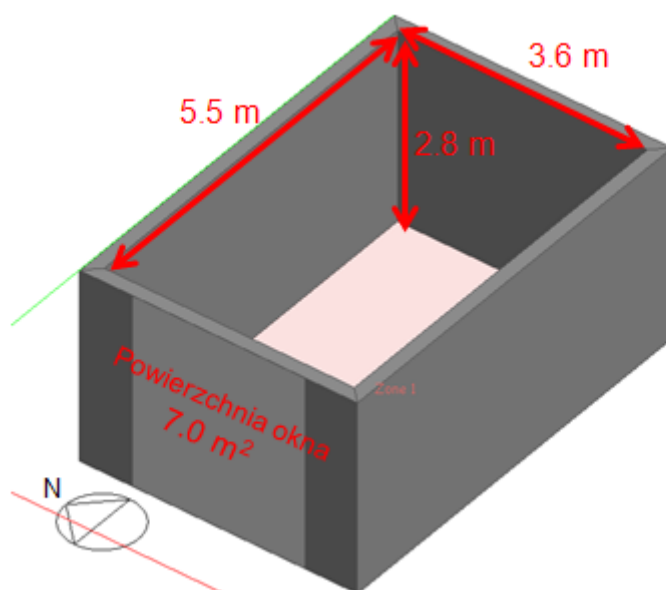
W rozdziale 4.2 otrzymany, skalibrowany algorytm, podlega walidacji poprzez jego zastosowanie do studium przypadku (niski budynek mieszkaniowy) i porównanie uzyskanych wyników z wynikami obliczeń przeprowadzonych zgodnie z zaawansowaną analizą dynamiczną przy użyciu programu DesignBuilder/EnergyPlus.

3.3.4.1 Sprawdzanie dokładności w ramach EN 15265

Niniejszy rozdział przedstawia wyniki kilku testów przeprowadzonych w celu weryfikacji dokładności miesięcznego algorytmu przy użyciu 12 przypadków badawczych (tabl. 3.21) przypisanych w EN 15265:2007 do pojedynczego pomieszczenia biurowego (rys. 3.12). Powołana norma wykorzystuje referencyjne pomieszczenie z elementami przeszklenia na elewacji zachodniej i zostaje poddana analizie w różnych warunkach brzegowych, różnych przypadkach wewnętrznych i słonecznych zysków ciepła oraz w dwóch trybach ogrzewania/chłodzenia: ciągłym i przerywanym (okresowym). Dla każdego z wyróżnionych przypadków norma podaje wartość referencyjną zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia dla określonej lokalizacji (Trappes, Francja), dane klimatyczne, które są również przedstawione w postaci godzinowych wartości temperatury zewnętrznej i natężenia promieniowania słonecznego.

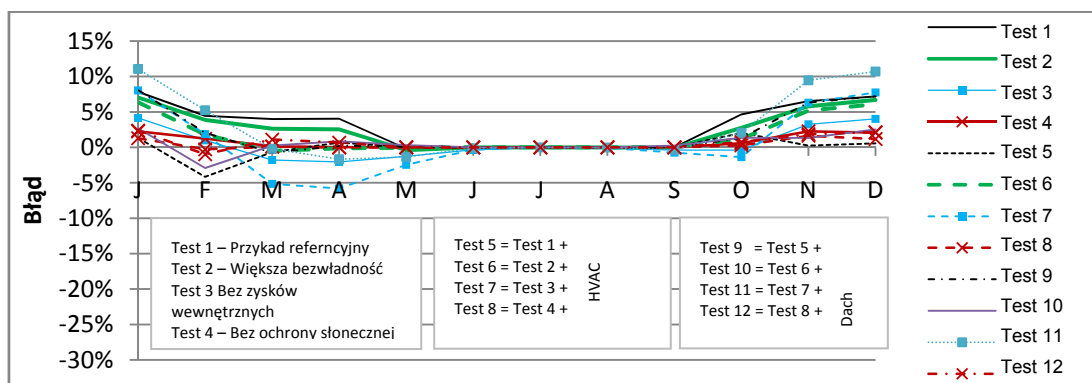
Tablica 3.21. Przykłady przypisane w EN 15265:2007 do walidacji obliczeń zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia pomieszczenia przy użyciu metody dynamicznej

Informacyjny	Normatywny	Normatywny
Test 1. Referencyjny	Test 5 = Test 1 +	Test 9 = Test 5 +
Test 2. Wysoka bezwładność	Test 6 = Test 2 +	Test 10 = Test 6 +
Test 3. Bez zysków wewnętrznych	Test 7 = Test 3 +	Test 11 = Test 7 +
Test 4. Bez ochrony przed słońcem	Test 8 = Test 4 +	Test 12 = Test 8 +

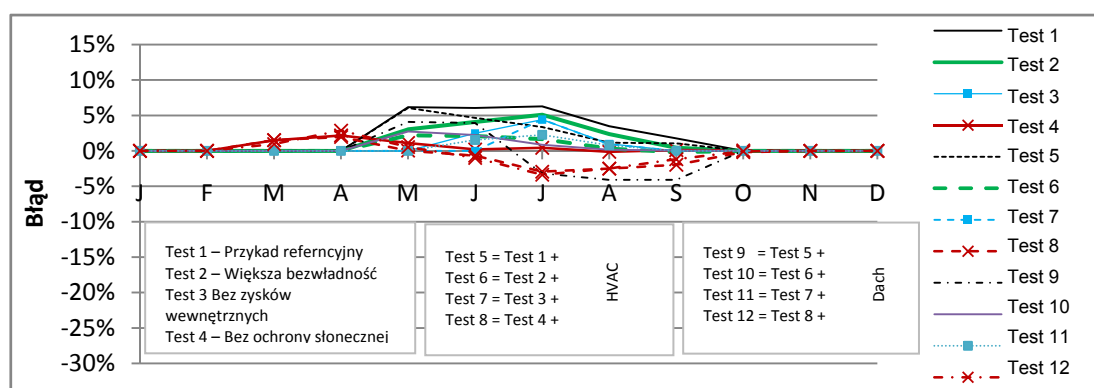


Rys. 3.12. Model pojedynczego pomieszczenia biurowego zgodnie z EN 15265

Ponieważ ważnym było ocenienie dokładności czynników uwzględnionych w bilansie cieplnym, a które zostały pominięte w EN 15265, przypadki testowe były także obliczane przy użyciu zaawansowanego, dynamicznego algorytmu symulacyjnego w programie *DesignBuilder*. Pomieszczenie badawcze zostało w pełni zdefiniowane zarówno przez dynamiczny software, jak i algorytm miesięczny w celu oszacowania zapotrzebowania na energię. Rysunek 3.13 przedstawia błędy (jako różnice w stosunku do wyników obliczeń dynamicznych na bazie algorytmu *EnergyPlus*) uzyskane przez zastosowanie podejścia quasi-statycznego dla poszczególnych miesięcy i wyliczone jako procent całorocznego zapotrzebowania energii. Maksymalny błąd miesięczny jest mniejszy od 12%, jak pokazano na rysunku 3.13. Błąd jest większy w miesiącach letnich i zimowych odpowiednio do trybów chłodzenia i ogrzewania.



a) Ogrzewanie



b) Chłodzenie

Rys. 3.13. Miesięczne błędy algorytmu (z miesięcznej metody stanu quasi-stacynnego) w odniesieniu do wyników obliczeń referencyjnych EnergyPlus (zaawansowanej, godzinowej metody dynamicznej)

3.3.4.2 Współczynniki kalibracyjne

Metodyka miesięczna stanu quasi-statycznego zawiera w sobie kilka uproszczeń w porównaniu do zaawansowanych symulacji dynamicznych (opartych o dane godzinowe). Kilka czynników składa się na wspomniane różnice:

- (i) dynamiczne, miesięczne wskaźniki wykorzystania zysków $\eta_{H,gn,m}$ i $\eta_{C,ls,m}$ przyjęto jako stałe i niezależne od warunków klimatycznych oraz schematu (terminarza) użytkowania w ramach każdego regionu klimatycznego;
- (ii) różne wartości cieplne Q_{tr} , Q_{ve} , Q_{int} i Q_{sol} są wyliczane dla stałych temperatur wewnętrznych, jak to określono poprzez ustalenie założeń dla sezonów grzewczego i chłodniczego.

Dane klimatyczne i terminarz użytkowania, a także położenie budynku, pośrednio wpływają również na powyższe parametry.

W związku z powyższym mimo dobrej zgodności miesięcznej metody stanu quasi-statycznego w odniesieniu do przypadków testowych przepisanych w EN 15265, właściwości cieplne rzeczywistych budynków o dużo bardziej skomplikowanym układzie, warunkach wykorzystania i różnej charakterystyce klimatycznej, mogą w sposób znaczny odbiegać od wyników otrzymanych dzięki tej uproszczonej metodzie. Zwrócono na ten fakt uwagę w ISO 13790, gdzie odnotowane różnice mogą zawierać się w granicach od 50% do 150%, z czego wynikają procedury wprowadzające miesięczne współczynniki wykorzystania (załącznik 1 do ISO 13790). W celu minimalizacji możliwego rozrzutu wyników nowe współczynniki korekcyjne zostały zdefiniowane i skalibrowane w celu poprawy dokładności szacowania różnych danych energetycznych: (i) przenoszenia ciepła przez przenikanie; (ii) przenoszenia ciepła przez wentylację; (iii) wewnętrznych zysków ciepła oraz: (iv) solarnych zysków ciepła, jak to przedstawiają równania (3.60) do (3.62).

$$H_{tr,adj,c} = f_{tr} \cdot H_{tr,adj} \rightarrow Q_{tr,m} = H_{tr,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Równanie (3.60)

$$H_{ve,adj,c} = f_{ve} \cdot H_{ve,adj} \rightarrow Q_{ve,m} = H_{ve,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Równanie (3.61)

$$Q_{gn} = f_{int} \cdot Q_{int,m} + f_{sol} \cdot Q_{sol,m}$$

Równanie (3.62)

gdzie:

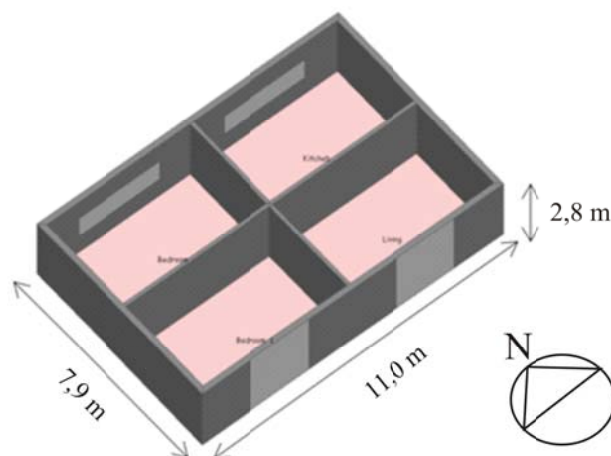
- $H_{tr,adj,c}$ – skorygowana wartość przenoszenia ciepła przez przenikanie;
- f_{tr} – współczynnik korekcyjny dla przenoszenia ciepła przez przenikanie;
- $H_{ve,adj,c}$ – skorygowana wartość przenoszenia ciepła przez wentylację;
- f_{ve} – współczynnik korekcyjny przenoszenia ciepła przez wentylację;
- f_{int} – współczynnik korekcyjny dla zysków wewnętrznych;
- f_{sol} – współczynnik korekcyjny dla zysków solarnych, z wyłączeniem promieniowania cieplnego do niebosłonu.

