

## Ocena środowiskowa wyrobów budowlanych – wyzwania, priorytety i potrzeby z perspektywy producenta. Przegląd literatury

## Environmental Assessment of Construction Products – Challenges, Priorities, and Needs from Producers' Perspective. A Review

**Jacek Michalak**

Research and Development Center, Atlas sp. z o.o., 2, Kilińskiego St., 91-421 Łódź, Poland

Corresponding author: J. Michalak, e-mail: [jmichalak@atlas.com.pl](mailto:jmichalak@atlas.com.pl)

### Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie oceny oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych. Analizę wykonano w celu zbadania możliwości rzetelnej oceny i weryfikacji oddziaływania wyrobów budowlanych na środowisko przez producenta w związku z planowanym wprowadzeniem w UE obowiązkowej oceny środowiskowej. Wyniki systematycznego przeglądu literatury dla słów kluczowych niniejszego artykułu wskazały wiele różnych problemów i niedoskonałości w dotychczas funkcjonującym modelu oceny wykorzystującym analizę cyklu życia wyrobu, wśród których najważniejszą jest nieporównywalność uzyskiwanych wyników będącą kluczową kwestią związaną z wiarygodnością producenta. Analiza przeglądu literatury wskazała, że wdrożenie w krajach UE nowego, obowiązkowego modelu oceny oddziaływania wyrobów budowlanych na środowisko będzie wyzwaniem dla wszystkich uczestników rynku. Wydaje się też oczywistym, że racjonalna realizacja oceny środowiskowej wyrobów budowlanych będzie trudna oraz wymagać będzie znacznie więcej pracy i czasu niż planuje to Komisja Europejska. Porównanie wyników niniejszego przeglądu literatury z założeniami nowego unijnego modelu oceny środowiskowej wyrobów budowlanych wskazuje także na brak transferu wiedzy z nauki do administracji publicznej, co negatywnie wpływa na racjonalność samego procesu decyzyjnego. W świetle uzyskanych wyników przeglądu literatury można stwierdzić, że jedynym rozsądnym rozwiązaniem wydaje się być tworzenie sektorowych deklaracji środowiskowych. Przyjęcie takiego rozwiązania pozwoli producentom wyrobów budowlanych zracjonalizować wydatki związane z ich opracowywaniem oraz uniknąć chaosu, jaki może powstać w sytuacji gdy szczegółowe dane dotyczące oddziaływania środowiskowego materiału są nieporównywalne.

**Słowa kluczowe:** wyroby budowlane, ocena, analiza cyklu życia [LCA], deklaracja środowiskowa wyrobu [EPD]

### Summary

The article presents the current state of knowledge in assessing the environmental impact of construction products. The analysis was carried out to examine the possibility of reliable assessment and verification of the environmental impact of construction products by the manufacturer in connection with the planned introduction of mandatory environmental assessment in the EU. The results of a systematic literature review for the keywords of this article indicated many different problems and imperfections in the existing assessment model using product life cycle analysis, among which the most important is the incomparability of the results obtained, which is a crucial issue related to the manufacturer's credibility. The literature review indicated that implementing a new, mandatory model for assessing the environmental impact of construction products in EU countries will be a challenge for all market participants. The rational implementation of the environmental assessment of construction products will be complex and require much more work and time than was planned by the European Commission. A comparison of the results of this literature review with the assumptions of the new EU model of environmental assessment of construction products also indicates the lack of knowledge transfer from science to public administration, negatively affecting the rationality of the decision-making process. In light of the literature review results, the only reasonable solution is to create sectoral environmental declarations. Adopting such a solution will allow manufacturers of construction products to rationalize the expenses related to their development and avoid the chaos that may arise when environmental impact data are incomparable.

**Keywords:** construction products, assessment, Life Cycle Assessment [LCA], Environmental Product Declaration [EPD]

## 1. Wprowadzenie

Cele zrównoważonego rozwoju są aktualnie istotnym elementem, a także często i podstawą kształtowania strategii działalności we wszystkich sektorach gospodarki. Uniwersalny plan rozwoju dla świata definiujący model zrównoważonego rozwoju na poziomie globalnym sformułowała Organizacja Narodów Zjednoczonych [ONZ] przyjmując Agendę 2030 (1). W połowie czerwca 2023 roku ONZ opublikowała wstępną wersję raportu z dotychczasowej realizacji Agendy 2030 (2).

Komisja Europejska [KE] intensywnie wspiera realizację strategii ONZ, zaś unijne instytucje zainicjowały i ciągle inicjują nowe polityki transformacyjne mające na celu realizację 17 celów zrównoważonego rozwoju [Sustainable Development Goals – SDGs] Agendy 2030 (3). Rozważając całościowe podejście UE do zagadnień zrównoważonego rozwoju należy, przede wszystkim, wspomnieć o Europejskim Zielonym Ładzie [European Green Deal – EGD] – strategii, która ma przekształcić Unię w dobrze prosperujące społeczeństwo z nowoczesną, opartą na wiedzy, konkurencyjną gospodarką efektywnie korzystającą z zasobów (4). Zgodnie z założeniami EGD w 2050 roku gospodarka unijna ma być wolna od emisji gazów cieplarnianych netto oraz chronić zdrowie i samopoczucie obywateli UE przed zagrożeniami związanymi z degradacją środowiska.

Skala i poziom złożoności wyzwań klimatycznych, gospodarczych i społecznych jakim należy stawić czoła wymagają skoordynowanych działań na poziomie ponadnarodowym. Transformacja ekologiczna, a także równoległe dokonująca się transformacja cyfrowa, aby były skuteczne muszą odbywać się z aktywnym udziałem wszystkich interesariuszy. Działania na rzecz zrównoważonego rozwoju w sektorze budowlanym, wykorzystującym ogromne ilości surowców naturalnych oraz emitującym znaczne ilości gazów cieplarnianych, mają istotny globalny wymiar. Przemysł cementowy i hutniczy odpowiadają za ok. 11% emisji CO<sub>2</sub> (5). KE dostrzegając pilną potrzebę realizacji priorytetów politycznych, takich jak ekologiczna i cyfrowa transformacja oraz bezpieczeństwo wyrobów opublikowała 30 marca 2022 roku projekt rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/1020 i uchylające rozporządzenie (UE) nr 305/2011 (6). W projekcie nowego rozporządzenia zaproponowano wiele zmian w stosunku do aktualnie obowiązującego Construction Products Regulation [CPR] regulującego unijny rynek wyrobów budowlanych od 1 lipca 2013 roku (7). Warto odnotować, że KE zdecydowała o ewentualnym zastąpieniu aktualnie obowiązującego CPR nowym rozporządzeniem pomimo tego, że takie rozwiązanie nie było opcją preferowaną przez znaczną część respondentów ankiety publicznej przeprowadzonej w 2020 roku (8). Wśród respondentów ankiety najliczniejszą grupę stanowili przedstawiciele biznesu, tj. izby handlowe, stowarzyszenia, związki – 54% i sam przemysł – 26%. W dniu 10 kwietnia 2024 roku Parlament Europejski przyjął w pierwszym czytaniu rezolucję ustawodawczą w sprawie wniosku dotyczącego rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady

## 1. Introduction

Sustainable development goals are currently an essential element and often the basis for shaping business strategies in all sectors of the economy. The universal development plan for the world defining the model of sustainable development at the global level was formulated by the United Nations when it adopted the 2030 Agenda (1). In mid-June 2023, the UN published a preliminary version of the report on implementing the 2030 Agenda (2).

The European Commission [EC] intensively supports the implementation of the UN strategy, and EU institutions have initiated it. They are still creating new transformation policies to implement the 17 Sustainable Development Goals [SDGs] of the 2030 Agenda (3). When considering the EU's overall approach to sustainable development issues, it is necessary to mention the European Green Deal [EGD] (4). This strategy is intended to transform the EU into a prosperous society with a modern, knowledge-based, competitive, and resource-efficient economy (4). According to the EGD assumptions, in 2050, the EU economy is to be free from net greenhouse gas emissions and to protect the health and well-being of EU citizens against threats related to environmental degradation.

The scale and complexity of the climate and the economic and social challenges require coordinated action at the supranational level. The ecological transformation and the parallel digital transformation must take place with the active participation of all stakeholders to be effective. Activities for sustainable development in the construction sector, which uses vast amounts of natural resources and emits significant amounts of greenhouse gases, have an essential global dimension. The cement and steel industries are responsible for 11% of CO<sub>2</sub> emissions (5). Recognizing the urgent need to implement political priorities such as ecological and digital transformation and product safety, the EC published on March 30, 2022, a draft regulation of the European Parliament and of the Council establishing harmonized conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) No. 305/2011 (6). The draft of the new regulation proposes many changes to the currently applicable Construction Products Regulation [CPR], which has regulated the EU market of construction products since July 1, 2013 (7). The EC decided to possibly replace the currently applicable CPR with a new regulation even though such a solution was not the option preferred by many respondents to a public survey conducted in 2020 (8). Among the survey respondents, the largest group were business representatives, i.e., chambers of commerce, associations, unions - 54% and the industry - 26%. On 10 April 2024, the next step appeared, and the European Parliament adopted a legislative resolution on the proposal for a new CPR at first reading (9)

Above all, the new regulation is intended to support the green transformation of construction. The most significant changes include introducing new basic requirements for construction works and essential characteristics that should be considered during the assessment (6). In terms of the basic requirement for the sustainable use of natural resources in buildings, the harmonized

ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, zmieniającego rozporządzenie (UE) 2019/1020 i uchylającego rozporządzenie (UE) nr 305/2011 (9). Nowe rozporządzenie ma, przede wszystkim, wspierać zieloną transformację budownictwa. Do najważniejszych zmian należy wprowadzenie nowych podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych i zasadniczych charakterystyk, które należy uwzględnić podczas oceny (6). W zakresie podstawowego wymagania dotyczącego zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych obiektów budowlanych zharmonizowane specyfikacje techniczne obejmować będą zasadnicze charakterystyki związane z oceną cyklu życia [Life Cycle Assessment – LCA]. Jedną z zasadniczych charakterystyk odnoszących się do podstawowego wymagania dotyczącego zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych jest określenie skutków zmiany klimatu. Projekt zakłada też wprowadzenie nowego systemu oceny i weryfikacji, tj. systemu 3+, w którym to systemie jednostka notyfikowana przeprowadza kontrolę w zakresie oceny zrównoważenia środowiskowego, zaś producent wyrobu budowlanego przeprowadza ocenę właściwości użytkowych wyrobu w odniesieniu do zasadniczych charakterystyk lub wymogów dotyczących wyrobu związanych ze zrównoważeniem środowiskowym i aktualizuje tę ocenę.

