

# Wyzwania środowiskowe dla budownictwa w kontekście nowych wymagań Komisji Europejskiej

Environmental challenges for construction in the context of new requirements of the European Commission

dr hab. inż. Dorota Burchart, prof. uczelni (ORCID: 0000-0002-2452-5050), Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej Politechnika Śląska, prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz (ORCID: 0000-0001-6320-9539), Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.1316

**Streszczenie:** Emisje gazów cieplarnianych stanowią wyzwania środowiskowe dla obiektów budowlanych, dlatego podejmowane są działania w celu ich ograniczenia. W pracy opisano akty prawne oraz działania dotyczące zmniejszania emisji gazów cieplarnianych w budownictwie, jak również przedstawiono znaczenie techniki oceny cyklu życia (LCA) w podejściu do oceny środowiskowej budynków. Wykazano, iż ocena cyklu życia jest kluczową metodą kwantyfikacji i oceny wpływu na środowisko obiektów budowlanych, a analizy środowiskowe budynków z wykorzystaniem techniki LCA staną się istotnym elementem strategii zrównoważonego budownictwa

**Słowa kluczowe:** technika oceny cyklu życia, analizy środowiskowe, wytyczne Komisji Europejskiej, obiekty budowlane.

**Abstract:** Greenhouse gas emissions constitute environmental challenges for buildings, which is why actions are taken to reduce them. The paper describes legal acts and activities related to reducing greenhouse gas emissions in construction, as well as the importance of the life cycle assessment (LCA) technique in the approach to the environmental assessment of buildings. It has been shown that life cycle assessment is a key method for quantifying and assessing the environmental impact of buildings, and environmental analyzes of buildings using the LCA technique will become an important element of the sustainable construction strategy.

**Keywords:** life cycle assessment technique, environmental analyses, European Commission guidelines, construction works.

## 1. Wprowadzenie

Realizacja planu Europejskiego Zielonego Ładu [1], wzrastające cele zrównoważonego rozwoju oraz przejście na zieloną gospodarkę Unii Europejskiej powodują transformację również w budownictwie. Zrozumienie wpływu obiektów budowlanych na środowisko leży w interesie wszystkich uczestników w gospodarce, w tym projektantów, producentów, dostawców, a także samorządów, które decydują o kierunku wsparciu dla wprowadzania innowacji technologicznych [2]. Budownictwo stanowi jedno z głównych źródeł emisji gazów cieplarnianych (GHG – *Greenhouse Gas*) i odpowiada za około 40% całkowitego zużycia energii w Unii Europejskiej oraz za 36% emisji gazów cieplarnianych związanych z zaopatrzeniem budynku w energię w czasie jego użytkowania [3]. Wraz z rosnącymi wymaganiami Komisji Europejskiej odnośnie ograniczania wpływu na środowisko wzrastają również oczekiwania względem obiektów budowlanych w kierunku bardziej zrównoważonych. Zgodnie z założeniami *World Green Building Council* (WorldGBC) [4] należy dążyć do wprowadzania innowacji technologicznych na rzecz zrównoważonego budownictwa w celu ograniczenia wpływu na zmiany klimatu. Dlatego należy opracować

strategię długoterminową obejmującą wszystkie wymagania względem budownictwa, uwzględniając kompleksowe podejście z perspektywy cyklu życia. W niniejszej pracy przedstawiono nowe aspekty prawne związane z rozwojem zrównoważonego budownictwa oraz wyzwania środowiskowe uwzględniające cykl życia budynku.