Należy zauważyć, że różne współczynniki korekcyjne zostały skalibrowane odpowiednio do każdego regionu klimatycznego.

Oprócz wcześniej wspomnianych współczynników korekcyjnych dla czterech głównych komponentów przepływu ciepła, skalibrowano także – dla każdego regionu klimatycznego – bezwymiarowe parametry a_{H0} , τ_{H0} , a_{C0} i τ_{C0} .

Ponieważ miesięczny algorytm ukierunkowany jest na prognozowanie zapotrzebowania na energię całych budynków, a nie pojedynczych pomieszczeń, jak EN 15265:2007 – wszystkie kalibracje były przeprowadzane na nowym zestawie

przypadków badawczych opartych na typowej charakterystyce (konstrukcji) budynków (apartamentów), jak to przedstawia rysunek 3.14.



Rys. 3.14: Przykład modelu budynku użyty w badaniach do kalibracji miesięcznego algorytmu

W wymienionych przykładach zastosowano takie same właściwości cieplne przegród zewnętrznych, jak w przypadkach badawczych wykorzystanych w EN 15265:2007 (patrz tabl. 3.22), ale przy odmiennych warunkach brzegowych (nieadiabatyczne ściany i dach) oraz dla większej powierzchni podłogi ($79,2 \text{ m}^2$). Założona wartość szybkości przepływu powietrza wynosi 1,0 wymiany powietrza na godzinę (wielkość stała).

Tablica 3.22. Właściwości cieplne przegród zewnętrznych dla przykładów kalibracyjnych

Element	Wartość U [W/m ² ·K]	κ_m [J/m ² ·K]
Ściana zewnętrzna	0,493	81297
Ściana wewnętrzna	-	9146
Dach	0,243	6697
Podłoga na gruncie	-	63380

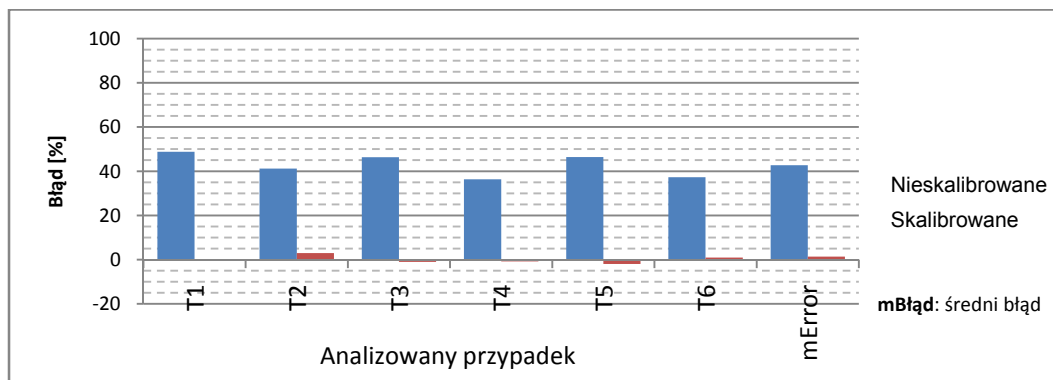
Ważna modyfikacja modeli kalibracyjnych związana jest z terminarzem użytkowania i schematem terminowym działania systemów, gdyż EN 15265:2007 dotyczy pomieszczenia biurowego. W związku z tym terminarz użytkowania i wartość zależnego od niego natężenia przepływu powietrza została przyjęta jak w ISO 13790:2008 dla budynku mieszkalnego, jak to wcześniej pokazano w tablicy 3.13. W celu sprawdzenia znaczenia powierzchni przeszklonych dla zysków słonecznych i strat ciepła przez przenikanie badano przypadki o różnym stosunku powierzchni ścian do podłóg, jak to przedstawia tablica 3.23. Posłużono się scenariuszem uwzględniającym obecność lub brak urządzenia zacieniającego.

Tablica 3.23. Główne zmienne przykładów użytych do skalibrowania narzędzia

Test	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Zacienienie
T1	35	36	54	Z
T2				BEZ
T3	25	20	40	Z
T4				BEZ
T5	15	12	24	Z
T6				BEZ

GFR: glazing to floor ratio;
 NGWR: north-oriented glazed to wall ratio;
 SGWR: south-oriented glazed to wall ratio.

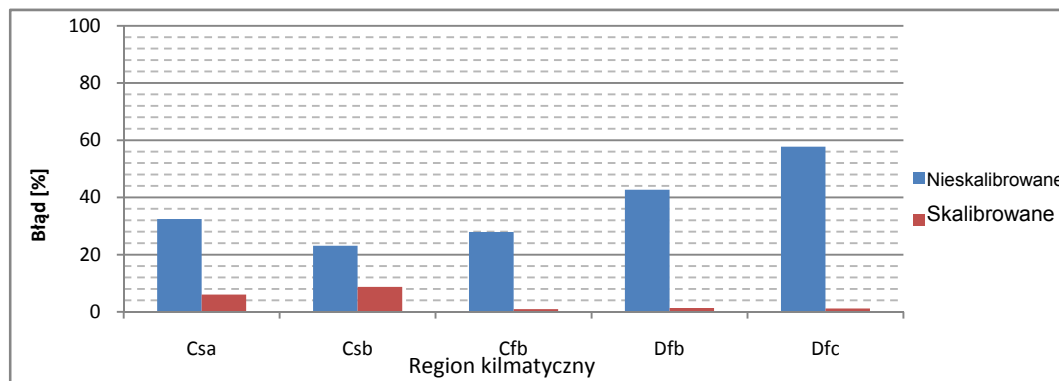
Wszystkie przypadki testowe realizowano w pięciu regionach różnych pod względem klimatycznym: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb i (v) Dfc. Współczynniki korekcyjne otrzymano poprzez minimalizację błędów dla każdego z przypadków badawczych dla każdego regionu klimatycznego, co niekiedy prowadziło do przebadania 500 przypadków. Rysunek 3.15 ilustruje poprawę dokładności poprzez porównanie błędów bez oraz ze współczynnikami korekcyjnymi dla strefy klimatycznej Dfb, pokazując poprawę z poziomu 42% błędu do mniej niż 2%.



Rys. 3.15. Poprawa dokładności metody miesięcznej wg ISO 13790 dla klimatu Dfb: całkowite zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń

Rys. 3.6 pokazuje sumaryczny efekt poprawy dokładności wyników dla pięciu stref klimatycznych, dla których realizowano badania. Warto zauważyć, że bez korekcji dokładność metody jest mniejsza dla klimatów chłodniejszych. Największy błąd odnotowano dla klimatu Dfc, zaś najmniejszy dla Csb. Miesięczna metoda wykazała mniejszą dokładność przy szacowaniu zapotrzebowania na energię dla chłodnych miesięcy, przez co porównanie z metodą dynamiczną dowodzi, że zyski są wykorzystywane w bardziej efektywny sposób do ogrzewania pomieszczeń niż przyjmowano w metodzie uproszczonej. Ten efekt jest jeszcze ważniejszy i wyraź-

niejszy, jeśli zyski słoneczne są mniejsze. Generalnie, przy uwzględnieniu współczynników korekcyjnych, wszystkie błędy są mniejsze od 10%.



Rys. 3.16. Średnie wielkości błędów metody miesięcznej bez uwzględnienia oraz po uwzględnieniu współczynników korekcyjnych

Należy też zwrócić uwagę, że zaobserwowano odmienny trend w odniesieniu do błędu dla przypadków uwzględniających obecność urządzenia zacieniającego oraz jego brak. W związku z tym czynniki korekcyjne zostały dobrane osobno dla tych dwóch przypadków. Tablice 3.24 i 3.25 przedstawiają różne współczynniki korekcyjne, podzielone według warunku stosowania ruchomego urządzenia zacieniającego.

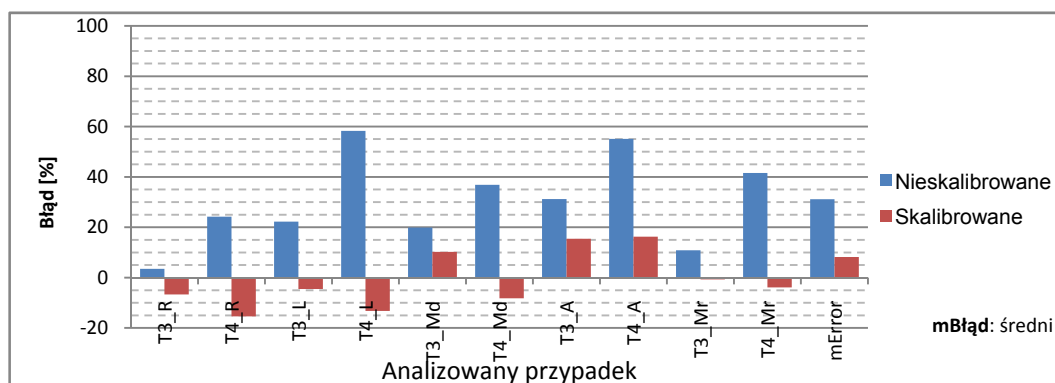
Tablica 3.24. Współczynniki korekcyjne otrzymane dla przypadku, w którym urządzenie zacieniające jest aktywowane

Z urządzeniem zacieniającym												
	Ogrzewanie						Chłodzenie					
Region	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	1,00	15,67	1,00	1,00	0,90	0,93	1,20	15,00	1,07	1,00	0,83	0,90
Csb	1,33	15,00	1,00	1,07	0,97	0,93	1,10	15,00	1,03	1,10	0,97	1,00
Cfb	1,33	15,00	0,93	0,83	1,10	1,07	1,30	15,00	1,00	1,00	1,00	1,03
Dfb	1,30	14,67	0,83	0,90	1,25	1,25	1,00	15,00	1,07	1,07	0,97	1,00
Dfc	1,25	14,33	0,83	0,83	1,17	1,50	1,00	15,00	1,00	1,00	1,00	1,00

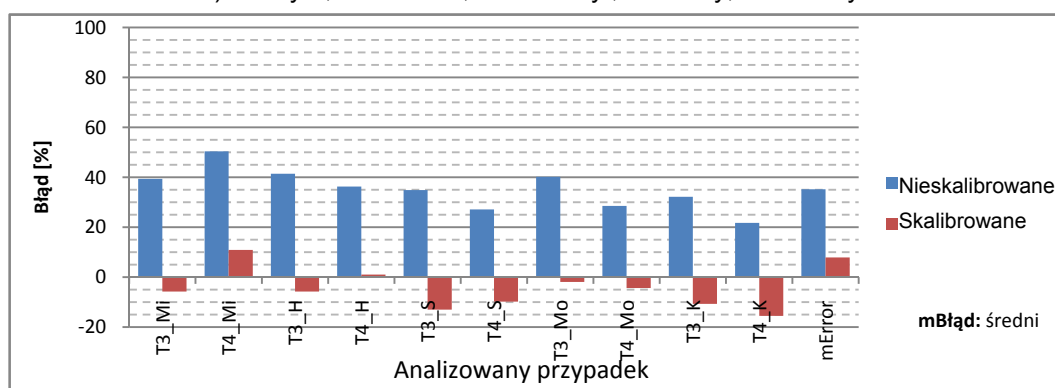
Tablica 3.25. Współczynniki korekcyjne otrzymane dla przypadku, w którym urządzenie zacinające nie zostało aktywowane.