W niniejszym artykule przedmiotem analizy są jedynie zagadnienia dotyczące oceny wyrobów budowlanych w zakresie ich oddziaływania środowiskowego w związku z ewentualną zmianą rozporządzenia, którego treść jest obecnie przedmiotem prac instytucji unijnych. Zmiana unijnego rozporządzenia regulującego wprowadzanie wyrobów budowlanych do obrotu, jak każdy proces decyzyjny, związana jest z wiedzą, w tym wiedzą naukową jako ważnym zasobem informacyjnym. Wiedza naukowa ma istotne znaczenie wspierając decyzje polityczne aby były racjonalne. Celem niniejszego artykułu jest odpowiedź na pytania, czy zaproponowane nowe rozwiązania dotyczące oceny środowiskowej wyrobów budowlanych są zasadne, a ich realizacja realistyczna w świetle zgromadzonej przez naukę wiedzy w tym zakresie. Analiza literatury ma też odpowiedzieć na pytanie czy zmieniająca się rzeczywistość społeczna wytwarza adekwatne do niej regulacje prawne. Istotna jest też odpowiedź na pytanie czy zmiany regulacji prawnych zmienią rzeczywistość zgodnie z zamierzeniami ich autorów. Jednak na to ostatnie pytanie niniejszy przegląd literatury nie jest w stanie odpowiedzieć.

Inne planowane zmiany CPR, w tym konieczność sporządzania obok dotychczasowej deklaracji właściwości użytkowych także deklaracji zgodności z wymaganiami środowiskowymi i bezpieczeństwa nie są przedmiotem rozważań zawartych w niniejszym artykule. Dotychczas są one przedmiotem nielicznych rozważań (10).

## 2. Materiały i metody

W badaniu opisanym w niniejszym artykule wykorzystano Systematyczny Przegląd Literatury [Systematic Literature Review – SLR] metodę mającą na celu odnalezienie wszystkich badań na dany, zadany temat (11). W niniejszym artykule SLR mapował literaturę

technical specifications will include essential characteristics related to the Life Cycle Assessment [LCA]. One of the essential characteristics relating to the basic requirement for the sustainable use of natural resources is determining the effects of climate change. The project also assumes the introduction of a new assessment and verification system, i.e., the 3+ system, in which the notified body inspects the field of environmental sustainability assessment, and the manufacturer of the construction product assesses the performance of the product about the essential characteristics or requirements for the product related to environmental sustainability and updates this assessment.

This article analyzes only issues related to the assessment of construction products in terms of their environmental impact in connection with a possible change to the regulation, the content of which is currently being discussed by EU institutions. The shift in EU regulation regulating the placement of construction products on the market, like any decision-making process, is related to knowledge, including scientific knowledge, a vital information resource. Scientific knowledge is essential in supporting political decisions to be rational. This article aims to answer whether the proposed new solutions regarding the environmental assessment of construction products are justified and whether their implementation is realistic in light of the knowledge accumulated by science in this area. The analysis of the literature is also intended to answer the question of whether the changing social reality produces legal regulations that are adequate to it. It is also essential to answer whether changes in legal regulations will change reality by the intentions of their authors. However, this last question cannot be answered by this literature review.

Other planned changes to the CPR, such as preparing a declaration of compliance with environmental and safety requirements, are separate from the considerations in this article and have been subject to few considerations so far (10).

## 2. Materials and methods

The study described in this article used the Systematic Literature Review [SLR] to find all studies on a given topic (11). In this article, SLR has mapped the literature on the environmental assessment of construction products. The data source was a search in the Scopus database of scientific publications for detailed queries, including the keywords of this article.

As a result of the SLR and the identification of articles regarding environmental assessment, this article was created. The article is based on existing scientific evidence from articles identified following the SLR. Considering that the meaning of science changes over time, the article mainly includes research papers written in the last five years. When selecting the collected material, the author was guided by the primary goal of presenting representative material for the issue being the subject of this review. In addition, the work contains information from over twenty-five years of professional experience of the author, who is in the daily business involved in assessing and verifying the constancy of performance

związaną z oceną środowiskową wyrobów budowlanych. Źródłem danych było wyszukiwanie w bazie publikacji naukowych Scopus dla zapytań o charakterze szczegółowym uwzględniających w swojej treści słowa kluczowe niniejszego artykułu.

W następstwie przeprowadzonego SLR i identyfikacji artykułów dotyczących oceny środowiskowej stworzono nową całość – niniejszy artykuł. Artykuł powstał w oparciu o istniejące dowody naukowe zawarte w artykułach zidentyfikowanych w następstwie przeprowadzonego SLR. Biorąc pod uwagę, że zakres znaczeniowy nauki zmienia się w czasie w artykule uwzględniono przede wszystkim prace naukowe powstałe w ciągu ostatnich pięciu lat. Dokonując wyboru zgromadzonego materiału autor kierował się nadrzędnym celem jakim było przedstawienie materiału reprezentatywnego dla zagadnienia będącego przedmiotem niniejszego przeglądu. Ponadto w pracy zawarte zostały informacje wynikające z ponad dwudziestopięcioletniego doświadczenia zawodowego autora na co dzień związanego z oceną i weryfikacją stałości właściwości użytkowych [Assessment and Verification of Constancy of Performance – AVCP] wyrobów budowlanych, którą przeprowadza producent.

### 3. Wyniki

W Tabelicy 1 podano liczbę artykułów zidentyfikowanych w bazie artykułów naukowych Scopus dla zapytań uwzględniających w swojej treści słowa kluczowe niniejszego artykułu, tj. „assessment”, „construction products”, „LCA” oraz „EPD”.

Dane zawarte w powyższej tabeli wskazują, że ocena wyrobu budowlanego w zakresie oddziaływania środowiskowego jest rzadko przedmiotem rozważań naukowców.

Z perspektywy producenta jakiegokolwiek produktu, w tym także z perspektywy producenta wyrobów budowlanych fundamentalna jest jego wiarygodność. Jest ona jednym z kluczowych aspektów budowania więzi z klientem. Ta firma, która przedstawi siebie w lepszym świetle przybliży się do wygranej na konkurencyjnym

properties [AVCP] of construction products, which the manufacturer carries out.

### 3. Results

Table 1 shows the number of articles identified in the Scopus database of scientific articles for queries that included the keywords of this article, i.e., “assessment,” “construction products,” “LCA,” and “EPD.”

The table above shows that scientists rarely consider assessing a construction product’s environmental impact.

From the perspective of the manufacturer of any product, including the manufacturer of construction products, its credibility is fundamental. It is one of the critical aspects of building relationships with the customer. The company that presents itself in a better light comes closer to winning in a competitive market. When considering the issue of the environmental impact of a product, the comparability of data contained in EPDs, which is inextricably linked to LCA, is crucial.

Analyzing the results and conclusions in the scientific articles identified in SLR, they are discussed below in eleven subchapters, paying attention to issues important for AVCP of construction products.

The choice of topics for subsections 3.1. to 3.11. is the author’s choice, taking into account the following issues:

- subchapter topics were often discussed in the analyzed articles;
- issues such as the role of capital goods, variability, and related uncertainty are crucial for the quality of the product and its fulfillment of requirements, but also in the aspect of control of market supervision authorities, they are the basis for the long-term functioning of the entrepreneur;
- first-time product evaluation is an essential aspect of every manufacturer’s activity, and this issue is also connected with the benchmark process, being necessary for the decision-making

Tablica 1 / Table 1

Liczba artykułów zidentyfikowanych w bazie artykułów naukowych Scopus – kryteria wyszukiwania: „assessment”, „construction products”, „LCA”, „EPD” oraz dla kombinacji tych terminów spośród tytułów artykułów, streszczeń oraz słów kluczowych.

Table 1. The number of articles identified in the Scopus database of scientific articles – searching terms: “assessment,” “construction products,” “LCA,” and “EPD,” and for combinations of these terms within article titles, abstracts, and keywords.

kryterium wyszukiwania/data wyszukiwania search terms/search date:	21.07.2023	15.02.2024
ocena/assessment	4,653,554	4,888,203
wyroby budowlane/construction products	92,476	97,239
LCA	39,086	41,295
EPD	6,896	7,164
wyroby budowlane/construction products + LCA	1,156	1,233
wyroby budowlane/construction products + EPD	159	171
wyroby budowlane/construction products + LCA + EPD	105	111
wyroby budowlane/construction products + LCA + EPD ++ ocena/assessment	92	98

rynku. Rozważając zagadnienie oddziaływania środowiskowego wyrobu kluczowa jest porównywalność danych zawartych w EPDs, która nierozdzielnie związana jest z LCA.