## 2. Nowe aspekty prawne

Porozumienie Paryskie zobowiązuje wszystkie kraje i sektory do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych zgodnie z metodologią przyjętą w Raplocie Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*) [5]. W odniesieniu do budownictwa, w realizacji celów określonych w Porozumieniu Paryskim, istotne jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych zarówno na etapie użytkowania budynku, jak i w pozostałych etapach życia budynku. Dodatkowo w celu osiągnięcia przez kraje Unii Europejskiej neutralności klimatycznej do 2050 r. kluczowego znaczenia nabiera ograniczenie wykorzystania zasobów naturalnych, w tym paliw kopalnych, minerałów i metali, a także przejście na system o obiegu zamkniętym. W tym celu Komisja Europejska 14 lipca 2021 r.

przyjęła pakiet „Gotowi na 55” [6] w ramach Europejskiego Zielonego Ładu, którego głównym celem jest zwiększenie pozycji Unii Europejskiej jako światowego lidera w ograniczeniu wpływu na zmiany klimatu. Pakiet wprowadza zmiany w aktualnym prawodawstwie zgodnie z celem Unii, aby osiągnąć neutralność klimatyczną do 2050 r. Zmiany te mają spowodować zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% w porównaniu z 1990 r. Do 2030 r. w ramach pakietu „Gotowi na 55” ogłoszono „Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Gotowi na 55”: osiągnięcie unijnego celu klimatycznego na 2030 r. w drodze do neutralności klimatycznej, COM(2021)550 [6]. Najważniejsze zmiany zgodnie z wytycznymi pakietu „Gotowi na 55” dotyczą: poszerzenia Europejskiego Systemu Handlu Emisjami (EU ETS – *European Union Emissions Trading System*) między innymi na budynki oraz wprowadzenia nowych wyzwań dotyczących aspektów środowiskowych w następujących aktach prawnych: w Dyrektywie o charakterystyce energetycznej budynków, Dyrektywie w sprawie efektywności energetycznej oraz Dyrektywie o odnawialnych źródłach energii [7].

Komisja Europejska zaproponowała rozpoczęcie stosowania handlu emisjami EU ETS od 2027 r. dla budynków [8, 9]. W 2018 r. zostało opublikowane Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2018/842, w ramach którego Polska zobowiązała się do 7% redukcji emisji gazów cieplarnianych w latach 2021–2030 w porównaniu do roku 2005 z sektorów non-ETS, w tym z sektora budownictwa [10]. Powyższe wymagania ograniczenia emisji będą wiązać się ze zwiększeniem kompleksowej termomodernizacji budynków, dlatego podejmowane są inicjatywy na rzecz ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Komisja Europejska wytyczyła 100 miast, które będą brały udział w misji Unii Europejskiej na rzecz Neutralnych Klimatycznie i Inteligentnych Miast do 2030 r. Wśród nich jest pięć miast w Polsce, w tym Kraków, Łódź, Rzeszów, Wrocław oraz Warszawa. Wybrane miasta z 27 państw członkowskich Unii Europejskiej opracują umowy Climate City, w ramach których zostaną opracowane plany neutralności klimatycznej w sektorach, takich jak energia, budownictwo, gospodarka odpadami oraz transport.

Zgodnie z wytycznymi Dyrektywy Parlamentu Europejskiego z dnia 13 września 2023 r. [11] istotne jest zwiększenie efektywności energetycznej budynków z uwzględnieniem całego cyklu życia w kierunku uzyskania neutralności klimatycznej oraz zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki o obiegu zamkniętym. W kwestii renowacji budynków istotne jest określenie wskaźnika efektywności energetycznej oraz emisji GHG, jak również ich ograniczenie w analizach porównawczych nowych budynków oraz renowacji takich budynków. Instytucje zamawiające mogą podjąć decyzję o zobowiązaniu oferentów do ujawnienia informacji na temat emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia, zastosowania materiałów

niskoemisyjnych i wykorzystania materiałów w obiegu zamkniętym w odniesieniu do nowego budynku i budynku, który ma zostać poddany renowacji [11]. Zmiana Dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej budynków [11] ma przyczynić się przede wszystkim do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zużycia energii w sektorze oraz zwiększenia tempa renowacji budynków nieefektywnych energetycznie. Do 2050 r. sektor budownictwa ma stać się neutralny dla klimatu:

- od 2026 r. zeroemisyjne mają stać się budynki zajmowane, czy eksploatowane przez władze publiczne lub do nich należące;
- od 2028 r. wszystkie nowe budynki mają być zeroemisyjne;
- od 2028 r. wszystkie nowe budynki powinny być wyposażone w technologie energii słonecznej, jeżeli jest to wykonalne pod względem technicznym i ekonomicznym. Dla budynków mieszkalnych poddawanych gruntownemu remontowi termin ten to 2032 r.