	Bez urządzenia zacinającego											
Region	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	0,93	15,00	1,00	1,00	1,03	1,03	1,25	15,00	1,17	1,33	0,83	0,90
Csb	1,13	15,00	1,00	0,97	1,03	1,00	0,93	15,00	1,08	1,17	0,87	0,87
Cfb	1,17	15,00	1,00	0,93	1,00	1,03	1,08	15,00	1,08	1,33	0,90	0,87
Dfb	1,33	15,00	0,93	0,87	1,17	1,10	1,20	15,00	1,00	1,00	0,83	0,90
Dfc	1,50	14,00	0,80	0,80	1,07	1,20	1,00	15,00	1,17	1,17	0,92	0,90

Ponieważ algorytm miesięczny umożliwia zastosowanie różnych trybów aktywacji w okresie zimowym i letnim, współczynniki kalibracyjne w tablicy 3.24 zostały zastosowane do trybu chłodzenia, zaś te w tablicy 3.25 – do trybu ogrzewania. Zastosowano współczynniki kalibracyjne do przypadków badawczych nr 3 i 4 (25% powierzchni oszklenia w stosunku do powierzchni podłogi wg tabl. 3.23), zlokalizowanych w pięciu miastach regionów klimatycznych Csa i Dfb w celu oceny błędów powiązanych z klimatem każdej z lokalizacji. Na rysunku 3.17 widać, że zgodnie z oczekiwaniem błąd zmienia się z lokalizacją. Największe wartości błędu odnotowano dla Aten (16,2%) i Kijowa (15,5%), odpowiednio dla stref klimatycznych Csa i Dfb. Mimo to średni błąd jest mniejszy od 10% dla tych dwóch stref klimatu (Csa: 8,2%, Dfb: 7,9%).



a) R:Rzym; L: Lizbona; Md: Madryt; A: Ateny; Mr: Marsylia



b) Mi: Mińsk; H: Helsinki; S: Sztokholm; Mo: Moskwa; K: Kijów

Rys. 3.17. Kalibracja precyzji dla różnych miast stref klimatycznych

a) Csa; b) Dfb

4 WALIDACJA PRZYJĘTYCH METOD

W niniejszym rozdziale przedstawiono walidację metod opisanych w poprzednich rozdziałach. Analiza przypadku przeprowadzona została za pomocą uproszczonej metody, a wyniki porównano z wynikami metody szczegółowej. Analizy dokonano z wykorzystaniem oprogramowania komercyjnego Gabi 6 (2012) i DesignBuilder (2012) do obliczania cyklu życia i zużycia energii.

4.1 Walidacja podejścia makrokomponentowego

Walidacja podejścia makrokomponentowego oparta jest na studium przypadku budynku mieszkalnego (niskiej zabudowy) w Portugalii. Wyniki podane są w porównaniu z wynikami uzyskanymi za pomocą zaawansowanej analizy uzyskanej oprogramowaniem Gabi. Analizę przeprowadzono dla całego budynku.

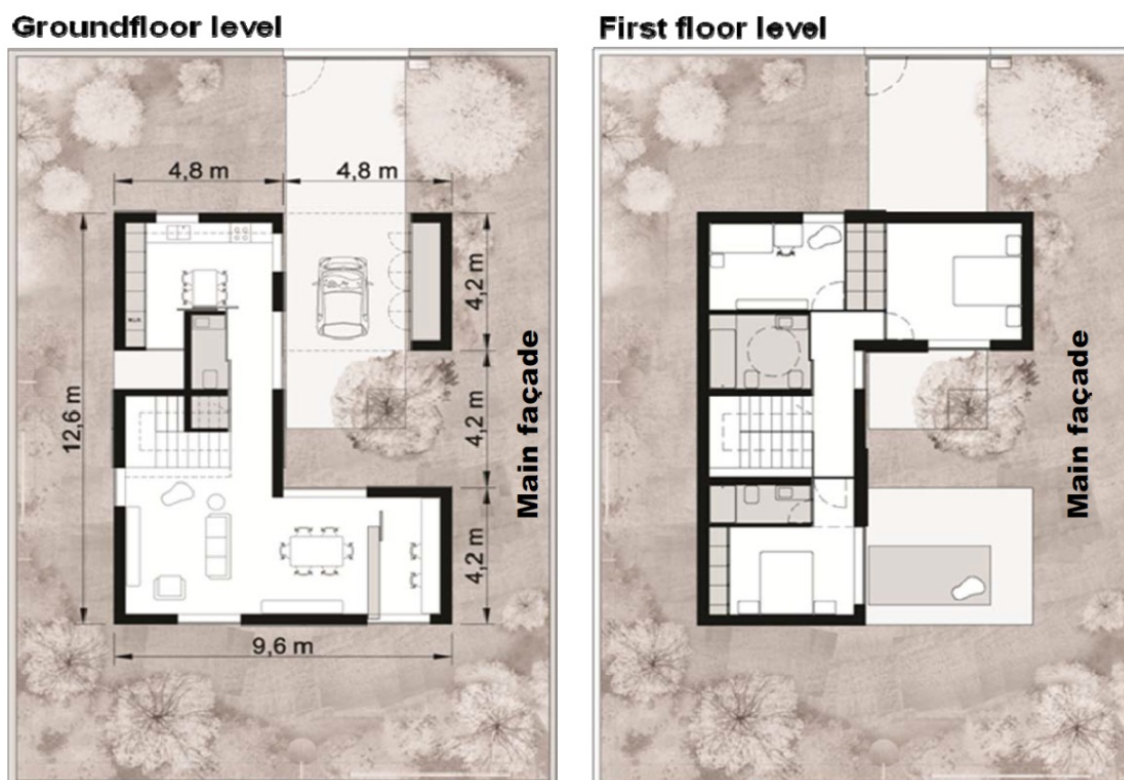
4.1.1 Opis budynku przykładowego

Omawianym budynkiem jest dwukondygnacyjny dom mieszkalny, jednorodzinny, zlokalizowany w Coimbrze (Portugalia). Fasady i rzuty poziome budynku przedstawiono na rysunku 4.1 i 4.2.



Rys. 4.1. Widok elewacji budynku w Coimbrze

Całkowita powierzchnia budynku wynosi około 202,00 m²: 100,8 m² na parterze i 100,8 m² na pierwszym piętrze (+20,2 m² z tarasem). Całkowita wysokość budynku wynosi 6 m.



Rys. 4.2. Przekroje pięter budynku

Powierzchnie przeszkleń każdej elewacji są również przewidziane w planach budynku. Tablica 4.1 zawiera zestawienie powierzchni ścian i przeszkleń budynku.

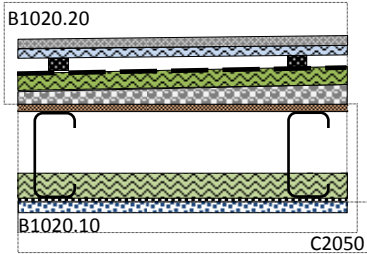
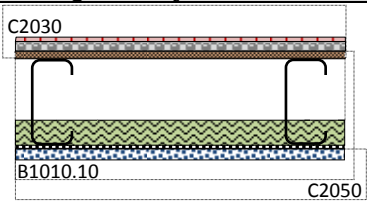
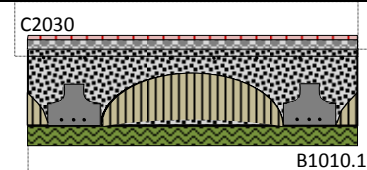
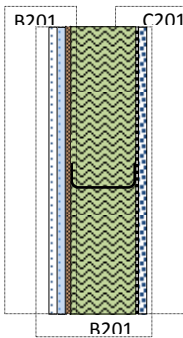
Tablica 4.1. Ściany i przeszklania budynku

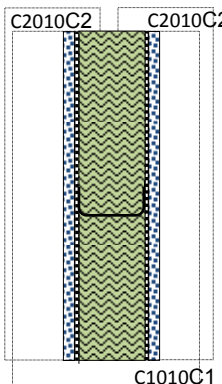
	Północ [m ²]	Wschód [m ²]	Południe [m ²]	Zachód [m ²]	Suma [m ²]
Ściany	41,3	49,9	38,3	60,4	189,9
Przeszklenia	13,0	17,3	15,6	4,3	50,2

4.1.2 Wybór makrokomponentów

W celu umożliwienia oceny cyklu życia budynku, makrokomponenty wybierane są dla głównych elementów budynku, a mianowicie: konstrukcji, pionowych przegród zewnętrznych i wewnętrznych oraz stropów, które są przedstawione w tablicy 4.2.