Analizując wyniki i wnioski zawarte w zidentyfikowanych w SLR artykułach naukowych poniżej omówiono je w jedenastu podrozdziałach zwracając uwagę na kwestie istotne dla AVCP wyrobów budowlanych.

Wybór tematów do podrozdziałów 3.1. do 3.11. jest wyborem autora uwzględniającym następujące kwestie:

- temat podrozdziału było często dyskutowany w analizowanych artykułach;
- zagadnienia takie jak rola dóbr kapitałowych, zmienności i związanej z nią niepewności są istotne z punktu widzenia jakości wyrobu oraz spełnienia przez niego wymagań ale także w aspekcie kontroli organów nadzoru rynku będąc podstawą długoterminowego funkcjonowania przedsiębiorcy;
- ocena wyrobu dokonywana pierwszy raz jest ważnym wyznacznikiem aktywności każdego producenta, jest ona związana z procesem pozycjonowania produktu będącym niezbędnym dla podjęcia decyzji przez wytwórcę, który ponosi odpowiedzialność za produkt;
- znajomość zagadnień takich jak: LCA, aktualność danych, jednostki funkcjonalne, świadomość w sektorze budowlanym, wsparcie polityczne i rozpowszechnienie deklaracji EPD na świecie jest kluczowa dla zrozumienia wpływu wyrobów budowlanych na środowisko. Omówienie ich jest jedynym sposobem aby w sposób reprezentatywny rozważać ten temat.

### 3.1. LCA

LCA jest najpowszechniej stosowaną metodą oceny oddziaływania środowiskowego w sektorze budowlanym, ciągle rośnie zainteresowanie jej wykorzystaniem, zaś UE jest liderem we wdrażaniu polityk transformacyjnych wykorzystując LCA (12). LCA jest także tematem tysięcy prac naukowych – 39 086 (21.07.2023) i 41 295 nieco ponad pół roku później (15.02.2024) – zidentyfikowanych w bazie Scopus w trakcie przeglądu literatury opisanego w niniejszej publikacji (kryterium wyszukiwania: „LCA” pośród tytułów artykułów, streszczeń oraz słów kluczowych). Ostatnio Barbhuiya i Das opublikowali artykuł przeglądowy na temat LCA podkreślając w nim potrzebę nieustannych wysiłków na rzecz rozwoju metodologii LCA, wspierania współpracy międzydyscyplinarnej oraz promowania powszechnego przyjęcia LCA jako podstawowego narzędzia mającego na celu poprawę przyjazności środowiskowej materiałów budowlanych. Zdaniem autorów powyższe rekomendacje pozwolą sektorowi budowlanemu stać się bardziej zrównoważonym i w większym stopniu przyczynić się do tworzenia zielonego budownictwa (13). Wnioski sformułowane przez Barbhuiya i Das są znamienne dla większości artykułów naukowych formułujących ogólne rekomendacje, co do słuszności których panuje powszechna zgoda. Podobnie jak rekomendacje w stylu, że praktycy winni postępować zgodnie z metodologią LCA, zaś recenzenci weryfikujący poprawność przeprowadzenia LCA winni

- process of the manufacturer, who is responsible for his product;
- knowledge of issues such as LCA, data validity, functional units, awareness in the construction sector, political support, and the popularity of EPDs worldwide is crucial for understanding the environmental impact of construction products. Mentioning them is the only way to deal with this topic in a representative way.

### 3.1. LCA

LCA is the construction sector's most widely used environmental impact assessment method. Interest in its use is growing, and the EU is a leader in implementing transformational policies using LCA (12). LCA is also the subject of thousands of scientific papers - 39,086 (21/07/2023) and 41,295 a little more than half a year later (15/02/2024) - identified in the Scopus database during the SLR described in this publication (search term: "LCA" within article titles, abstracts, and keywords). Recently, Barbhuiya and Das published a review article on LCA, highlighting the need for continued efforts to develop LCA methodologies, support interdisciplinary collaboration, and promote the widespread adoption of LCA as an essential tool to improve the environmental friendliness of building materials. According to the authors, the above recommendations will allow the construction sector to become more sustainable and contribute more to the creation of green construction (13). The conclusions formulated by Barbhuiya and Das are typical of most scientific articles that compose general recommendations, the validity of which is widely agreed upon. Similar to recommendations, practitioners should follow the LCA methodology, and reviewers verifying the correctness of LCA should do it appropriately (14). These correct recommendations support the appropriate atmosphere for creating environmentally friendly solutions but do not change the situation of the construction sector, including producers of building materials assessing their products (15, 16).

As Sala *et al.* note, despite the widespread use of LCA to assess environmental impact, this methodology is still used in mandatory regulations to a limited extent. Moreover, the authors draw attention to the need to define new stringent requirements and note that there are still issues at the interface of science and policy-making that need to be solved, and, as a few, they also notice the aspect of data verification by market surveillance authorities (12).

The LCA methodology and the data contained in EPDs are used in various voluntary building certification systems. Despite the significant number of voluntary building certification systems operating worldwide, such as BEAM Plus, BREEAM, Green Mark, Green Star, Homestar, LEED, and LOTUS, using EPDs to assess the environmental impact of construction products still needs to be improved (17, 18).

Hollberg *et al.* drew attention to the critical aspect in their research that LCA is mainly used to evaluate the project after its implementation and not before the design or in the initial design phase, which would increase the chance of creating a more sustainable project/building (19). The results of the analysis of 177 building

to czynić we właściwy sposób (14). Te słuszne rekomendacje wspierają właściwą atmosferę do tworzenia rozwiązań przyjaznych środowisku, jednak nie zmieniają sytuacji sektora budowlanego, w tym producentów materiałów budowlanych dokonujących oceny swoich wyrobów (15, 16).

Jak zauważa Sala *i in.* ciągle pomimo powszechnego wykorzystywania LCA do oceny oddziaływania środowiskowego w ograniczonym wymiarze ta metodologia wykorzystywana jest w obowiązkowych regulacjach. Ponadto autorzy zwracają uwagę na konieczność zdefiniowania nowych rygorystycznych wymagań oraz odnotowują, że ciągle istnieją kwestie na styku nauki i tworzenia polityki, które wymagają rozwiązania i jako nieliczni dostrzegają także aspekt weryfikacji danych przez organy nadzoru rynku (12).

Metodologia LCA oraz dane zawarte w EPDs są wykorzystywane w różnych systemach dobrowolnej certyfikacji budynków. Pomimo znacznej liczby funkcjonujących na świecie systemów dobrowolnej certyfikacji budynków, takich jak: BEAM Plus, BREEAM, Green Mark, Green Star, Homestar, LEED, LOTUS ciągle wykorzystanie EPDs jest ograniczone (17,18).

Hollberg *i in.* zwrócili w swoich badaniach uwagę na istotny aspekt, że LCA jest głównie wykorzystywana do oceny projektu po jego wykonaniu, a nie przed przystąpieniem do projektowania lub we wstępnej fazie projektowania co zwiększałoby szansę na powstanie bardziej zrównoważonego projektu/budynku (19). Opublikowane w 2023 roku wyniki analizy 177 studium przypadku budynków, których celem była identyfikacja źródeł i rodzaju niepewności w ocenie emisji dwutlenku węgla w ich całym cyklu życia wykazały, że ponad połowa zbadanych spraw dotyczyła oceny po fakcie, a jedynie około 20% było oceną przed powstaniem budynku (20). Powodem takiego stanu rzeczy jest często brak niezbędnych informacji na wstępnym etapie projektowania (21). Z tego względu bardzo istotna jest cyfryzacja, gromadzenie i udostępnienie danych niezbędnych do przeprowadzenia oceny oddziaływania środowiskowego (21) oraz dalsze badania, które pozwolą stworzyć ramy do tego aby projektanci budynków mogli szybko i w sposób nie budzący wątpliwości ujmować ilościowo wpływ na środowisko wyrobów budowlanych podczas procesu projektowania (22).

I jeszcze jedna kwestia – postrzeganie LCA przez architektów. Wyniki badań przeprowadzonych w latach 2018-2019 z udziałem 223 praktyków związanych z budownictwem w krajach nordyckich pokazały, że projektanci budynków czują się, tak osobiście, jak i zawodowo związani ze stosowaniem LCA. Jednak za główny problem związany z oceną cyklu życia budynków postrzegają brak wystarczających danych i informacji oraz właściwych zachęt do wykorzystywania LCA. Równocześnie respondenci dostrzegają umiarkowany nacisk ze strony sektora publicznego oraz inwestorów na rzecz integracji ocen efektywności środowiskowej. Ponadto wskazują na konieczność harmonizacji LCA w aspekcie wykorzystania do BIM [Building Information Modelling]. Badania duńskich i szwedzkich naukowców dodatkowo wskazują na dylemat projektantów pomiędzy koniecznością poznania wszystkich

cases published in 2023, the aim of which was to identify the sources and types of uncertainty in the whole-life carbon assessment of buildings, showed that more than half of the examined cases concerned post-assessment and only approximately 20% were pre-assessments (20). This state of affairs often lacks information at the initial design stage (21). For this reason, it is essential to digitize, collect, and make available the data necessary to conduct an environmental impact assessment (21) and further research that will create a framework for building designers to quickly and in a transparent way quantify the environmental impact of construction products during the design process (22).