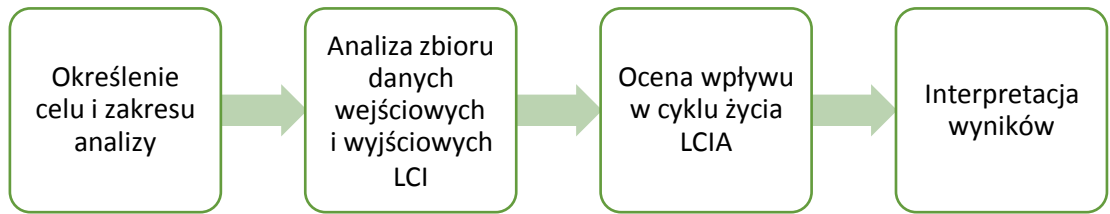
### 3. Nowe podejście do ocen środowiskowych w budownictwie

W celu ograniczenia emisji ditlenku węgla w budownictwie niezbędne są badania, które doprowadzą do osiągnięcia zrównoważonych budynków. Aby to uzyskać, pierwszym krokiem jest rozpoznanie i ocena stanu obecnego budynków pod kątem ich wpływu na emisje gazów cieplarnianych, uwzględniając nie tylko etap eksploatacji budynków, ale również etap budowy. W tym celu pomóc może technika oceny cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assessment*), która jest rekomendowana przez Komisję Europejską w nowej Dyrektywie z dnia 13 września 2023 [11]. Zgodnie z nią należy w ocenie emisji gazów cieplarnianych uwzględnić oprócz etapu eksploatacji zarówno etap przed rozpoczęciem eksploatacji, jak i po zakończeniu, czyli należy ocenić cykl życia budynku. Dodatkowo położony jest nacisk na wytyczne gospodarki o obiegu zamkniętym. Należy ograniczyć również emisje GHG na etapie produkcji materiałów, półproduktów, wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej wykorzystywanej do tych materiałów oraz samego wytwarzania budynku.

Dotychczas w budownictwie wykonywane są oceny środowiskowe zgodnie z systemem certyfikacji wielokryterialnej budynków (LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*) i metodą oceny środowiskowej budynków (BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*). Są to najbardziej popularne systemy certyfikacji energetycznej [12].

Zaproponowana w Dyrektywie z 13 września 2023 r. [11] technika analiz cyklu życia LCA, umożliwi wykonanie analizy emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia budynku. LCA jest kompleksową techniką zarządzania środowiskowego. Umożliwi wykonanie oceny potencjalnych produktów, technologii oraz procesów już na etapie projektowania oraz

Rys. 1. Etapy analizy cyklu życia



pozwała na wykazanie głównych czynników (determinantów), mających potencjalny wpływ na środowisko i związanych z danym produktem lub technologią. W wyniku analizy LCA otrzymuje się wskaźniki środowiskowe obejmujące różne kategorie wpływu oraz szkód dla środowiska w całym cyklu życia. LCA daje możliwość porównania technologii lub produktów w zakresie różnych aspektów środowiskowych, jak np. emisje gazów cieplarnianych, zakwaszenie, eutrofizacja, skumulowane zużycie paliw kopalnych itd. [13, 14]. Metoda LCA umożliwia wykonanie oceny środowiskowej związanej z wszystkimi etapami życia produktu obejmujących: wydobycie i przetwarzanie surowców mineralnych, proces produkcyjny, dystrybucję, transport, użytkowanie, recykling oraz ostateczne unieszkodliwianie odpadów. Analiza LCA powinna być wykonana zgodnie z normami z serii ISO 14040: PN-EN ISO 14040:2009 [15] oraz PN-EN ISO 14044:2009 [16]. Zakres analizy LCA obejmuje cztery etapy, które przedstawiono na rysunku 1.