Tablica 4.2. Wybór makrokomponentów

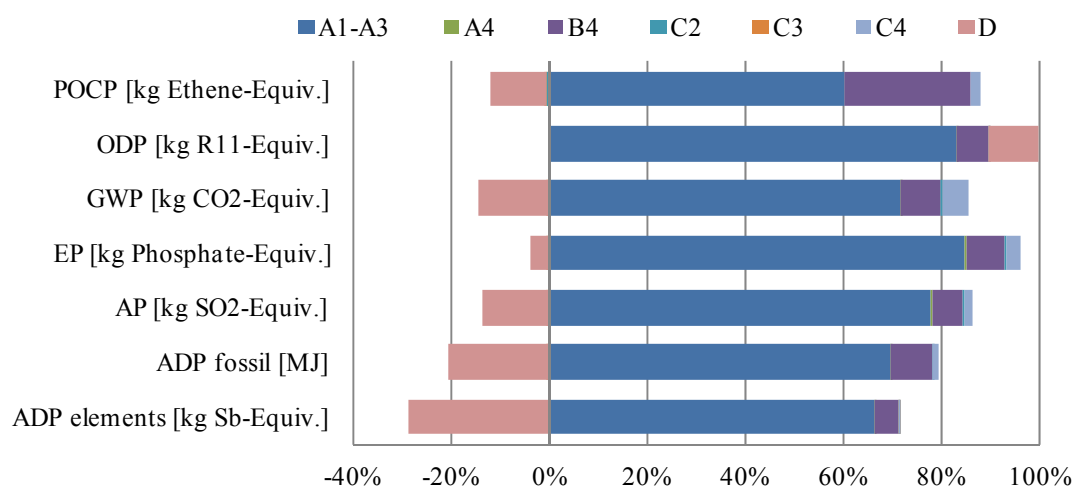
	Makrokomponent	Zastosowany materiał	Grubość [mm] Gęstość [kg/m ²]	Wsp. U [W/m ² .K]	K _m [J/m ² .K]
Dach					
	B1020.20 Dach pokrycie	Cement	30 mm	0,37 ^(*)	13435
		XPS	30 mm		
		Powietrze	30 mm		
		Warstwa wodoodporna	1,63 kg/m ²		
		XPS	0 mm		
		Jastrych	40 mm		
	B1020.10 Dach konstrukcja	OSB	18 mmm		
		Powietrze	80 mm		
		Wełna skalna	120 mm		
		LWS (stal)	17 kg/m ²		
		Płyta gipsowa	15 mm		
	C2050 Wykończenie sufitu	Farba	0,125 kg/m ²		
Podłogi wewnętrzne					
	C2030 Podłoga	Płytki ceramiczne	31 kg/m ²	-	61062
		Jastrych	13 mm		
	B1010.10 Konstrukcja podłogi	OSB	18 mm		
		Powietrze	160 mm		
		Wełna skalna	40 mm		
		LWS	14 kg/m ²		
		Płyta gipsowa	15 mm		
	C2050 Wykończenia sufitu	Farba	0,125 kg/m ²		
Parter					
	C2030 Podłoga	Płytki ceramika	31 kg/m ²	0,599	65957
		Jastrych	13 mm		
	B1010.10 Konstrukcja podłogi	Prefabrykowana płyta betonowa	180 mm		
		XPS	40 mm		
Przegrody zewnętrzne					
	B2010.10 Przegroda zewnętrzna wykończenie	ETICS	13,8 kg/m ²	0,29 ^(*)	13391
	B2010.20 Konstrukcja ściany	OSB	13 mm		
		Wełna skalna	120 mm		
		LWS	15 kg/m ²		
		Płyta gipsowa	15 mm		
	C2010 Wykończenie wew.	Farba	0,125 kg/m ²		

Ściany wewnętrzne					
	C2010 Wykończenie	Farba	0,125 kg/m ²	-	26782
	C1010 Warstwy wewnętrzne	Płyta gipsowa	15 mm		
		Wełna skalna	60 mm		
		LWS	10 kg/m ²		
		Płyta gipsowa	15 mm		
	C2010 Wykończenie ścian wewnętrznych	Farba	0,125 kg/m ²		

(*) Poprawione wartości z mostkami termicznymi

4.1.3 Zastosowanie podejścia makrokomponentowego

Biorąc pod uwagę geometrię budynku i zastosowane makroelementy wskazane w tabelicy 4.2, wykonano obliczenia LCA dla okresu 50 lat. Wyniki przedstawiono na rysunku 4.3 dla modułów określonych w EN 15978. Wykres przedstawia udział poszczególnych modułów w wybranych kategoriach oddziaływania w cyklu życia. Jak widać z tego wykresu, faza wyrobu (moduły A1 do A3) jest najwyższa dla przedstawionych kategorii oddziaływania (przy udziale wyższym niż 60%).



Rys. 4.3. Wartość procentowa poszczególnych oddziaływań dla modułów cyklu życia budynku

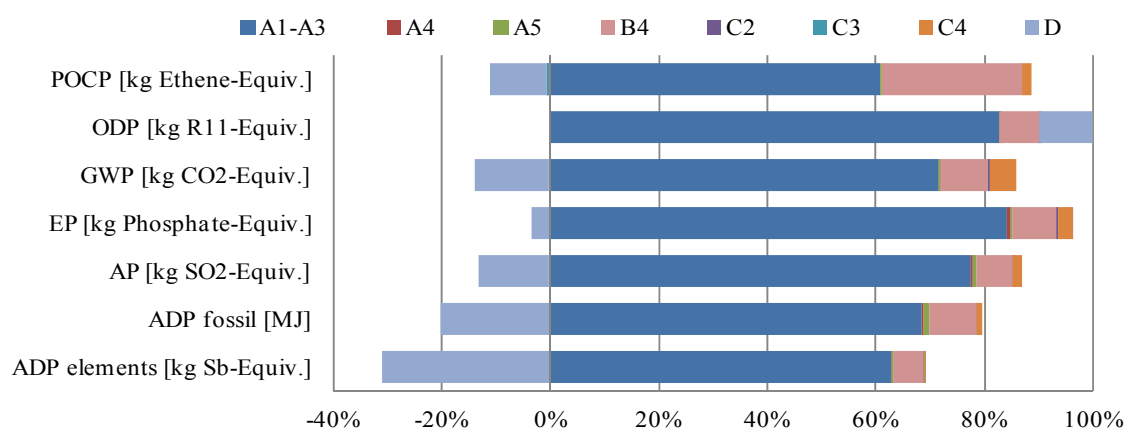
Fazy użytkowania (moduł B4) oraz recyklingu i odzyskiwania materiałów (moduł D) mają znaczący wpływ w większości kategorii oddziaływań, a następnie na etapie rozbiórki (moduły C2 do C4). Należy zauważyć na rysunku 4.3, że uzyskuje się ujemne wartości dla modułu D dla tego konkretnego budynku ze względu na recykling i / lub odzyskiwanie materiałów po rozbiórce. Uzyskane wyniki LCA zestawione są w tabelicy 4.3.

Tablica 4.3. Wyniki analizy LCA dla budynku

Oddziaływanie środowiskowe	Suma
ADP minerały [kg Sb-Equiv.]	1.11E-01
ADP paliwa [MJ]	4.38E+05
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1.35E+02
EP [kg PO ₄ -Equiv.]	1.53E+01
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	3.54E+04
ODP [kg R11-Equiv.]	1.00E-03
POCP [kg Eten-Equiv.]	3.71E+01

4.1.4 Porównanie ze szczegółową analizą LCA

W tej części dokumentu budynek analizowany jest z uwzględnieniem wszystkich detali budowlanych oraz etapów cyklu życia. Analiza cyklu życia przedstawiona w tym podrozdziale wypełnia luki w podejściu makrokomponentowym opisanym wcześniej, czyli uwzględnia fundamenty budynku i moduł wznoszenia budynku (moduł A5). Pełną analizę cyklu życia przeprowadzono za pomocą programu Gabi 6 (2012). Fundamenty budynku są żelbetowe. Pierwszy poziom budynku jest podniesiony 50 cm nad powierzchnię gruntu. Pod koniec cyklu życia zakłada się, że elementy żelbetowe fundamentu zachowają te same wskaźniki recyklingu jak inne elementy. Faza budowy (moduł A5) uwzględnia następujące procesy: przygotowanie terenu (wykopy i transport urobku) oraz korzystanie ze sprzętu budowlanego. Konstrukcja budynku została wzniesiona w 1,5 miesiąca. Wyniki analizy cyklu życia przedstawiono na rysunku 4.4.



Rys. 4.4. Pełna analiza cyklu życia

Faza wyrobu (moduły A1 do A3) dominuje we wszystkich oddziaływaniach środowiskowych (z udziałem wyższym niż 60%). Faza wznoszenia (moduły A4 do A5) ma bardzo niskie oddziaływanie, w okolicach zera dla oddziaływań takich jak ODP, POCP i ADP(mineralne) do 2,1% dla ADP(paliwa). Faza użytkowania

(moduł B4) oraz moduł D dominują w większości oddziaływań. Istotna jest też faza końca życia (moduły C2 do C4). Stwierdza się, że podobne konkluzje wyciągnięto stosując metodę uproszczoną makrokomponentową pomimo jej mankamentów. Ostatecznie błąd względny dla każdej kategorii oddziaływania dla metody makrokomponentowej, w porównaniu do metody szczegółowej, przedstawiono w Tablica 4.4.

Tablica 4.4. Błąd zastosowania metody makrokomponentowej [%]

ADP mineralne	ADP paliwa kop.	AP	EP	GWP	ODP	POCP
0,0%	-2,4%	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-0,1%	-0,5%

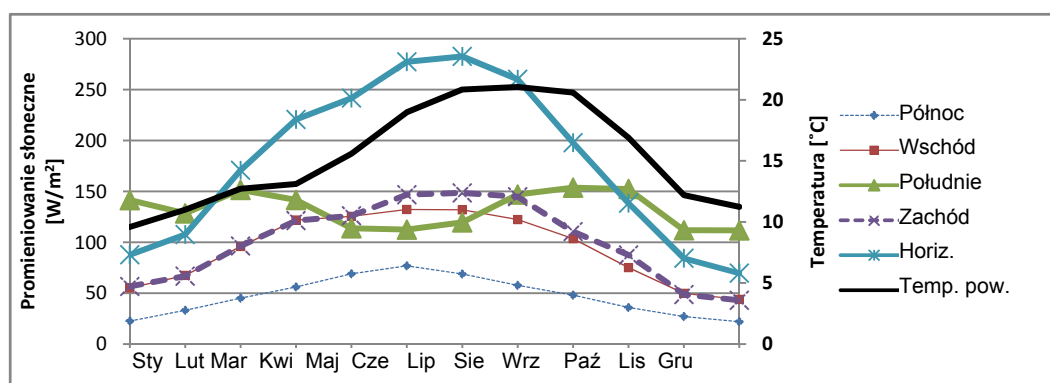
Dla większości kategorii środowiskowych błąd jest pomijalny. Oczywiście, rozważanie innych rozwiązań budowlanych może doprowadzić do wyższego znaczenia etapu budowy i innych wyników. Pomimo ograniczeń podejścia makrokomponentów, wyniki uzyskane w proponowanej metodologii należy uznać za zgodne z wynikami uzyskanymi ze szczegółowej analizy cyklu życia.

4.2 Walidacja modelu obliczania zapotrzebowania na energię

Walidacja przyjętego podejścia obliczania energii opiera się na tym samym studium przypadku. W następnych sekcjach, podano wszystkie dane i procedury, które posłużyły do obliczeń. Wyniki przyjętego podejścia są porównane z wynikami uzyskanymi za pomocą zaawansowanej analizy dynamicznej z wykorzystaniem DesignBuilder-EnergyPlus (2012).