One more issue is the perception of LCA by architects. The results of research conducted in 2018-2019 with 223 construction practitioners in the Nordic countries showed that building designers feel personally and professionally connected to using LCA. However, they see the need for more sufficient data and information and the right incentives to use LCA as the main problem with building life cycle assessment. At the same time, respondents see moderate pressure from the public sector and investors to integrate environmental performance assessments. Moreover, they indicate the need to harmonize LCA in terms of its use for Building Information Modeling [BIM]. Research by Danish and Swedish scientists further highlights the designer's dilemma between understanding all the details of an environmental impact assessment to determine what drives and controls project outcomes and the need to transform the project results into easily communicated information to the client. The authors of the study point to this "translation" of results as an additional area of potential harmonization in the Nordic region (23). Almeida *et al.*, dealing with the interaction between EPD and BIM, pointed out the need to link information standardization processes. Researchers using the ISO 19650:2018 standard as the basis for analysis in a systematic literature review identified difficulties in the BIM-EPD interaction, ultimately proposing a framework for an integrated EPD evaluation via BIM (24). The flow of product data into the building assessment process is complex. In this respect, the demand for product information goes beyond the content of the EPD (25).

In 2023, Backes *et al.* published an analysis of the results of comparative LCA tests from cradle to grave of concretes reinforced with carbon and steel fibers, showing that even delicate adjustments, especially regarding end-of-life scenarios and the assumed operating time, may lead to entirely different recommendations for decision-makers (26). Correct assessment of building durability is a prerequisite for reducing errors in LCA, as Andersen and Negendahl demonstrated by testing the generalized logistic life-span prediction model using data from the demolition of 124,096 structures in Denmark (27).

It is also worth noting that there is a potential for reducing CO<sub>2</sub> emissions related to limiting the use of semi-finished products in the construction sector, which, however, implies a decline in gross domestic product and a reduction in the employment of low-skilled workers. Because the CO<sub>2</sub> reduction potential associated with limiting the use of semi-finished products is small compared to the

szczegółów oceny oddziaływania na środowisko, aby dowiedzieć się, co napędza i kontroluje wyniki projektu, a koniecznością przekształcenia wyniku projektu w łatwo przekazywaną informację dla klienta. Autorzy badania wskazują na to „przełożenie” wyników jako dodatkowy obszar potencjalnej harmonizacji w regionie nordyckim (23). Almeida *i in.* zajmując się interakcją pomiędzy EPD a BIM wskazał na konieczność powiązania procesów standaryzacji informacji. Badacze wykorzystując normę ISO 19650:2018 jako podstawę analizy w wykonanym SLR zidentyfikowali trudności w interakcji BIM-EPD ostatecznie proponując ramy dla zintegrowanej ewolucji EPD za pośrednictwem BIM (24). Przepływ danych o produkcie do procesu oceny budynku jest złożony i w tym zakresie zapotrzebowanie na informacje o produkcie wykracza poza zawartość EPD (25).

W 2023 roku, Backes *i in.* opublikowali analizę wyników badań porównawczych LCA od kołyski aż po grób betonów wzmocnionych włóknami węglowymi i stalowymi wykazując, że nawet niewielkie zmiany, szczególnie dotyczące scenariuszy końca życia wyrobu oraz zakładanego czasu eksploatacji mogą prowadzić do zupełnie różnych rekomendacji dla decydentów (26). Prawidłowa ocena trwałości budynków jest warunkiem wstępnym ograniczenia błędów w LCA co wykazali Andersen *i* Negendahl testując uogólniony logistyczny model przewidywania długości życia budynków wykorzystując dane pochodzące z rozbiórki 124 096 obiektów w Danii (27).

Warto też odnotować istnienie potencjału redukcji emisji CO<sub>2</sub> związanego z ograniczeniem wykorzystania półproduktów w sektorze budowlanym implikującym jednak spadek produktu krajowego brutto oraz zmniejszenie zatrudnienia pracowników o niskich kwalifikacjach. Z racji, że potencjał redukcji CO<sub>2</sub> związany z ograniczeniem wykorzystania półproduktów jest niewielki w porównaniu z korzyściami wynikającymi ze zmian surowcowych nie poświęca się temu aspektowi zbyt wiele uwagi (28). Podobnych kwestii nie uwzględnianych w metodologii LCA jest więcej. Wynikają one także z różnych zasad kategoryzacji produktu [Product Category Rules – PCRs] pozostawiających pewną swobodę w zakresie uwzględniania lub nie wybranych czynników (29). Także w badaniu praktyków związanych z sektorem budownictwa dotyczącym wykorzystania LCA i EPDs, jakie Galindro *i in.* przeprowadzili w 2020 roku, ograniczenia metodyczne oraz konieczność harmonizacji PCRs zostały wskazane jako przeszkody w porównaniu wyników różnych badań (30). Podstawą powodzenia LCA jest także aby wykorzystywać kompleksowe wykazy danych, które są dobrze powiązane z metodami oceny skutków, aby uniknąć ryzyka stronniczej ewaluacji (31). Moins *i in.* w następstwie analizy ilościowej różnic wynikających ze względów metodologicznych a związanych ze zmiennością PCRs dla nawierzchni asfaltowych sformułowali wniosek o konieczności uwzględnienia wszystkich stron w dyskusji w celu harmonizacji wszystkich odpowiednich PCRs (32).

Rozważając rozwój metodologii LCA warto odnotować inicjatywy mające miejsce w takich krajach, jak Dania i Finlandia, w których uwzględnia się już istniejące materiały w budynku i tym samym

benefits resulting from changes in raw materials, little attention is paid to this aspect (28). There are more similar issues not taken into account in the LCA methodology. They also result from different Product Category Rules (PCRs), which leave some freedom in whether selected factors are considered (29). Also, in a survey of construction practitioners on using LCA and EPDs by Galindro *et al.* conducted in 2020, methodological limitations and the need to harmonize PCRs were identified as obstacles in comparing the results of different studies (30). Fundamental to the success of LCA is that normalization references are based on comprehensive inventories that are well aligned with the impact assessment methods to avoid the risk of biased normalization (31). Moins *et al.*, following a quantitative analysis of differences resulting from methodological reasons and related to the variability of PCRs for asphalt pavements, concluded that it is necessary to include all actors in the discussion to harmonize all relevant PCRs (32).

When considering the development of LCA methodology, it is worth noting initiatives taking place in countries such as Denmark and Finland, which consider existing building materials and thus encourage renovation and reuse rather than building from scratch (33).

To sum up the considerations on LCA, it is worth mentioning the results of a research project published in 2023, which, among other things, asked the question: what should be done to accelerate the widespread use of LCA tools and databases? De Wolf *et al.* respond that construction industry practitioners need clearly defined criteria, comparable and reliable data, and functional LCA tools (34). The development of databases containing actual data on construction products is one of the critical factors in developing and improving the quality of LCA studies (35). Visualizing LCA results is also essential, as it helps interpret them and thus facilitates decision-making (36).

### 3.2. Capital goods and LCA

The impact of capital goods, i.e., fixed assets such as buildings, machines, tools, equipment, or vehicles used in the production process to produce consumer or investment goods, is rarely considered in terms of environmental impact. For this reason, in this review, the impact of fixed assets on the LCA assessment is discussed in a separate chapter to draw attention to this issue. Capital goods are, first and foremost, of interest to economics. However, in a holistic view of environmental impact, the impact of capital goods cannot be ignored (37). If you want to correctly estimate the environmental impact of a product, process, or service, you cannot ignore the share of capital goods (38). However, the requirements of the environmental impact standards issued by the ISO and CEN/CENELEC organizations do not oblige the impact of capital goods to be taken into account (39-42). Therefore, it is not easy to obtain data in this area (43), and those that are available are often unreliable (44). Thus, including the impact of capital goods in the LCA process only increases the uncertainty of the results (45).

zachęca do renowacji i ponownego użycia zamiast budowania od nowa (33).

Podsumowując rozważania o LCA warto wspomnieć o opublikowanych w 2023 roku wynikach projektu badawczego, w którym, między innymi, zadano pytanie: co należy zrobić aby przyspieszyć powszechne wykorzystywanie narzędzi i baz danych LCA? Na tak postawione pytanie De Wolf i in. odpowiadają, że praktycy branży budowlanej potrzebują jednoznacznie sprecyzowanych kryteriów, porównywalnych i wiarygodnych danych oraz funkcjonalnych narzędzi LCA (34). Rozwój baz danych zawierających wiarygodne dane dotyczących wyrobów budowlanych jest jednym z kluczowych czynników rozwoju i podniesienia jakości analiz LCA studies (35). Istotna jest także wizualizacja wyników LCA, która pomaga w interpretacji wyników i tym samym ułatwia podejmowanie decyzji (36).

### **3.2. Dobra kapitałowe i LCA**

Kwestia wpływu dóbr kapitałowych, tj. aktywów trwałych takich jak budynki, maszyny, narzędzia, sprzęt czy pojazdy, wykorzystywanych w procesie produkcji do wytworzenia dóbr konsumpcyjnych lub inwestycyjnych, rzadko rozważana jest w aspekcie oddziaływania środowiskowego. Z tego też względu w niniejszym przeglądzie zagadnienia wpływu aktywów trwałych na ocenę LCA omówione zostały w odrębnym rozdziale aby zwrócić uwagę na tę kwestię. Dobra kapitałowe są, przede wszystkim, przedmiotem zainteresowania ekonomii. Jednak w holistycznym spojrzeniu na zagadnienie oddziaływania środowiskowego wpływ dóbr kapitałowych nie może być pominięty (37). Chcąc prawidłowo oszacować wpływ na środowisko wyrobu, procesu czy też usługi nie można pominąć udziału dóbr kapitałowych (38). Jednak wymagania norm dotyczących oddziaływania środowiskowego wydanych przez organizacje ISO i CEN/CENELEC nie obligują do uwzględnienia wpływu dóbr kapitałowych (39-42). Skutkiem tego nie jest łatwo o dane w tym zakresie (43), zaś te, które są dostępne często są niewiarygodne (44). Tym samym włączenie wpływu dóbr kapitałowych w proces LCA zwiększa jedynie niepewność uzyskiwanych wyników (45).