Ocena emisji gazów cieplarnianych jest najistotniejszą kategorią wpływu na środowisko zgodnie z wytycznymi dyrektywy [11] w ocenie budynków, dlatego istotne jest poznanie metodologii oceny emisji GHG. Emisja gazów cieplarnianych w całym cyklu życia określana jest również jako ślad węglowy. Ślad węglowy (CF – *Carbon Footprint*) jest najbardziej rozpowszechniony spośród całej rodziny śladów środowiskowych. Ślad węglowy definiowany jest jako całkowita ilość emisji gazów cieplarnianych podczas cyklu życia danego procesu lub produktu. Gdy oblicza się wartość śladu węglowego, należy uwzględnić wszystkie bezpośrednie i pośrednie emisje. Ślad węglowy budynku uwzględnia zarówno wpływ na emisje gazów cieplarnianych wszystkich materiałów, surowców, energii, które są uwzględniane na etapie budowy budynku, jak i wszystkie źródła energii uwzględniane w czasie eksploatacji. Dodatkowo również ocenia się sposób recyklingu na etapie końca życia budynku. W analizach cyklu życia budynku istotne jest uwzględnienie zarówno bezpośrednich, jak i pośrednich czynników wpływających na emisje. Analiza LCA umożliwia wykonanie środowiskowej analizy cyklu życia budynku, uwzględniając etap produkcji materiałów budowlanych, konstrukcji budynku, użytkowanie budynku oraz etap likwidacji budynku.

#### 4. Wytyczne do środowiskowej oceny cyklu życia dla obiektów budowlanych

Dla obiektów budowlanych opracowane są normy, które przedstawiają zasady oceny cyklu życia budynków. Normy

odnoszące się do analiz cyklu życia i oceny środowiskowej budynków przedstawiono na rysunku 2.

Zgodnie z normą PN-EN 15978:2012 [17] cykl życia budynku podzielony jest na cztery fazy przedstawione na rysunku 3. W ramach poszczególnych faz uwzględnione są moduły, dla których wykonywane są analizy środowiskowe.

W cyklu życia budynku ślad węglowy jest podzielony na operacyjny i wbudowany. Operacyjny ślad węglowy obejmuje emisje gazów cieplarnianych tylko w fazie użytkowania budynku i dotyczy dwóch modułów: zużycia energii (B6) oraz zużycia wody (B7). Istotne jest, iż ten rodzaj śladu obejmuje bezpośrednie zużycie zarówno energii, jak i wody w trakcie użytkowania budynku. Natomiast wbudowany ślad węglowy obejmuje emisje gazów cieplarnianych ze wszystkich faz i modułów w cyklu życia budynku z wyjątkiem zużycia energii (B6) oraz zużycia wody (B7). Zgodnie z normą PN-EN 15978:2012 rekomendowane jest wykonywanie analiz LCA dla 50-letniego cyklu życia budynku.

Dotychczas analizy budynków najczęściej dotyczyły modułu B6 i wiążą się z analizą efektywności energetycznej budynku. Odnośnie modułu związanego ze zużyciem wody należy podkreślić, że kwestia ta staje się coraz istotniejsza ze względu na ograniczone zasoby wody na świecie. Dlatego analizy zużycia wody powinny być rozszerzone nie tylko na bezpośrednie zużycie, ale również na pośrednie zużycie, które wiąże się ze zużyciem wody we wszystkich materiałach, surowcach, energii itd. wykorzystywanych w cyklu życia budynku. Znane są metody, które umożliwiają wykonywanie takich analiz, należy do nich między innymi ślad wodny (WF – *Water Footprint*), czyli skumulowane zużycie wody w cyklu życia.

Należy również zaznaczyć, iż Wspólne Centrum Badawcze (JRC – *Joint Research Centre*) opracowało raport dla Komisji Europejskiej odnośnie modeli analizy cyklu życia dla budynków. To również potwierdza jak istotna staje się rola techniki LCA dla budownictwa [18].