4.2.1 Dane klimatyczne

Obiekt znajduje się w Coimbrze, należącej do regionu klimatycznego określanego jako csb. Odpowiednie wartości miesięczne temperatury powietrza i promieniowania słonecznego zostały przedstawione na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Dane klimatyczne (Coimbra): promieniowanie słoneczne i temperatura zewnętrzna

Przyjęto domyślnie wartości charakterystyki cieplnej podłoża, jak przedstawiono w tablicy 3.10.

4.2.2 Wykorzystanie budynku przez użytkowników

Założenia stopnia wykorzystania budynku przez użytkowników oraz ilości ciepła z zysków wewnętrznych (aktywność użytkowników, urządzeń i oświetlenia) zostały przyjęte domyślnie z wartości określonych przez ISO 13790 i uprzednio wykazane w tablicy 3.13. Temperaturę komfortu przyjęto na poziomie 20°C w okresie letnim i 25°C w sezonie zimowym.

4.2.3 Obsługa budynku

Przyjęte wartości parametryzujące obsługę budynku w zakresie ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i produkcji ciepłej wody, zostały wskazane w tablicy 4.5.

Tablica 4.5. Dane wejściowe do systemów obsługi budynku (wartości domyślne)

Systemy budynku	Wartości
Klimatyzacja (ustalone wartości 20°C – 25°C) ⁽¹⁾	COP grzewcze = 4,0 COP chłodnicze = 3,0
Produkcja CWU ²	Sprawność: 0,9
Współczynnik infiltracji ⁽³⁾ (wartości stałe)	0,6 ac/h (grzanie) 1,2 ac/h (chłodzenie)

(1) z ISO13790 (2008) – tablica G.12;

(2) zgodnie z EN 15316-3-1:2007;

(3) zależy od szczelności i pasywnych strategii chłodzenia

4.2.4 Właściwości przeszkleń oraz urządzeń zacinających

Charakterystyka i właściwości elementów szklanych przedstawione są w tablicy 4.6. W tym przypadku zastosowano podwójnie szklenie, ramy z PCV.

Tablica 4.6. Optyczne i termiczne właściwości przeszkleń (szkło + rama)

Material	U [W/m ² ·K]	SHGC
Rama PVC, podwójne szklenie (8+6 mm, z przerwą powietrzną 14 mm)	2,597	0,780

Właściwości techniczne elementów zacinających zostały przedstawione w Tablica 4.7.

Tablica 4.7. Optyczne i termiczne właściwości urządzeń zacinających

Element	Przepuszczalność	Odbicie	R [m ² ·K/W]	g _{gl+sh}
Okienne	0,02	0,80	0,260*	0,04**

* (ISO 10077:2006); **EN 13363-1:2007.

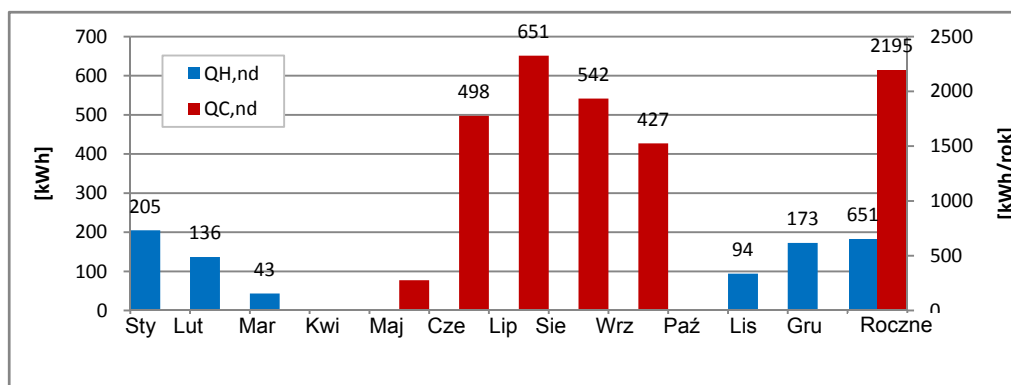
4.2.5 Obudowa

Właściwości i elementy składowe przegród zewnętrznych budynku przyjęto zgodnie z ustalonymi wcześniej rozwiązaniami makrokomponentowymi (załącznik 1 oraz tabl. 4.2). Kolor fasady generuje dodatkowe zyski słoneczne. Przyjęto jasny kolor zewnętrzny budynku ze współczynnikiem absorpcji wynoszącym 0,4.

4.2.6 Wyniki oceny właściwości energetycznych budynku

W tym przypadku roczne zapotrzebowanie na energię grzewczą i chłodniczą obliczone za pomocą metody miesięcznej wynosi 651,3 kWh i 2195,0 kWh. Sumarycznie jest to 2846,3 kWh ($23,0 \text{ kWh/m}^2$). Zapotrzebowanie na CWU wynosi 2642 kWh ($21,3 \text{ kWh/m}^2$).

Zapotrzebowanie miesięczne na energię do grzania i chłodzenia przedstawiono na Rys. 4.6



Rys. 4.6. Zużycie energii na ogrzewanie i chłodzenie (metoda miesięczna)

4.2.7 Porównanie z zaawansowaną metodą numeryczną

Porównanie wyników otrzymanych przez algorytm miesięczny i wyników zaawansowanych symulacji dynamicznych przeprowadzono w celu oceny dokładności wyników.

4.2.7.1 Model symulacji dynamicznej

Zaawansowana symulacja dynamiczna została przeprowadzona za pomocą programu DesignBuilder (2012). Zastosowano te same dane wejściowe i klimatyczne. Zamiast wartości średniomiesięcznych temperatur oraz promieniowania słonecznego zastosowano godzinowe wartości pogodowe.

Trójwymiarowe modelowanie pozwala na przedstawienie symulacji budynku z uwzględnieniem jego kształtu architektonicznego, przedstawionego na Rys. 4.1 i Rys. 4.2. Rys. 4.7 pokazuje dwa widoki elewacji przyjętej dla modelu Design Builder. Budynek został podzielony na 10 stref termicznych, biorąc pod uwagę wewnętrzny rozkład przegród.

- (i) piwnica, która została modelowana jako przestrzeń nieklimatyzowana,
- (ii) parter, 3 strefy termiczne,
- (iii) pierwsze piętro, 5 stref termicznych,
- (iv) korytarze i schody.

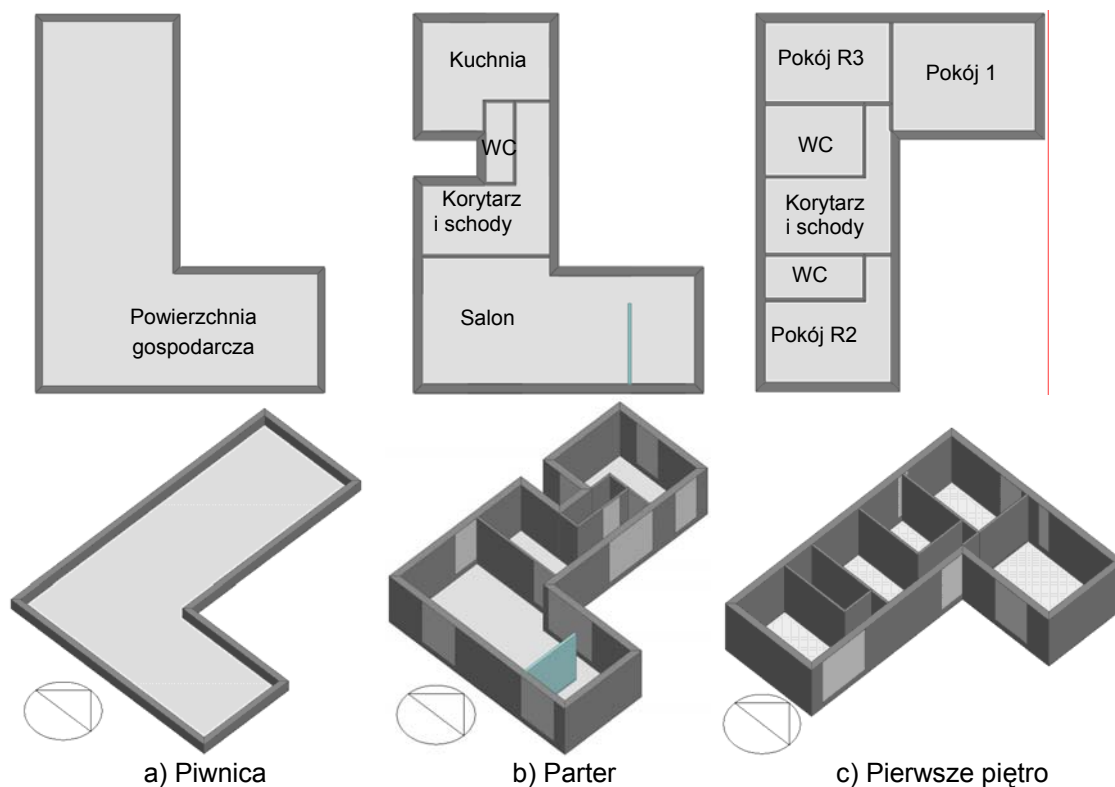


a) Strona południowa i zachodnia



b) Strona wschodnia i północna

Rys. 4.7. Widok elewacji ocenianego budynku



a) Piwnica

b) Parter

c) Pierwsze piętro

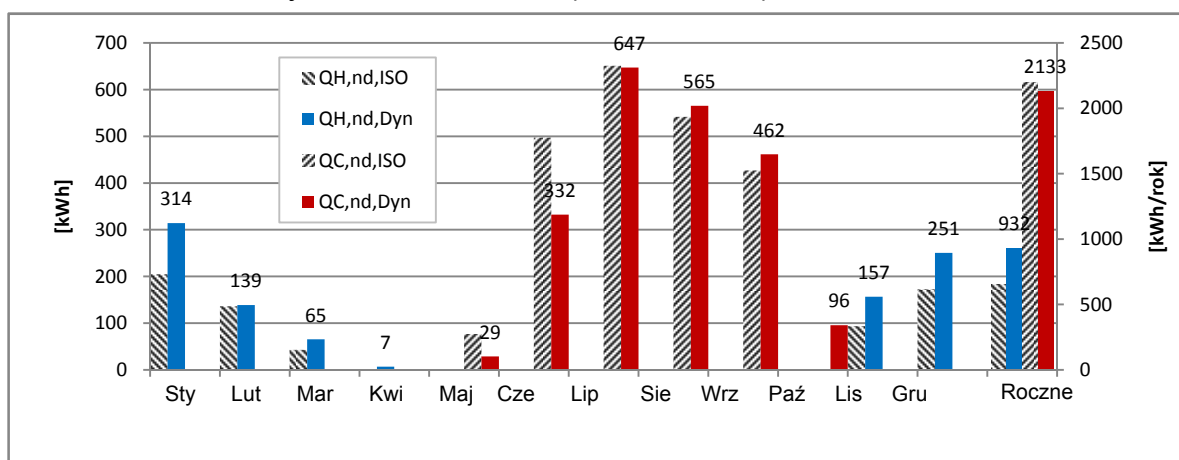
Rys. 4.8. Widok kondygnacji

Elementy konstrukcyjne rozważane w modelu są takie same, jak opisane poprzednio dla podejścia makrokomponentów (zob. Tablica 4.2, 4.6 i 4.7; Charakterystyka

i właściwości elementów szklanych przedstawione są w tablicy 4.6. W tym przypadku zastosowano podwójnie szklenie, ramy z PCV.