Dostrzegając potencjalnie problematyczne konsekwencje włączenia lub nieuwzględnienia wpływu dóbr kapitałowych do oceny wpływu środowiskowego wyrobu budowlanego z wykorzystaniem metodologii LCA Tokede i Rouwette przeanalizowali LCA 38 różnych wyrobów budowlanych (46). W celu określenia wpływu dóbr kapitałowych na oddziaływanie środowiskowe wyrobów przeprowadzono dla każdego wyrobu analizę z uwzględnieniem aktywów trwałych oraz zaniedbując ich istnienie. Autorzy uzyskane wyniki zestawili w czterech następujących grupach: wpływ uwzględnienia dóbr kapitałowych na wartości wskaźnika oddziaływania środowiskowego wynoszący od 0 do 10%, 10-25%, 25-100% oraz ponad 100%. Analiza pokazała, że dla każdego z badanych 38 wyrobów budowlanych przynajmniej dla jednego wskaźnika środowiskowego uwzględnienie dóbr kapitałowych w obliczeniach LCA spowodowało wzrost wartości oddziaływania o ponad 25%. Spośród analizowanych wskaźników największe niekorzystne zmiany wynikające z uwzględnienia aktywów trwałych zaobserwowano dla potencjału uszczuplenia zasobów abiotycznych w zakresie

Recognizing the potentially problematic consequences of including or not including the impact of capital goods in assessing the environmental impact of a construction product using the LCA methodology, Tokede and Rouwette analyzed the LCA of 38 different construction products (46). An analysis was carried out for each product to determine the impact of capital goods on the environmental impact of products, considering fixed assets and neglecting their existence. The authors summarized the results in the following four groups: the effect of taking capital goods into account on the values of the environmental impact index ranging from 0 to 10%, 10-25%, 25-100%, and over 100%. The analysis showed that for each of the 38 construction products studied, for at least one environmental indicator, the inclusion of capital goods in LCA calculations resulted in an increase in the impact value by over 25%. Among the analyzed indicators, the most remarkable unfavorable changes resulting from including fixed assets were observed for the potential for depletion of abiotic resources in terms of minerals and metals, impact on soil, and toxicity indicators for humans. Tokede and Rouwette's research shows that including capital goods in LCA has little effect on climate change. However, the existing inaccuracies, inconsistencies, and erroneous estimates of capital goods data do not allow us to uncritically evaluate the LCA methodology in this area (46).

### **3.3. Environmental impact of construction products in the decision-making process**

Considering aspects of environmental impact in the decision-making process regarding the investment process in construction is complex. The environmental impact of a product is one of the elements that should be considered when deciding on the shape of the entire construction investment process. The analyzed articles pay attention to various aspects. So, according to Pacana *et al.*, a particular difficulty in assessing the environmental impact of a construction product results from the need to consider the impact of the manufactured product throughout its entire life cycle (47). In turn, Soust-Verdaguer *et al.* draw attention to the fact that data on the environmental impact of a product are used in the building design process, during which they are often the only data (48).

According to Maibaum *et al.*, existing EPD resources are not helpful for a holistic assessment of the sustainable development of infrastructure construction. The authors note that only a few EPDs are available in machine-readable formats. Additionally, the problem is the limited number of tools for editing EPDs. The authors emphasize in their research that integrating the LCA methodology with the BIM methodology is low, especially in managing municipal assets related to infrastructure construction (49).

Asdrubali *et al.* analyzed nearly 180 EPDs for construction products that fill non-load-bearing walls and found that various environmental impact indicators characterize the products subject to their research. However, EPDs do not contain data that would allow for the conversion of indicator values so that it is possible to compare different products. According to the article's authors,



minerałów i metali, oddziaływania na glebę oraz wskaźników toksyczności dla człowieka. Badania Tokede i Rouwette wykazały, że uwzględnienie dóbr kapitałowych w LCA ma przeważnie niewielki wpływ na zmianę klimatu. Jednak istniejące nieścisłości, niespójności oraz błędne szacunki danych dotyczących dóbr kapitałowych nie pozwalają niekrytycznie oceniać metodologii LCA w tym zakresie (46).

### **3.3. Oddziaływanie środowiskowe wyrobów budowlanych w procesie decyzyjnym**

Uwzględnienie aspektów oddziaływania środowiskowego w procesie decyzyjnym dotyczącym procesu inwestycyjnego w budownictwie jest złożone. Oddziaływanie środowiskowe wyrobu jest jednym z elementów jakie należy wziąć pod uwagę decydując o kształcie całego procesu inwestycji budowlanej. W analizowanych artykułach zwraca się uwagę na różne aspekty. I tak zdaniem Pacana i in. szczególna trudność w procesie oceny oddziaływania środowiskowego wyrobu budowlanego wynika z konieczności uwzględnienia wpływu powstającego produktu w całym cyklu jego życia (47). Z kolei Soust-Verdaguer i in. zwracają uwagę na fakt, że dane dotyczące oddziaływania środowiskowego wyrobu są wykorzystywane w procesie projektowania budynku, w trakcie którego to procesu często są jedynymi danymi (48).

Zdaniem Maibaum i in. obecnie istniejące zasoby EPDs nie są przydatne do holistycznej oceny w zakresie zrównoważonego rozwoju budownictwa infrastrukturalnego. Autorzy zwracają uwagę, że niewielka ilość EPDs jest dostępna w formatach nadających się do odczytu maszynowego. Ponadto problemem jest niewielka ilość narzędzi umożliwiających edycję EPDs. Autorzy podkreślają w swoich badaniach, że integracja metodologii LCA z metodologią BIM jest niska, zwłaszcza w zakresie zarządzania aktywami majątku komunalnego związanymi z budownictwem infrastrukturalnym (49).

Asdrubali i in. przeanalizowali blisko 180 EPDs dla wyrobów budowlanych stosowanych do wypełnienia ścian nienośnych i stwierdzili, że wyroby będące przedmiotem ich badań są charakteryzowane przez różne wskaźniki oddziaływania środowiskowego. Jednak EPDs nie zawierają danych, które pozwalałyby na przeliczenie wartości wskaźników tak aby możliwe było porównanie różnych wyrobów. Zdaniem autorów artykułu konieczna jest intensyfikacja prac normalizacyjnych zmierzająca do ustanowienia listy wskaźników jakie musi zawierać EPD (50).

W 2022 roku organizacja ISO ustanowiła normę ISO 22057 specyfikującą wymagania dotyczące strukturyzowania informacji EPD dla wyrobów budowlanych przy użyciu szablonu danych aby dane te można było interpretować maszynowo w modelowaniu informacji o budynku BIM (51). Wykorzystanie procedur podanych w ISO 22057 winno umożliwić integrację danych EPD z informacjami o projektowaniu, budowie, użytkowaniu oraz końcu cyklu życia. W tym samym roku normę tę do zbioru norm europejskich wprowadził CEN (52). Zdaniem Anderson i Rønning norma ISO 22057 umożliwi szybką cyfryzację LCA budynku (53).

it is necessary to intensify standardization work to establish a list of indicators the EPD must contain (50).

In 2022, the ISO established the ISO 22057 standard specifying requirements for structuring EPD information for construction products using a data template so that the data can be machine-interpreted in BIM (51). The use of procedures specified in ISO 22057 should enable the integration of EPD data with information on design, construction, use, and end of life. In the same year, CEN introduced this standard into European standards (52). According to Anderson and Rønning, the ISO 22057 standard allows for rapidly digitizing the building's LCA (53).

The creation of accessible databases is fundamental to creating collections of practical and factually accurate knowledge. It will allow for the verification of prevailing views that do not always correspond to reality. Postulates for harmonization of LCA methodology and requirements for data contained in EPDs are formulated by various branches of the economy, not only the construction sector (54).

LCA results are typically complex to interpret, and it is common to expect to simplify results on the LCA studies to support decision-making processes (simplification of terminology and reporting standards). For this reason, the common understanding of simplification in LCA is essential. The literature review results conducted by Gradin and Björklund in this area showed that one of the factors leading to simplifications in LCA is the lack of data (55). Other studies on the applicability of simplification approaches depend primarily on the product under consideration and the further use of LCA results (56). Of course, there is always the question of the limits of simplification. However, since LCA evaluation is difficult and time-consuming, a possible simplification of a few equations containing easily quantifiable parameters is desirable (57). Particularly desirable are models that simplify LCA, allowing quick decision-making (58). The approach to assessing the environmental impact of construction products and buildings, following EN 15804 and EN 15978, respectively, is based on the business-as-usual method to present the results beneficially to a broader audience. However, the ability to look critically at the result is essential.

A significant number of scientists interested in the environmental impact of construction products point out that, apart from the commonly analyzed GWP [Global Warming Potential] indicator, the scientific community is growing interested in other indicators, such as soil and water acidification potential, eutrophication potential, and tropospheric ozone creation potential (59).

Research on how LCA interpretation concepts support decision-making was the subject of the analysis of 21 design options by Božiček *et al.*. The results showed significant differences in the ability of the LCA interpretation concept to influence the designer's perception to support the decision-making process (60).

In the aspect mentioned above, how are issues of the environmental impact of materials used in construction perceived today? Research conducted in 2017-2020 by Harasymiuk and Szafranko among

Powstanie dostępnych baz danych jest fundamentalne dla stworzenia zbiorów praktycznej i odpowiadającej stanowi faktycznemu wiedzy. Pozwoli to na weryfikację panujących poglądów nie zawsze odpowiadających rzeczywistości. Postulaty harmonizacja metodologii LCA oraz wymagań dla danych zawartych w EPDs formułują różne gałęzie gospodarki, nie tylko sektor budowlany (54).