#### 5. Przykłady modeli oceny cyklu życia w wybranych krajach Unii Europejskiej

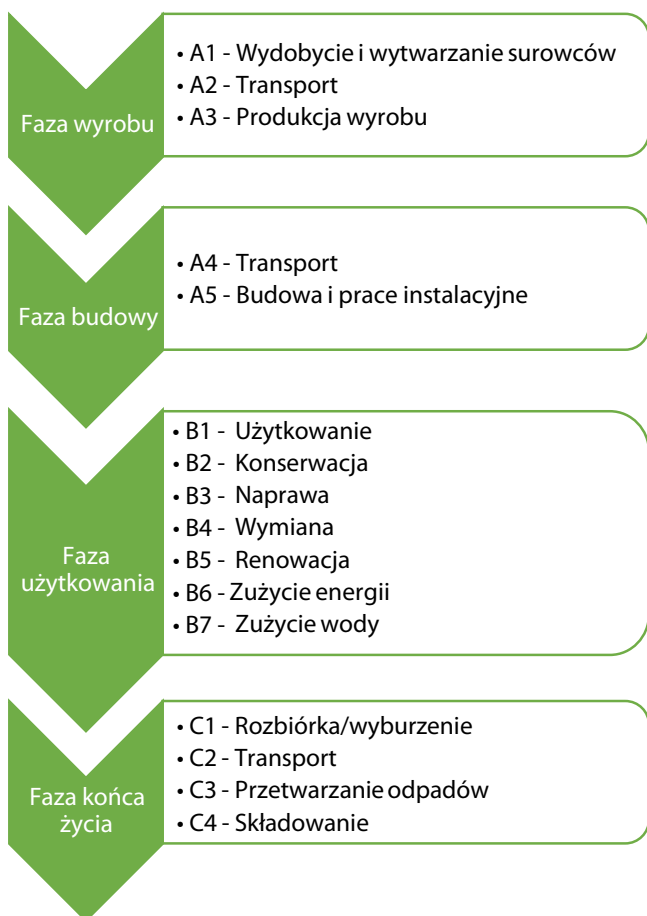
Analizy LCA budynków są już wykonywane przez ośrodki w kilku krajach Unii Europejskiej, jak również są opracowywane modele analizy LCA dla poszczególnych krajów. W pięciu krajach europejskich podejmowane są już prace dotyczące opracowania krajowej metodyki analiz LCA dla budynków [19]. Główne elementy opracowanej metodyki LCA w danych krajach wraz z wartościami granicznymi emisji gazów

**Rys. 2.** Zakres norm odnoszących się do analizy cyklu życia budynków

Numer normy	Tytuł	Zakres normy
PN-EN ISO 14040:2009	Zarządzanie środowiskowe Ocena cyklu życia – Zasady i struktura	Opis zasad i struktury oceny cyklu życia
PN-EN ISO 14044:2009	Zarządzanie środowiskowe Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne	Opis wymagań i procedur oceny cyklu życia
PN-EN ISO 14025:2010	Etykiety i deklaracje środowiskowe – Deklaracje środowiskowe III typu – Zasady i procedury	Opis zasad i procedur opracowania programów deklaracji środowiskowych III typu i deklaracji środowiskowych III typu
PN-EN 15804+A2:2020-03	Zrównoważenie obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych	Opis podstawowych zasad kategoryzacji wyrobu (PCR-Product Category Rules) do deklaracji środowiskowych III typu dowolnego wyrobu i usługi budowlanej.
PN-EN 15978:2012 –	Zarządzanie Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania	Opis metody oceny środowiskowej budynku w oparciu o ocenę cyklu życia (LCA) uwzględniając wszystkie etapy cyklu życia budynku.

cieplarnianych w cyklu życia budynku przedstawiono w tabeli 1.