Tablica 4.6 Również przyjęto te same założenia zacieniania okiennicami. Ponadto, przyjęto ten sam harmonogram użytkowania, wymiany powietrza, wydajność i harmonogram pracy urządzeń klimatyzacyjnych.

Graficzne zestawienie wyników metody miesięcznej i godzinowej dla chłodzenia i ogrzewania zaprezentowano na Rys. 4.9 Roczne zapotrzebowanie na energię grzewczą i chłodniczą uzyskane dla metody dynamicznej wynosi 932,4 kWh i 2133,3 kWh, sumarycznie 3065,7 kWh (24.8 kWh/m²).



Rys. 4.9. Zapotrzebowanie na energię grzewczą i chłodzenie: symulacja dynamiczna (Dyn) do algorytmu miesięcznego (ISO)

Jak widać z rysunku 4.9 zapotrzebowanie na energię z uproszczonego podejścia (metoda miesięczna) wykazuje dobrą zgodność z wynikami uzyskanymi z obliczeń dynamicznych. Porównując całkowite zapotrzebowanie na energię (ogrzewanie i chłodzenie) w rozwiniętym stadium (2846,3 kWh / rok) z modelu dynamicznego, różnica wynosi tylko 7,2%.

4.3 UWAGI KOŃCOWE

Dwa podejścia metodyczne przedstawione w niniejszym dokumencie pozwalają na uniknięcie stosowania skomplikowanych narzędzi LCA, gdzie zazwyczaj analiza wymaga znacznego doświadczenia i nakładów czasu. Zaproponowane podejście zapewnia znaczną redukcję czasu potrzebnego do wykonywania takich analiz. Walidację oparto na porównaniu metody zaawansowanej i makrokomponentowej przy użyciu oprogramowania komercyjnego Gabi 6 (2012) i DesignBuilder (2012), do oceny cyklu życia. Porównanie wyników obu analiz pozwala stwierdzić, że dokładność obu metod jest bardzo zbliżona.

BIBLIOGRAFIA

Blendspace <https://www.blendspace.com/lessons/hMYwDSTKeg6ssQ/essential-question-how-can-i-protect-this-environment> (last accessed in 2013).

CPA, 2012. Construction Product Association “A guide to understanding the embodied impacts of construction products” [ISBN 978-0-9567726-6-4]

DesignBuilder software v3.0.0.105, www.designbuilder.co.uk/, 2012

EERE-USDoE, Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/?region=6_europe_wmo_region_6 (last accessed March 2014)

EN 13363-1 (2007). Solar protection devices combined with glazing - Part 1: Simplified method. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15193 (2007) Thermal performance of buildings - Energy requirements for lighting, CEN – European Committee for Standardization.

EN 15265 (2007) Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15316-3-1 (2007) Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European committee for Standardization.

EN 15643-1 2010. Sustainability of construction works — Sustainability assessment of buildings — Part 1: General framework. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 15804 2012. Sustainability of Construction Works — Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 15978 2011. Sustainability of Construction Works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN ISO 13786 (2007) Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods, CEN – European Committee for Standardization.

EN ISO 6946 (2007) Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method, CEN – European Committee for Standardization.

- EPA. U.S. Environmental protection Agency. Climate change. (<http://www.epa.gov/climatechange/>) (last accessed in 19/09/2009).
- EPD.http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/prob_solutions/images/smog_cause_eng.jpg
- Forsberg, A., von Malmborg F. 2004. Tools for environmental assessment of the built environment. In: *Building and Environment*, 39, pp. 223-228.
- GaBi 6 (2012). Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Version 5.56. PE International AG, Leinfelden-Echterdingen, Germany
- GaBi databases 2006. PE INTERNATIONAL GmbH; LBP-GaBi, University of Stuttgart: GaBi Software System, Leinfelden-Echterdingen / Germany, 2009.
- Gervásio, H., Martins, R., Santos, P., Simões da Silva, L., “A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design”, *Building and Environment* 73 (2014), pp. 256-270, DOI information: 10.1016/j.buildenv.2013.12.015.
- Google Earth Software Website: www.google.co.uk/intl/en_uk/earth/ (last accessed January 2014).
- Gorgolewski, M. (2007) Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing. *Building and Environment*, 42(1), 230–236.
- Guinée, J.B.; Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.
- Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Udo de Haes, H., Sleeswijk, A., Ansems, A., Egges, P., van Duin, R. and de Goede, H. 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds. CML. Leiden University. Leiden
- Howard N, Edwards S and Anderson J. 1999. Methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings. BRE Report BR 370. Watford. (<http://www.bre.co.uk/service.jsp?id=52>)
- Huijbregts, M. 2001. Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis. University of Amsterdam. The Netherlands.
- IEA. 2001. LCA methods for buildings. Annex 31 – Energy-related environmental impact of buildings. International Energy Agency.
- IPCC. 2007. Fourth Assessment Report – Climate Change 2007. IPCC, Geneva, Switzerland

ISO 10077 (2006) Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13370 (2007) Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13789 (2007) Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13790 (2008) Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European committee for Standardization.

ISO 14025 2006. Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures

ISO 14040 2006. Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

ISO 14044 2006. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jönsson Å. 2000. Tools and methods for environmental assessment of building products - methodological analysis of six selected approaches. In: Building and Environment, 35, pp. 223-238.

Kellenberger D. 2005. Comparison and benchmarking of LCA-based building related environmental assessment and design tools. EMPA Dubendorf, Technology and Society Laboratory, LCA group.

Kortman J, van Eijwik H, Mark J, Anink D, Knapen M. 1998. Presentation of tests by architects of the LCA-based computer tool EcoQuantum domestic. Proceedings of Green Building Challenge 1998. Vancouver. Canada
(<http://www.ivambv.uva.nl/uk/producten/product7.htm>)

Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B and Rubel F (2006) World map of Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259–263.

LCI, 2001. World Steel Life Cycle Inventory. Methodology report 1999/2000. International Iron and Steel Institute. Committee on Environmental Affairs, Brussels.

Lippiatt, B. 2002. Building for environmental and economical sustainability. Technical manual and user guide (BEES 3.0). National Institute of Standards and Technology (NIST). Report NISTIR 6916.
(<http://www.bfrl.nist.gov/oae/software/bees.html>).

RCCTE (2006) Portuguese code of practice for thermal behaviour and energy efficiency of residential buildings. Decreto-Lei n.80/2006. Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios (in Portuguese:). Lisboa, Portugal: Diário da República.

Reijnders L., van Roekel A. 1999. Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. In: Journal of Cleaner Production, 7, pp. 221-225.

Santos P., Gervásio H., Simões da Silva L., & Gameiro A. (2011). Influence of climate change on the energy efficiency of light-weight steel residential buildings. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28, 325–352.

Santos P., Simões da Silva L., & Ungureanu V. 2012. *Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings*. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 14 - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, ISBN 978-92-9147-105-8, N. 129, 1st edition.

SB_Steel, 2014. Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel Steel Recycling Institute. <http://www.recycle-steel.org/construction.html> (last accessed in 31/08/2009)

The energy library. <http://theenergylibrary.com/node/324>

Trusty WB, Associates. 1997. Research guidelines. ATHENATM Sustainable Materials Institute. Merrickville. Canada. (<http://www.athenasmi.ca/about/lcaModel.html>)

UNEP, 2004. Why take a life cycle approach? United Nations Publication. ISBN: 92-807-24500-9

UniFormat™: A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies (2010). The Construction Specification Institute (CSI), Alexandria, VA, and Construction Specifications Canada (CSC), Toronto, Ontario. ISBN 978-0-9845357-1-2.

Werner, F. 2005. Ambiguities in decision-oriented life cycle inventories – The role of mental models and values. Doi 10.1007/1-4020-3254-4. Springer Netherlands

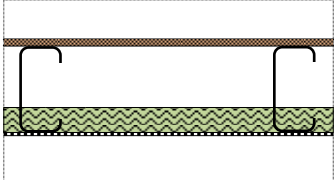
Wikipedia, 2013a. http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_pollution

Wikipedia, 2013b. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_resource

Worldsteel organization. <http://www.worldsteel.org/index.php> (last accessed in 31/08/2009)

ZAŁĄCZNIK 1. BAZA DANYCH MAKROKOMPONENTÓW

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.1a	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	OSB (mm)	18	Spalanie	80
	Powietrze (mm)	160	-	
	Wełna skalna (mm)	40	Recycling	80
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
	Stal lekka (kg/m ²)	14	Recycling	90

B1010.10.1a - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,83E-05	1,76E-09	1,54E-09	3,37E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,48E+02	6,54E-01	5,72E-01	1,31E+00	-3,35E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,70E-01	2,11E-04	1,83E-04	5,74E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,41E-02	4,86E-05	4,20E-05	8,79E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,12E+01	4,71E-02	4,12E-02	3,86E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	8,25E-13	7,21E-13	7,21E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,53E-02	-6,89E-05	-5,95E-05	1,49E-04	-1,07E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

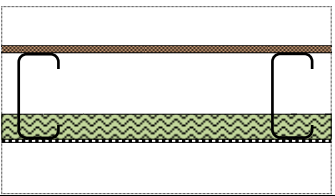
Materiał	Źródło danych	Reprezentatywność geograficzna	Data
Płyta OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
Wełna skalna	PE International	Europa	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność geograficzna	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność geograficzna	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg					
B1010.10.1b	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)	
	OSB (mm)	18	Spalanie	80	
	Powietrze (mm)	160	-	-	
	EPS (mm)	40	Spalanie	80	
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80	
	LWS (kg/m2)	14	Recycling	90	
B1010.10.1b - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,75E-05	1,53E-09	1,34E-09	3,80E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,36E+02	5,70E-01	5,00E-01	1,37E+00	-3,57E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,30E-01	1,84E-04	1,60E-04	6,24E-04	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,54E-03	4,24E-05	3,68E-05	1,00E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	4,68E+01	4,11E-02	3,60E-02	2,48E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,21E-07	7,19E-13	6,31E-13	6,98E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,55E-02	-6,01E-05	-5,20E-05	1,42E-04	-1,12E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K and i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
LWS	Worldsteel	Świat	2007
EPS	PE International	Europa	2011

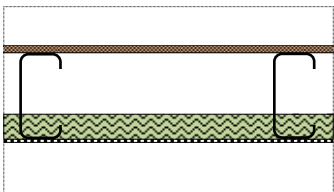
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Spalanie EPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.1c	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	OSB (mm)	18	Spalanie	80
	Powietrze (mm)	160	-	
	XPS (mm)	40	Spalanie	80
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
	LWS (kg/m2)	14	Recycling	90