Wyniki LCA są zazwyczaj trudne do interpretacji i często oczekuje się uproszczenia wyników badań LCA w celu wsparcia procesów decyzyjnych (uproszczenie terminologii i standardów raportowania). Z tego powodu niezbędne jest rozumienie przez wszystkie strony uproszczeń w LCA. Wyniki przeglądu literatury przeprowadzonego przez Gradin i Björklund w tym obszarze wykazały, że jednym z czynników prowadzących do uproszczeń w LCA jest ograniczenie danych wejściowych (55). Inne badania dotyczące stosowalności podejść upraszczających zależą przede wszystkim od rozpatrywanego produktu i dalszego wykorzystania wyników LCA (56).

Oczywiście zawsze pozostaje pytanie o granice uproszczenia. Jednak z racji tego, że ocena LCA jest trudna i czasochłonna ewentualne uproszczenie do kilku równań zawierających łatwe do skwantyfikowania parametry jest pożądana (57). Szczególnie pożądane są modele upraszczające LCA, które pozwolą na szybkie podejmowanie decyzji (58). Podejście do oceny oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych i budynków, odpowiednio zgodnie z EN 15804 i EN 15978, opiera się na metodzie biznes jak zwykle mającej za cel korzystne przedstawienie szerszemu gronu odbiorców wyników. Istotna jest jednak zdolność do krytycznego spojrzenia na wynik.

Znaczna ilość naukowców zainteresowana oddziaływaniem środowiskowym wyrobów budowlanych zwraca uwagę, że poza powszechnie analizowanym wskaźnikiem Potencjału Globalnego Ocieplenia [Global Warming Potential – GWP], rośnie w środowisku naukowym zainteresowanie innymi wskaźnikami, jak potencjał zakwaszenia gleby i wody, potencjał eutrofizacji, potencjał tworzenia ozonu troposferycznego (59).

Badania nad tym, jak koncepcje interpretacji LCA wspierają podejmowanie decyzji, były przedmiotem analizy 21 opcji projektowych przeprowadzonej przez Božička i in. Uzyskane wyniki wykazały istotne różnice w możliwości wpływu koncepcji interpretacji LCA na percepcję projektanta w celu wsparcia procesu decyzyjnego (60).

We wspomnianym powyżej aspekcie warto odnotować jak współcześnie postrzegane są kwestie oddziaływania środowiskowego materiałów wykorzystywanych w budownictwie. Badania przeprowadzone w latach 2017-2020 przez Harasymiuk i Szafranko wśród grupy 47 ekspertów pokazały, że wykorzystanie nieprzetworzonych materiałów naturalnych jest uważane za najbardziej istotne. Drugie miejsce, zdaniem ankietowanych ekspertów, przypisano wykorzystaniu lokalnych surowców. Relatywnie mniejsze znaczenie ma wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu, co autorki badania wytłumaczyły postrzeganiem materiałów rozbiórkowych jako materiałów mniej przydatnych, dodatkowo w przypadku materiałów budowlanych także ze względu na konieczność spełnienia

47 experts showed that using unprocessed natural materials is considered the most important. Second place, according to the surveyed experts, was attributed to the use of local raw materials. The use of recycled materials is relatively less important, which the study's authors explained by the perception of demolition materials as less valuable, primarily due to the need for these materials to meet specific requirements in terms of mechanical strength (61).

Research conducted in Poland in 2020 covering professionals related to construction showed that out of a professional group of 181 investors, 134 believe that EPD is a mandatory document. In the contractor's group, 337 out of 522 indicated that EPD is compulsory, while in the sellers of building materials group, 88 out of 116 gave a similar answer. The fewest incorrect answers were recorded among architects - 43% indicated that the EPD is a mandatory document (62). The research result showed ignorance of the role of EPDs among construction professionals - EPD is a voluntary document in the current construction product assessment system. On the other hand, such a high percentage of incorrect answers that the EPD is a mandatory document can be interpreted as a significant readiness to consider the environmental impact of a construction product when making decisions about using a material.

Other studies on the awareness of the construction market participants regarding the requirements regarding the environmental impacts of building materials have shown that even though the CPR requirements regulating the construction materials market have been in force since July 1, 2013, the level of knowledge in this area can still be described as low (63). These results indicate the need for further education in the field of CPR regulations and the environmental impact of construction products (62-64).

### 3.4. Uncertainty

For any product undergoing any evaluation, it is necessary to consider and understand the impact of variability and uncertainty. Also, when LCA is used to estimate environmental impact, it is only possible to consistently compare results by considering the issues of uncertainty and variability. AzariJafari *et al.* comparative pavement LCA studies have found that assessing the cumulative effects of uncertainty and variability is possible using commercial LCA software, including Monte Carlo simulations (65). However, although Monte Carlo simulation is the most widely used method in uncertainty analysis in LCA studies, its use is time-consuming. It requires a lot of equipment, especially when many iterations are needed (66).

In a subsequent study on the comparative analysis of 219 concrete mixtures, AzariJafari *et al.* concluded that currently implemented LCA methods for the comparative assessment of construction products may need to be revised to help decision-makers conduct a robust analysis of environmental performance sufficiently. Their results showed that sources of uncertainty and variability can cause overlapping GWP results of reference concrete mixtures with different compressive strengths. The sources of variability are

przez te materiały określonych wymagań w zakresie wytrzymałości mechanicznej (61).

Badania przeprowadzone w 2020 roku w Polsce obejmujące profesjonalistów związanych z budownictwem pokazały, że w grupie zawodowej inwestorów liczącej 181 respondentów 134 z nich uważa, że EPD jest dokumentem obowiązkowym. W grupie wykonawców 337 z 522 wskazało, że EPD jest obowiązkowe, zaś w grupie sprzedawców materiałów budowlanych 88 ze 116 udzieliło podobnej odpowiedzi. Najmniej nieprawidłowych odpowiedzi odnotowano wśród architektów – 43% wskazało, że EPD jest obowiązkowym dokumentem (62). Wynik badania pokazał nieznaną rolę EPDs wśród profesjonalistów związanych z budownictwem – EPD w dotychczas obowiązującym systemie oceny wyrobów budowlanych jest dokumentem dobrowolnym. Z drugiej strony zaś tak wysoki procent, co prawda niepoprawnych odpowiedzi, że EPD jest dokumentem obowiązkowym można interpretować jako znaczną gotowość do uwzględnienia oddziaływania środowiskowego wyrobu budowlanego w trakcie podejmowania decyzji o zastosowaniu materiału.

Inne badania dotyczące świadomości uczestników rynku budowlanego w zakresie wymagań dotyczących oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych pokazały, że pomimo tego, że wymagania CPR regulujące rynek materiałów budowlanych obowiązują od 1 lipca 2013 roku ciągle poziom wiedzy w tym zakresie można określić jako niski (63). Wyniki te wskazują na potrzebę dalszej edukacji w zakresie przepisów wynikających z CPR oraz oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych (62-64).

### 3.4. Niepewność

Dla każdego wyrobu poddawanego jakiegokolwiek ocenie konieczne jest rozważenie i zrozumienie wpływu zmienności i niepewności. Także w przypadku wykorzystania LCA do oszacowania wpływu środowiskowego nie jest możliwe spójne porównanie wyników bez uwzględnienia kwestii niepewności i zmienności. Zwracając na ten aspekt uwagę AzariJafari i in. zajmujący się porównawczymi badaniami LCA nawierzchni stwierdzili, że istnieje możliwość oceny skumulowanych skutków niepewności i zmienności przy użyciu komercyjnego oprogramowania LCA, w tym symulacji Monte Carlo (65). Jednak pomimo tego, że symulacja Monte Carlo jest najpowszechniej stosowaną metodą w analizie niepewności w badaniach LCA, jej wykorzystanie jest czasochłonne i wymaga dużej ilości sprzętu, zwłaszcza w sytuacji gdy wymaganych jest wiele iteracji (66).

W kolejnych badaniach AzariJafari i in. dotyczących analizy porównawczej 219 mieszanek betonowych wykazano, że wdrożone obecnie metody LCA do oceny porównawczej wyrobów budowlanych mogą niewystarczająco pomóc decydentom w przeprowadzeniu solidnej analizy wyników środowiskowych. Uzyskane przez nich wyniki pokazały, że źródła niepewności i zmienności mogą powodować nakładanie się wyników GWP betonowych mieszanek wzorcowych o różnych wytrzymałościach na ściszenie. Źródłem zmienności są wybory metodologiczne w trakcie obliczeń LCA oraz

methodological choices during LCA calculations and the quality and variability of data regarding components - in the slag and Portland cement systems they studied (67).

In an extensive literature review on the issue of uncertainty in environmental LCA of infrastructure projects, Saxe *et al.* highlighted that LCA is a very influential tool in construction decision-making. Therefore, uncertainty analysis must be a standard mandatory practice when conducting LCA. Failure to consider uncertainty may lead to questioning the point of conducting LCA to reduce the negative impact on the environment (45). A similar conclusion was formulated by Barahmand and Eikeland following a review of the literature analyzing LCA under uncertainty, stating that it is necessary to include a comprehensive uncertainty analysis in LCA research (66). What was emphasized in their study by Pannier *et al.* additionally added that information about uncertainties, if provided in an appropriate, professional manner, can facilitate decision-making (68).

A systematic literature review published in 2023 analyzing 177 building cases to identify the most influential sources of uncertainty showed that individual sources of uncertainty measured as “most influential” in some studies were “less influential” in other studies. According to the authors of this analysis, such conflicting results across studies suggest that further studies on uncertainty influence are required (20).