W przedstawionych krajach są określone ramy prawne odnośnie opracowanej metodyki oceny cyklu życia budynków. W Polsce dotychczas brak jest takich opracowań i metodyki. Brak jest również prawodawstwa, które obejmowałoby wartości graniczne śladów węglowych budynków uwzględniając uwarunkowania krajowe. Należy zauważyć, że opracowane metodyki oceny cyklu życia budynków w poszczególnych krajach różnią się zarówno uwzględnionymi modułami, fazami cyklu życia, rodzajami budynków które obejmują modele, jak również wartościami granicznymi śladów węglowych.



**Rys. 3.** Fazy i moduły cyklu życia budynku zgodnie z normą PN-EN 15978:2012

## 6. Podsumowanie

Kwestie środowiskowe, a zwłaszcza emisje gazów cieplarnianych stają się coraz istotniejsze dla sektora budownictwa, co jest podkreślone zarówno w dyrektywach unijnych, jak i rozporządzeniach dotyczących budownictwa. Pojawiające się zmiany w ramach dyrektyw stanowią pierwsze działania w kierunku zaznaczenia istotności podejścia cyklu życia do ocen środowiskowych budynków w prawodawstwie dotyczącym efektywności środowiskowej oraz energetycznej budynków. Zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej, jak i rozporządzeniami krajowymi należy podejmować działania w kierunku ograniczania zużycia surowców i energii oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia budynków. Technika oceny cyklu życia LCA uważana jest jako kluczowa metoda kwantyfikacji i oceny wpływu na środowisko obiektów budowlanych.

Należy podkreślić, że podejście cyklu życia jest ważne w celu ograniczenia wpływu na wiele kategorii środowiskowych. Analiza LCA umożliwia uzyskanie wielu wskaźników środowiskowych, w tym śladu węglowego, śladu wodnego, uwzględniając wszystkie fazy cyklu życia budynku. Wykonywanie analizy LCA nie jest jeszcze wymagane zgodnie z polskimi aktami prawnymi, jednak uwzględniając zmiany w dyrektywie, jak również strategię Fali Renowacji technika LCA staje się istotnym narzędziem, które może pomóc w analizach wpływu na środowisko cyklu życia budynku. Tylko podejście cyklu życia pozwoli na pełną ocenę i poprawę efektywności środowiskowej budynków. Dotychczas brak jest w Polsce opracowanej metodyki analiz LCA dla budynków, która obejmuje uwarunkowania krajowe. Opracowanie takiej metodyki oraz określenie wskaźników granicznych emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia budynku jest procesem

**Tabela 1.** Główne elementy metodyki analizy LCA obiektów budowlanych w wybranych krajach Unii Europejskiej

Kraj	Fazy cyklu życia budynku uwzględnione w modelu	Moduły uwzględnione w modelu	Proponowane modele oceny – wartości graniczne	Zakres analiz LCA	Rodzaje budynków
Dania	Wbudowany i operacyjny ślad węglowy	A1, A2, A3, B4, B6, C3, C4	12 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /rok do 2025 roku	Szczegółowa analiza LCA	Wszystkie nowe budynki
Finlandia	Tylko wbudowany ślad węglowy	A1, A2, A3, A4, A5 B4, C1, C2, C3, C4	W trakcie opracowania	Szczegółowa analiza LCA	Wszystkie nowe budynki
Francja	Wbudowany i operacyjny ślad węglowy	A1- A5 B1-B7 C1- C4	Wartości dla wbudowanego CF do roku 2024: Budynki mieszkalne jednorodzinne 640 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> Budynki mieszkalne wielorodzinne 740 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Dynamiczne LCA	Nowe budynki mieszkalne, biurowe i edukacyjne
Holandia	Tylko wbudowany ślad węglowy	A1- A5 B1-B4 C1- C4	Budynki mieszkalne: 0,8 EUR/m <sup>2</sup> /rok Budynki biurowe: 1 EUR/m <sup>2</sup> /rok	Szczegółowa analiza LCA	Nowe budynki mieszkalne, biurowe i edukacyjne powyżej 100 m <sup>2</sup>
Szwecja	Tylko wbudowany ślad węglowy	A1- A5	Zostanie opracowany do 2027 roku	Uproszczone LCA	Nowe budynki z wyjątkiem niektórych budynków publicznych

Źródło: opracowanie własne w oparciu o raport [19] i normę PN-EN 15978:2012

złożonym, ale istotny jest fakt, iż pomoże w podejmowaniu decyzji odnośnie zakwalifikowania budynku jako niskoemisyjny czy wysokoemisyjny.