B1010.10.1c - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,42E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,75E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,54E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,33E-01	1,87E-04	1,62E-04	7,16E-04	-5,74E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,73E-03	4,30E-05	3,73E-05	1,17E-04	-1,77E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	4,79E+01	4,16E-02	3,65E-02	3,78E+00	-1,72E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,29E-13	6,40E-13	7,61E-11	1,75E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,49E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,54E-04	-1,15E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka konstrukcyjna (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
XPS	PE International	Niemcy	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

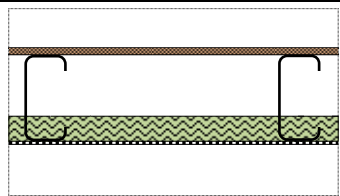
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Spalanie XPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Świat	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.1d



Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
OSB (mm)	18	Spalenie	80
Powietrze (mm)	160	-	
PUR (mm)	40	Spalenie	80
Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
LWS (kg/m ²)	14	Recycling	90

B1010.10.1d - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,65E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,48E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	6,19E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,76E+00	-3,57E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,37E-01	1,87E-04	1,62E-04	1,43E-03	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	4,30E-05	3,73E-05	3,06E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	4,16E-02	3,65E-02	2,59E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	7,29E-13	6,40E-13	8,46E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,37E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,90E-04	-1,12E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m².K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m².K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Świat	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
PUR	PE International	Niemcy	2011

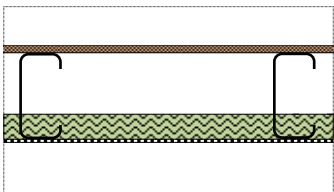
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalenie OSB	PE International	Niemcy	2008
Spalenie PUR	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.1e	Materiały	Grubość/ gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	OSB (mm)	18	Spalenie	80
	Powietrze (mm)	160	-	
	Korek (mm)	40	Recycling	80
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
	LWS (kg/m ²)	14	Recycling	90

B1010.10.1e - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	1,64E-09	1,43E-09	3,09E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,04E+02	6,09E-01	5,32E-01	1,21E+00	-3,35E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,35E-01	1,97E-04	1,70E-04	5,26E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,13E-02	4,53E-05	3,91E-05	8,06E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	4,75E+01	4,38E-02	3,83E-02	3,54E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,68E-13	6,71E-13	6,61E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,27E-02	-6,42E-05	-5,54E-05	1,37E-04	-1,07E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
Korek	PE International	Niemcy	2011

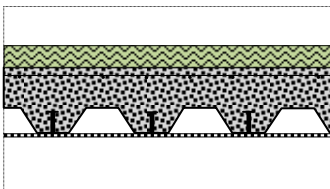
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalenie OSB	PE International	Niemcy	2008
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.2a	Materiały	Grubość/ gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	PE (mm)	20	Spalenie	80
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70
	Zbrojenie (kg/m ²)	8,24	Recycling	70
	Płyta stalowa (kg/m ²)	11,10	Recycling	70
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
	Stalowa konstrukcja (kg/m ²)	40	Recycling	90

B1010.10.2a - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,61E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,44E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,93E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,77E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,58E+01	-3,67E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,27E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,90E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Pręty zbrojeniowe	Worldsteel	Świat	2007
Płyta stalowa	Worldsteel	Świat	2007
Stal konstrukcyjna	Worldsteel	Świat	2007
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
PE	PE International	Niemcy	2011

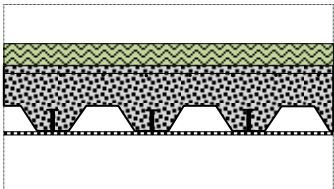
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalenie PE	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.2b	Materiały	Grubość/ gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	EPS (mm)	20	Spalanie	80
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70
	Zbrojenie (kg/m ²)	8,24	Recycling	70
	Płyta stalowa (kg/m ²)	11,10	Recycling	70
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
	Stal konstrukcyjna (kg/m ²)	40	Recycling	90

B1010.10.2b - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,54E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,89E+01	-3,37E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,92E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,94E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,64E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,27E-03	-2,61E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,50E+02	5,55E-01	4,86E-01	1,54E+01	-3,62E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,91E-06	9,73E-12	8,50E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,92E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,53E-03	-1,88E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

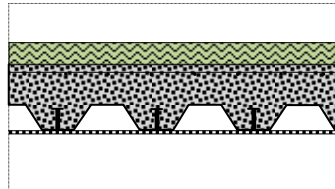
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
Płyta stalowa	Worldsteel	Świat	2007
Stal konstrukcyjna	Worldsteel	Świat	2007
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
EPS	PE International	Europa	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	World	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie EPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg					
B1010.10.2c	Materiały	Grubość/ gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)	
	XPS (mm)	20	Spalenie	80	
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70	
	Zbrojenie (kg/m ²)	8,24	Recycling	70	
	Płyta stalowa (kg/m ²)	11,10	Recycling	70	
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80	
	Stal konstrukcyjna (kg/m ²)	40	Recycling	90	
B1010.10.2c - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,43E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,94E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,19E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,74E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,75E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,60E+01	-3,66E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,39E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,89E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
Płyta stalowa	Worldsteel	Świat	2007
Stal konstrukcyjna	Worldsteel	Świat	2007
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
XPS	PE International	Germany	2011

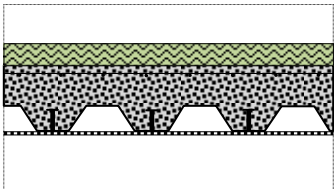
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalenie XPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.2d	Materiały	Grubość/ gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Korek (mm)	20	Recycling	80
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70
	Zbrojenie (kg/m ²)	8,24	Recycling	70
	Płyta stalowa (kg/m ²)	11,10	Recycling	70
	Płyta gipsowa (mm)	15	Recycling	80
	Stal konstrukcyjna (kg/m ²)	40	Recycling	90

B1010.10.2d - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,25E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,52E+03	7,73E+00	6,76E+00	4,88E+01	-3,26E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,95E-01	2,50E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,54E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,73E-02	5,75E-04	4,97E-04	3,26E-03	-2,37E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,57E-01	4,87E-01	1,43E+01	-3,53E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,75E-12	8,53E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,28E-02	-8,15E-04	-7,03E-04	5,53E-03	-1,86E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K a bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
Płyta stalowa	Worldsteel	Świat	2007
Stal konstrukcyjna	Worldsteel	Świat	2007
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Korek	PE International	Niemcy	2011

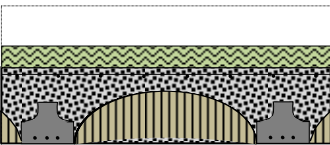
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.3a	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	PE (mm)	20	Spalenie	80
	Beton (kg/m ²)	455,4	Recycling	70
	Zbrojenie (kg/m ²)	21,17	Recycling	70

B1010.10.3a

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,27E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,99E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,62E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,80E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,55E-03	-7,25E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,70E+01	-5,44E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,23E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,31E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
PE	PE International	Niemcy	2011

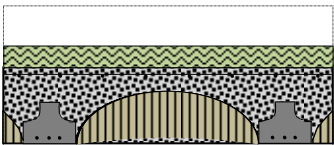
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007
Spalenie PE	PE International	Europa	2011

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.3b	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	EPS (mm)	20	Spalanie	80
	Beton (kg/m ²)	455,4	Recycling	70
	Zbrojenie (kg/m ²)	21,17	Recycling	70

B1010.10.3b

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,38E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,18E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,30E+01	-4,24E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,61E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,31E-02	-1,52E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,11E-02	5,71E-04	4,93E-04	3,55E-03	-5,61E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,36E+01	5,53E-01	4,83E-01	1,66E+01	-4,87E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,93E-07	9,68E-12	8,46E-12	2,90E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,87E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,14E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
EPS	PE International	Europa	2011

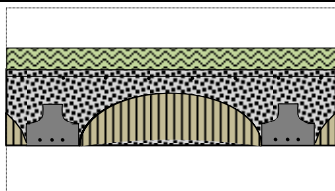
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007
Spalanie EPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.3c	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	XPS (mm)	20	Spalanie	80
	Beton (kg/m ²)	455,4	Recycling	70
	Zbrojenie (kg/m ²)	21,17	Recycling	70

B1010.10.3c

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,35E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,89E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,63E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,77E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,56E-03	-7,04E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,72E+01	-5,37E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,35E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,01E-03	-2,28E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
XPS	PE International	Europa	2011

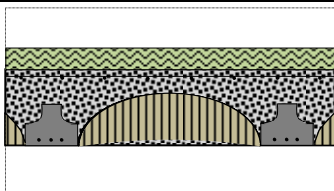
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

List of datasets used in Module C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007
Spalanie XPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Rozwiązanie konstrukcyjne podłóg

B1010.10.3d		Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Korek (mm)	20	Recycling	80	
	Beton (kg/m2)	455,4	Recycling	70	
	Zbrojenie (kg/m2)	21,17	Recycling	70	

B1010.10.3d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,40E-05	2,07E-08	1,83E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,02E+02	7,69E+00	6,80E+00	5,29E+01	-3,17E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,64E-01	2,49E-03	2,18E-03	2,31E-02	-1,12E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,19E-02	5,72E-04	5,00E-04	3,54E-03	-3,22E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,40E+01	5,54E-01	4,90E-01	1,55E+01	-4,05E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,71E-12	8,58E-12	2,90E-09	3,62E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,24E-02	-8,11E-04	-7,07E-04	6,00E-03	-1,91E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

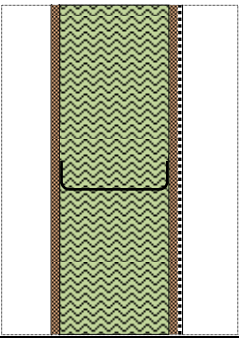
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Beton	PE International	Niemcy	2011
Zbrojenie	Worldsteel	Świat	2007
Korek	PE International	Niemcy	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej					
B2010.20.1a	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)	
	OSB (mm)	13	Spalanie	80	
	Wełna skalna (mm)	120	Recycling	80	
	Płyta gipsowa (mm)	15	Składowanie		
	LWS (kg/m ²)	15	Recycling	90	
B1010.20.1a					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,06E-05	2,19E-09	1,92E-09	4,32E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,09E+02	8,14E-01	7,12E-01	1,68E+00	-3,05E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	2,65E-01	2,63E-04	2,28E-04	7,35E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,41E-02	6,05E-05	5,23E-05	1,13E-04	-1,17E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	6,50E+01	5,86E-02	5,13E-02	4,94E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,43E-07	1,03E-12	8,98E-13	9,24E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,27E-02	-8,58E-05	-7,40E-05	1,91E-04	-1,13E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
Wełna skalna	PE International	Europa	2011