Recently, the problem of data inconsistency and the need to conduct uncertainty analysis were also identified when comparing LCA results for the production of construction products using 3D printing techniques and traditional methods (69).

To sum up the uncertainty-related issues, it is worth emphasizing the need to consider them in standardization works (70).

Otero *et al.*, in the analysis of sectoral EPDs published in 2023, note that the creation of sectoral EPDs will contribute to reducing the uncertainty of currently available data. Moreover, the authors draw attention to the need to generate user-friendly and reliable databases, which will additionally be open to consultants who verify the data. Moreover, according to the authors, all the above activities should be appropriately located in the geographical, technological, and time context (71). Also, including verified local manufacturer EPDs for construction products, components, systems, and specific on-site conditions in the general circulation will reduce the uncertainty associated with product assessment (72).

Referring to the previously raised issues of uncertainty, it is also worth noting the issues raised about the small number or lack of research results on the toxicity of construction materials. Yet, the toxicity of building materials should be analyzed in the material's life cycle, included in LCA, and have its appropriate dimension in EPDs to avoid underestimation (73).

### 3.5. Regulation – market supervision

In 2017, Säynäjoki *et al.*, by analyzing 116 cases described in 47 scientific articles, attempted to explain the differences between

jakość i zmienność danych dotyczących składników – w badanych przez nich układach żużla oraz cementu portlandzkiego (67).

Saxe i in. w obszernym przeglądzie literatury poświęconym zagadnieniu niepewności w środowiskowej LCA projektów infrastrukturalnych podkreślili, że LCA jest bardzo wpływowym narzędziem w podejmowaniu decyzji dotyczących budownictwa. W związku z tym analiza niepewności musi być standardową obowiązkową praktyką podczas przeprowadzania LCA. Brak uwzględnienia niepewności może prowadzić do podważenia sensu prowadzenia LCA, którym jest rzeczywiste ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko (45). Podobny wniosek sformułowali Barahmand i Eikeland, w następstwie przeglądu literatury analizującej LCA w warunkach niepewności, stwierdzając, że konieczne jest uwzględnienie kompleksowej analizy niepewności w badaniach LCA (66). To samo podkreśliła w swoich badaniach Pannier i in. dodatkowo dodając, że informacje na temat niepewności jeżeli podane są we właściwy, profesjonalny sposób mogą ułatwić podjęcie decyzji (68).

Opublikowany w 2023 roku SLR analizujący 177 przypadków budynków w celu identyfikacji najbardziej wpływowych źródeł niepewności wykazał, że poszczególne źródła niepewności mierzone jako „najbardziej wpływowe” w niektórych badaniach były „mniej wpływowe” w innych badaniach. Według autorów tej analizy tak sprzeczne wyniki różnych badań sugerują, że potrzebne są dalsze badania nad wpływem niepewności (20).

Ostatnio problem niespójności danych oraz konieczności przeprowadzenia analizy niepewności został także zidentyfikowany przy porównaniu wyników LCA w przypadku produkcji wyrobów budowlanych techniką druku 3D oraz w tradycyjny sposób (69).

Podsumowując zagadnienia związane z niepewnością należy podkreślić konieczność uwzględnienia tychże kwestii w pracach normalizacyjnych (70).

Otero i in. w analizie sektorowych EPDs opublikowanej w 2023 roku zauważają, że tworzenie sektorowych EPDs przyczyni się do zmniejszenia niepewności aktualnie dostępnych danych. Ponadto autorzy zwracają uwagę na konieczność tworzenia wiarygodnych i przyjaznych dla użytkownika baz danych, które dodatkowo będą dostępne dla konsultantów dokonujących weryfikacji danych. Zdaniem autorów wszystkie wymienione powyżej działania winny być odpowiednio umiejscowione w kontekście geograficznym, technologicznym oraz czasowym (71). Ponadto włączenie do ogólnego obiegu zweryfikowanych deklaracji EPD lokalnego producenta dotyczących wyrobów budowlanych, komponentów, systemów i specyficznych warunków panujących na miejscu zmniejszy niepewność związaną z oceną produktu (72).

Odnosząc się do wcześniej poruszonych zagadnień niepewności warto też odnotować podnoszone kwestie niewielkiej ilości, czy wręcz brak wyników badań dotyczących toksyczności wyrobów budowlanych. A przecież toksyczność materiałów budowlanych winna być analizowana w cyklu życia tych wyrobów, uwzględnia-

the environmental impact data obtained using LCA (the smallest analyzed value was 67 times smaller than the most significant value). As a result of the analysis, the authors concluded that the LCA methodology is inconsistent and cannot provide reliable data for decision-making in the construction sector. According to the authors, it is doubtful that the LCA methodology can generate data rationally supporting policy-making in the construction field. One of the authors' recommendations was to create a global database that considers the construction sector's LCA results and is managed and updated by practitioners (74).

Few articles consider the environmental assessment of construction products from the perspective of CPR requirements. In his analysis, Lützkendorf draws attention to the difference between assessing a construction product and evaluating a building. Among the recommendations addressed to product manufacturers, the author mentioned, among others, the preparation and publication of sector EPDs containing average values and ranges of values, as well as combining EPDs developed for individual products into groups and systems (75). Notably, these otherwise correct recommendations appear in other articles (15, 16, 71, 76) and are not fully compliant with the assessment concept proposed in the CPR amendment (6).

### **3.6. Data validity**

Recently published research results on spatiotemporal tracking of construction products and their related environmental impacts in the perspective of 2050 for the construction industry in Denmark revealed that as much as 99% of building materials will be used during the construction of the building. Only 1% will be used for repairs/replacement of used initial products throughout the entire life of buildings (77). According to the authors of the work, a thirty-year forecast assuming a business-as-usual scenario (frozen policy) will allow all market participants to plan optimal actions. Of course, one cannot disagree with such a conclusion.

However, time passes, and everything around us changes, including the environmental impact of construction products. However, despite the awareness of the passage of time, this issue needs to be raised more in the environmental assessment of construction products. The published articles focus primarily on comparing the environmental impact of different materials to select the optimal option (78-82), the imperfections of the LCA and EPD format (78, 83-86), uncertainties (87, 88), and poor implementation of standards (78, 84). Little attention is paid to changes in environmental impacts over time, which is understandable due to the difficulty in accessing reliable and comparable data. However, the time aspect is essential from the perspective of the manufacturer performing AVCP, whose products compete with other products on the market.

Comparison of the environmental impact of External Thermal Insulation Composite System [ETICS] manufactured over five years, i.e., 2012-2017, showed that the GWP for A1-A3 (cradle to gate) modules for ETICS with 10 cm thick expanded polystyrene [EPS] decreased from 11.2 kg CO<sub>2</sub> eq. up to 8.7 kg CO<sub>2</sub> eq., while using 20

nia w LCA i mieć swój właściwy wymiar w EPDs aby uniknąć jej niedoszacowania (73).

### 3.5. Regulacje – nadzór rynku

W 2017 roku Säynäjoki i in. analizując 116 przypadków opisanych w 47 artykułach naukowych podjęli próbę wyjaśnienia różnic pomiędzy danymi dotyczącymi oddziaływania środowiskowego uzyskanymi z wykorzystaniem LCA (najmniejsza analizowana wartość była 67. krotnie mniejsza od największej wartości). W wyniku przeprowadzonej analizy autorzy stwierdzili, że metodologia LCA jest niespójna i nie może zapewnić uzyskania wiarygodnych danych do podejmowania decyzji w sektorze budowlanym. Zdaniem autorów jest wątpliwe, że metodologia LCA jest w stanie generować dane, które mogą w sposób racjonalny wspierać kształtowanie polityki w obszarze budownictwa. Jedną z rekomendacji autorów było stworzenie globalnej bazy danych uwzględniającej wyniki LCA sektora budowlanego zarządzanej i aktualizowanej przez praktyków (74).

Nieliczne artykuły rozważają ocenę środowiskową wyrobów budowlanych z perspektywy wymagań CPR. Lützkendorf w swojej analizie zwraca uwagę na odmienną procesy oceny wyrobu budowlanego w porównaniu do oceny budynku. Wśród rekomendacji skierowanych do producentów wyrobów autor wymienił, między innymi, przygotowanie i publikację sektorowych EPDs zawierających wartości średnie, a także zakresy wartości, jak również łączenie EPDs opracowanych dla pojedynczych produktów w grupy i systemy (75). Warto odnotować, że te skądinąd słuszne rekomendacje, pojawiające się także w innych artykułach (15, 16, 71, 76) są przeciwstawne koncepcji oceny zaproponowanej w nowelizacji CPR (6).

### 3.6. Aktualność danych

Ostatnio opublikowane wyniki badań dotyczących czasoprzebiegu śledzenia wyrobów budowlanych i związanego z nimi wpływu na środowisko w perspektywie do roku 2050 dla budownictwa w Danii ujawniły, że aż 99 % materiałów budowlanych będzie wykorzystanych do wznoszenia budynków, a jedynie 1 % zostanie wykorzystanych do napraw/wymiany pierwotnie użytych wyrobów przez cały okres życia budynków (77). Zdaniem autorów pracy trzydziestoletnia prognoza zakładająca scenariusz biznes jak zwykle (polityka zamrożona) pozwoli zaplanować optymalne działania wszystkim uczestnikom rynku. Oczywiście, z takim wnioskiem nie można się nie zgodzić.