Stwierdzono, iż analizy środowiskowe budynków z wykorzystaniem techniki LCA staną się istotnym elementem strategii zrównoważonego budownictwa. Należy zauważyć, iż wprowadzenie LCA stanie się obowiązkowe w zielonych zamówieniach publicznych inwestycji budowlanych.

Problematyka analizy śladu węglowego budynków staje się coraz ważniejsza w Polsce. Wyzwania związane z analizami śladu środowiskowego budynku dążą do uzyskania gospodarki zeroemisyjnej dlatego, istotne są działania związane z ograniczaniem wpływu na środowisko budynków uwzględniające podejście do cyklu życia.

**BIBLIOGRAFIA**

[1] Realizacja Europejskiego Zielonego Ładu, informacja ze strony internetowej www.europa.eu, data wejścia: 04.10.2023  
 [2] United Nations Environment Programme, Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-Emission, Efficient, and Resilient Buildings and Construction Sector, Nairobi, 2022  
 [3] Hasik V., Ororbina M., Warn G., Bilec M., Whole building life cycle environmental impacts and costs: A sensitivity study of design and service decisions, Building and Environment, tom 163, 10/2019, str. 106316  
 [4] Nugent A., Montano-Owen C., Pallares L., Richardson S., Rowland M., EU Policy Whole Life Carbon Roadmap, London: World Green Building Council, 2022  
 [5] Sixth Assessment Report – IPCC 2022  
 [6] Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Gotowi na 55”: osiągnięcie unijnego celu klimatycznego na 2030 r. w drodze do neutralności klimatycznej COM/2021/550 final, 14 lipca 2021

[7] Stefańczyk A., Śniegocki A., Wetmańska Z., Efektywne instrumenty wspierania kompleksowej modernizacji energetycznej budynków w Polsce, Raport Fali Renowacji, Instytut Reform, Warszawa, 2022, www.falarenowacji.pl  
 [8] EU Emissions Trading System for buildings and road transport („EU ETS 2”), International Carbon Action Partnership (ICAP) 2022, EU, www.icapcarbonaction.com  
 [9] EU Emissions Trading System (EU ETS), www.europa.eu  
 [10] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/842 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie wiążących rocznych redukcji emisji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie od 2021 r. do 2030 r. przyczyniających się do działań na rzecz klimatu w celu wywiązania się z zobowiązań wynikających z Porozumienia paryskiego oraz zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013  
 [11] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955  
 [12] Sartori T., Drogemuller R., Omrani S., Lamari F., A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS), Journal of Building Engineering, 38(1)2021, str. 102180  
 [13] Burchart D., Gazda-Grzywacz M., Grzywacz P., Burmistrz P., Zarębska K., Life Cycle Assessment of Hydrogen Production from Coal Gasification as an Alternative Transport Fuel, Energies, tom 16, 2023  
 [14] Fołęga P., Burchart D., Marzec P., Jursova S., Pustejovska P., Potential Environmental Life Cycle Impacts of Fuel Cell Electric Vehicles Powered by Hydrogen Produced from Polish Coke Oven Gas, Transport Problems, tom 17, 1/2022  
 [15] PN-EN ISO 14040:2009 – Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura  
 [16] PN-EN ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne  
 [17] PN-EN 15978:2012 – Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania  
 [18] Gervasio H., Dimova S., Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings, EUR 29123 EN, Publications Office of the European Union, 2018, ISBN 978-92-79-79973-0, doi:10.2760/10016, JRC110082  
 [19] Whole life carbon models for the EU27 to bring down embodied carbon emissions from new buildings, Review of existing national legislative measures, Ramboll, European Climate Foundation, 2022