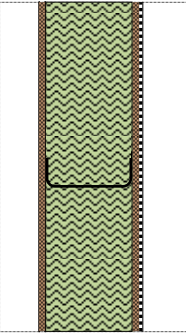
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej

B2010.20.1b	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	OSB (mm)	13	Spalanie	80
	EPS (mm)	120	Spalanie	80
	Płyta gipsowa (mm)	15	Składowanie	
	LWS (kg/m2)	15	Recycling	90

B1010.20.1b

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,82E-05	1,93E-09	1,62E-09	5,61E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	6,75E+02	7,18E-01	6,00E-01	1,84E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,44E-01	2,32E-04	1,92E-04	8,87E-04	-7,24E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,03E-02	5,34E-05	4,41E-05	1,50E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	5,17E-02	4,33E-02	6,79E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,13E-07	9,05E-13	7,57E-13	8,54E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,33E-02	-7,57E-05	-6,24E-05	1,70E-04	-1,27E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

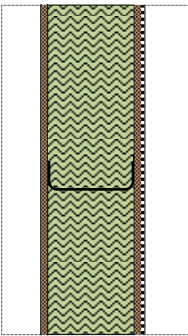
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Spalanie EPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Świat	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej					
B2010.20.1c	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)	
	OSB (mm)	13	Spalanie	80	
	XPS (mm)	120	Spalanie	80	
	Płyta gipsowa (mm)	15	Składowanie		
	LWS (kg/m ²)	15	Recycling	90	
B1010.20.1c					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,99E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,46E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,89E+02	8,33E-01	6,85E-01	2,36E+00	-4,08E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,53E-01	2,69E-04	2,19E-04	1,16E-03	-8,70E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	6,20E-05	5,04E-05	2,01E-04	-3,46E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	5,52E+01	6,00E-02	4,94E-02	1,07E+01	-2,52E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,41E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,04E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,16E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	2,06E-04	-1,36E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
XPS	PE International	Niemcy	2011

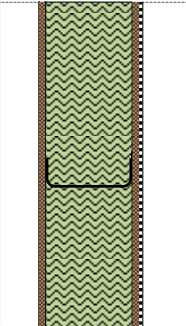
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Spalanie XPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej

B2010.20.1d	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	OSB (mm)	13	Spalanie	80
	PUR (mm)	120	Spalanie	80
	Płyta gipsowa(mm)	15	Składowanie	
	LWS (kg/m ²)	15	Recycling	90

B1010.20.1d

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	8,52E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,64E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	9,22E+02	8,33E-01	6,85E-01	3,02E+00	-3,70E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,66E-01	2,69E-04	2,19E-04	3,30E-03	-7,23E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,43E-02	6,20E-05	5,04E-05	7,68E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	6,70E+01	6,00E-02	4,94E-02	7,11E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,44E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,30E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,81E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	3,15E-04	-1,27E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

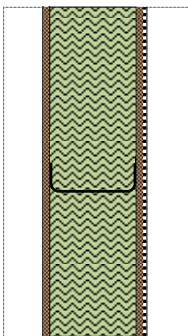
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
PUR	PE International	Niemcy	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Spalanie PUR	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej					
B2010.20.1e	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)	
	OSB (mm)	13	Spalanie	80	
	Korek(mm)	120	Recycling	80	
	Płyta gipsowa (mm)	15	Składowanie		
	LWS (kg/m2)	15	Recycling	90	
B1010.20.1e					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	3,49E-09	1,60E-09	3,48E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	5,78E+02	1,30E+00	5,94E-01	1,36E+00	-3,05E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,60E-01	4,19E-04	1,90E-04	5,92E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,55E-02	9,64E-05	4,37E-05	9,07E-05	-1,17E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,39E+01	9,34E-02	4,28E-02	3,98E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,40E-07	1,64E-12	7,49E-13	7,44E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,50E-02	-1,37E-04	-6,17E-05	1,54E-04	-1,13E-02

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

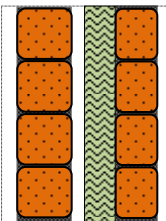
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
OSB	PE International	Niemcy	2008
Płyta gipsowa	PE International	Europa	2008
Stal lekka (LWS)	Worldsteel	Świat	2007
Korek	PE International	Niemcy	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie OSB	PE International	Niemcy	2008
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Recykling stali	Worldsteel	Świat	2007

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej				
B2010.20.2a	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Cegła (mm)	11	Składowanie	
	Powietrze (mm)	0		
	Wełna skalna (mm)	60	Recycling	80
	Cegła (mm)	11	Składowanie	

B1010.20.2a				
	A1-A3	A4	C2	C4
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,00E-06	1,37E-08	1,20E-08	1,55E-06
ADP fossil [MJ]	6,11E+02	5,10E+00	4,46E+00	6,05E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,33E-01	1,65E-03	1,43E-03	2,64E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,58E-02	3,79E-04	3,28E-04	4,04E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,12E+01	3,67E-01	3,21E-01	1,78E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	3,62E-09	6,43E-12	5,62E-12	3,32E-09
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,21E-02	-5,37E-04	-4,64E-04	6,86E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

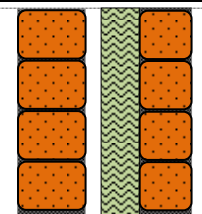
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Cegła	PE International	Niemcy	2011
Wełna skalna	PE International	Europa	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej						
B2010.20.2b		Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)	
	Cegła (mm)	11	Składowanie			
	Powietrze (mm)	0				
	EPS (mm)	60	Spalenie	80		
	Cegła (mm)	11	Składowanie			
B1010.20.2b						
		A1-A3	A4	C2	C4	D
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,56E-06	-4,49E-08
	ADP fossil [MJ]	5,94E+02	4,97E+00	4,35E+00	6,06E+01	-3,21E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	7,23E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,65E-02	-1,22E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	8,96E-03	3,70E-04	3,20E-04	4,06E-03	-7,17E-04
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,46E+01	3,58E-01	3,13E-01	2,09E+01	-2,46E+00
	ODP [kg R11-Equiv.]	8,86E-08	6,27E-12	5,48E-12	3,31E-09	-4,97E-11
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,74E-02	-5,24E-04	-4,52E-04	6,85E-03	-7,02E-04

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Cegła	PE International	Niemcy	2011
EPS	PE International	Europa	2011

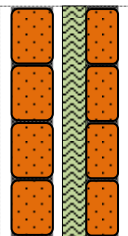
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalenie EPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej

B2010.20.2c	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Cegła (mm)	11	Składowanie	
	Powietrze (mm)	0		
	XPS (mm)	60	Spalanie	80
	Cegła (mm)	11	Składowanie	

B1010.20.2c

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,64E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-7,18E-08
ADP fossil [MJ]	6,51E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,08E+01	-5,14E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	7,67E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,66E-02	-1,95E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,23E-03	3,71E-04	3,20E-04	4,09E-03	-1,15E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,63E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,29E+01	-3,94E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	3,00E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,32E-09	-7,96E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,15E-02	-5,25E-04	-4,53E-04	6,87E-03	-1,12E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

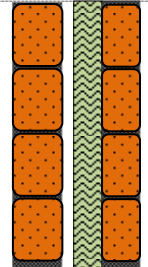
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Cegła	PE International	Niemcy	2011
XPS	PE International	Niemcy	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie XPS	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej				
B2010.20.2d	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Cegła (mm)	11	Składowanie	
	Powietrze (mm)	0		
	PUR (mm)	60	Spalanie	80
	Cegła (mm)	11	Składowanie	

B1010.20.2d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,13E-05	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-4,52E-08
ADP fossil [MJ]	7,17E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,12E+01	-3,22E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	8,33E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,77E-02	-1,21E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	3,71E-04	3,20E-04	4,37E-03	-7,15E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,22E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,11E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	4,11E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,34E-09	-4,99E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	9,80E-03	-5,25E-04	-4,53E-04	6,92E-03	-7,02E-04

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Cegła	PE International	Niemcy	2011
PUR	PE International	Niemcy	2011

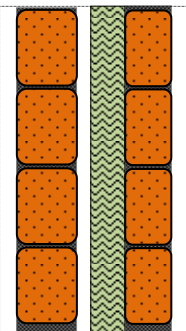
Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Spalanie PUR	PE International	Europa	2011
Składowanie	PE International	Niemcy	2011

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej

B2010.20.2e	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Cegła (mm)	11	Składowanie	
	Powietrze (mm)	0		
	Korek(mm)	60	Recycling	80
	Cegła (mm)	11	Składowanie	

B1010.20.2e

	A1-A3	A4	C2	C4
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,27E-06	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
ADP fossil [MJ]	5,46E+02	5,03E+00	4,40E+00	6,03E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	8,06E-02	1,63E-03	1,41E-03	2,63E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,16E-02	3,74E-04	3,23E-04	4,03E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,57E+01	3,62E-01	3,17E-01	1,77E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	2,30E-09	6,35E-12	5,55E-12	3,31E-09
POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,25E-03	-5,30E-04	-4,57E-04	6,84E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

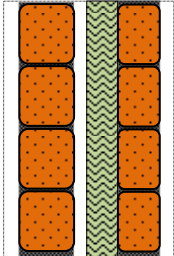
Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Cegła	PE International	Niemcy	2011
Korek	PE International	Niemcy	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011

B2010.20 Rozwiązanie konstrukcyjne przegrody zewnętrznej				
B2010.20.2f	Materiały	Grubość / gęstość	Scenariusz końca życia	Potencjał recyklingu RR (%)
	Cegła (mm)	11	Składowanie	
	Powietrze (mm)	0		
	Wełna szklana (mm)	60	Składowanie	
	Cegła (mm)	11	Składowanie	

B1010.20.2f					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	6,07E-04	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	6,13E+02	5,01E+00	4,38E+00	6,05E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	9,80E-02	1,62E-03	1,40E-03	2,67E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,33E-02	3,73E-04	3,22E-04	5,07E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,81E+01	3,61E-01	3,16E-01	1,83E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	3,81E-09	6,32E-12	5,53E-12	-3,92E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,60E-03	-5,28E-04	-4,56E-04	7,01E-03

Ekwiwalent funkcyjny:

1 m² płyty podłogowej, zaprojektowanej na 50 lat, ze współczynnikiem (U) wynoszącym 0,92 W/m²·K i bezwładnością termiczną (κ_m) 61060 J/m²·K.

Informacje dodatkowe:**Lista danych użyta do obliczeń w modułach A1-A3**

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Cegła	PE International	Niemcy	2011
Wełna szklana	PE International	Europa	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach A4 i C2 (dystans 20 km)

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Transport – ciężarówka	PE International	Świat	2011

Lista danych użyta do obliczeń w modułach C4-D

Proces	Źródło danych	Reprezentatywność	Data
Składowanie	PE International	Niemcy	2011
Składowanie wełny szklanej	PE International	Niemcy	2010