Jednak czas upływa i wszystko dookoła nas zmienia się. Nie inaczej jest z oddziaływaniem środowiskowym wyrobów budowlanych – o czym także powszechnie wiadomo. Pomimo jednak świadomości wpływu czasu w aspekcie oceny środowiskowej wyrobów budowlanych niespecjalnie podnosi się tę kwestię. Publikowane artykuły koncentrują się, przede wszystkim, na porównaniu oddziaływania środowiskowego różnych materiałów w celu wyboru optymalnego (78-82), niedoskonałościach LCA i formatu EPD (78, 83-86), niepewności (87, 88), a także słabemu wdrażaniu norm (78, 84). Niewiele uwagi poświęca się zmianom oddziaływania

cm EPS, these values were 17.8 and 13.4 kg CO<sub>2eq.</sub>, respectively (89). It is worth mentioning that the given values were calculated based on actual production data from five production locations in one country for a production corresponding to approximately 10 million square meters of ETICS per year. It is also worth adding that despite the passage of five years, ETICS consisted of the same components for which the same raw materials and technology were used. Additionally, the same people at the manufacturer aggregated and processed the data, and the results obtained were verified by the same verifiers from the same entity member of the Eco Platform (89). When discussing the results of these studies, it is worth noting that the article's authors presented changes in environmental impact indicators over time, emphasizing their positive dimension, i.e., this much less CO<sub>2</sub> was emitted when producing ETICS five years later.

### 3.7. First assessment

An important issue in assessing the environmental impact of a construction product is access to reliable data that will be used in the assessment. The construction product producer is introducing its product to the market for the first time and carrying out AVCP before placing the CE marking, but the manufacturer has yet to have actual production data. In this situation, if available, a manufacturer can only assess based on data contained in databases (standard data) or collected by other producers. The assessment of a construction product in terms of environmental impact by the manufacturer, including that carried out for the first time before introducing the product to the market, and the assessment of the product in scientific projects are, in fact, two different processes. The consequences of the assessment are also other, which are little mentioned in the scientific literature (12, 15, 90). The assessment made by the manufacturer is associated with sanctions, which may also take the form of a penalty. In the case of science carrying out the assessment, using words such as sanctions, restrictions, or penalties is unjustified. It is noticeable and results from the very purpose of scientific research, which is to lead to objective, accurate, and exhaustive knowledge of a specific fragment of reality. Thus, in a scientific article determining the environmental impact of a product, the statement in the conclusions states that: "producers of building materials should consider conducting LCA of their products and make the results publicly available to reduce uncertainty, especially in the case of innovative materials" (91). However, this statement is obvious and may raise questions about the validity of conducting research and, in a broader context, the relationship between scientific research and the needs of industry and the state of science itself.

When the environmental assessment of a construction product is performed for the first time, the only option is often to use data from publicly available databases. This happens in many cases, such as mineral-asphalt mixtures used for laying sidewalks. The study by Mattizioli *et al.* showed that publicly available data can be successfully used to assess the LCA of asphalt mixtures. However, all interested parties should be aware of potential areas of uncertainty (87).

środowiskowego w czasie, co jest zrozumiałe ze względu na trudność w dostępie do wiarygodnych i porównywalnych danych. Z perspektywy producenta dokonującego AVCP, którego wyroby konkurują na rynku z innymi produktami, aspekt czasu jest jednak niezwykle istotny.

Porównanie oddziaływania środowiskowego systemu ociepleń [External Thermal Insulation Composite System – ETICS] wyprodukowanego w okresie pięciu lat, tj. w latach 2012-2017 pokazało, że GWP dla modułów A1-A3 (od kołyski do bramy) dla ETICS z ekspandowanym polistyrenem [EPS] o grubości 10 cm zmalało z 11,2 kg CO<sub>2 eq.</sub> do 8,7 kg CO<sub>2 eq.</sub>, zaś przy użyciu 20 cm EPS wartości te wynosiły odpowiednio 17,8 i 13,4 kg CO<sub>2 eq.</sub> (89). Warto nadmienić, że podane wartości zostały obliczone na podstawie rzeczywistych danych produkcyjnych z pięciu lokalizacji produkcyjnych w jednym kraju dla produkcji odpowiadającej około 10 mln metrów kwadratowych ETICS rocznie. Co jest jeszcze warto dodać, że pomimo upływu pięciu lat ETICS składało się z tych samych komponentów, do produkcji których stosowano te same surowce oraz tę samą technologię. Dodatkowo te same osoby u producenta agregowały i opracowywały dane, podobnie jak uzyskane wyniki były weryfikowane przez tych samych weryfikatorów z tej samej jednostki będącej członkiem Eco Platform (89). Omawiając wyniki tych badań warto odnotować, że autorzy artykułu zmiany wskaźników oddziaływania środowiskowego w czasie przedstawili podkreślając ich pozytywny wymiar, tj. na przykład: o tyle mniej wyemitowano CO<sub>2</sub> produkując ETICS pięć lat później.

### 3.7. Ocena po raz pierwszy

Istotną kwestią oceny oddziaływania środowiskowego wyrobu budowlanego jest dostęp do wiarygodnych danych jakie zostaną wykorzystane w ocenie. Producent wyrobu budowlanego wprowadzając swój produkt na rynek przeprowadzając ocenę i weryfikację stałości właściwości użytkowych [AVCP] przed umieszczeniem oznakowania CE nie posiada rzeczywistych danych produkcyjnych. W tej sytuacji może dokonać jedynie oceny na podstawie danych znajdujących się w bazach (danych standardowych) lub zgromadzonych przez innych producentów, o ile takowe są dostępne. Ocena wyrobu budowlanego w zakresie oddziaływania środowiskowego dokonywana przez producenta, w tym także przeprowadzana pierwszy raz przed wprowadzeniem wyrobu na rynek i ocena wyrobu w projektach naukowych to w rzeczywistości dwa różne procesy. Także konsekwencje oceny są inne, o czym w literaturze naukowej niewiele się wzmiankuje (12, 15, 90). Z oceną dokonywaną przez producenta wiążą się sankcje, które mogą też przybrać wymiar kary, zaś w przypadku nauki dokonującej oceny niezasadne użycie jest takich słów jak: sankcje, restrykcje czy kary. Co zresztą jest oczywiste i wynika z samego celu badań naukowych mających prowadzić do obiektywnego, dokładnego i wyczerpującego poznania pewnego wycinka rzeczywistości. I tym samym w artykule naukowym określającym oddziaływanie środowiskowe wyrobu stwierdzenie we wnioskach, iż: „producenci materiałów budowlanych powinni rozważyć przeprowadzenie LCA swoich produktów, a wyniki udostępnić publicznie, aby zmniejszyć niepewność, zwłaszcza w przypadku materiałów innowacyjnych”

### 3.8. Functional unit

One of the critical issues in LCA research is the proper selection of the functional unit [FU]. FU is a quantified property of a product system used as a reference unit (39, 41). The task of the FU is to create a reference plane for normalizing the system's input and output data. In practice, however, significant heterogeneity is observed in the selection and definition of FU in the construction sector, which, among others, was confirmed by literature research conducted by Backes *et al.* for reinforced concrete (92). An important issue is the definition of FU, which, according to Pohl *et al.*, determines the extent to which user behavior can be included in environmental modeling – the above statement results from the environmental performance analysis of the 375 smart German home systems (93).

Bayram and Greiff analyzed 76 scientific articles relating to LCA and found that many articles did not mention FU, and others gave an incorrect definition of FU, often confusing it with other quantities (14).

### 3.9. Benchmarking

When considering the environmental impact of products, including construction products, it should be noted that a common approach is to present the product as “less bad” than others and its production as the one that has become “less negative”. The literature analysis on the environmental impact of construction products also allows us to conclude that the “less bad” approach is dominant. Due to this approach to the issue of environmental impact, there have been voices for several years to devote more attention to the positive aspects of the industry and the products manufactured (94). A new approach called “carbon handprint” was formulated for the first time several years ago (95). It focuses on providing information about the beneficial impact of a product or service on the environment. The idea of assessing positive impacts is crucial to achieving sustainable development. It is not enough to know that a negative impact is happening - we also need to know what actions will improve the situation. This approach creates new possibilities - there are no limits to the positive effects that can be developed (96). Moreover, “carbon handprint” allows the product manufacturer to participate in environmental changes proactively (97). Nowadays, there are various definitions of this term, and new attempts are constantly being made to describe this approach more precisely (70).

Publications in which authors compare the environmental impacts of different building materials are essential. First, their educational dimension should be emphasized. Comparing construction products in other countries on different continents is also crucial (98). Such comparisons are essential when choosing one building material over another. However, they will be correct when we compare significantly different products.

However, the perspective of a building materials manufacturer is different - he must consider the external conditions of running a business. The entrepreneur needs to consider this aspect to

jest uprawnione (91). Jednak to stwierdzenie samo w sobie jest oczywiste i może rodzić pytanie o zasadność prowadzenia badań, a także w szerszym kontekście o relacje badania naukowe – potrzeby przemysłu oraz o stan samej nauki.

W sytuacji oceny środowiskowej wyrobu budowlanego dokonywanej po raz pierwszy często jedyną możliwością jest wykorzystanie danych z baz ogólnie dostępnych. I tak też się dzieje w wielu przypadkach, jak na przykład dla mieszanek mineralno-asfaltowych wykorzystywanych do układania chodników. Wyniki badań Mattizioli i in. pokazały, że dane ogólnodostępne mogą być z powodzeniem wykorzystane do oceny LCA mieszanek mineralno-asfaltowych jednak wszyscy zainteresowani winni mieć świadomość potencjalnych obszarów niepewności (87).

### **3.8. Jednostka funkcjonalna**

Jedną z kluczowych kwestii w badaniach LCA jest właściwy dobór jednostki funkcjonalnej [Functional Unit – FU]. FU to wyrażona ilościowo właściwość systemu wyrobu stosowana jako jednostka odniesienia (39, 41). Zadaniem FU jest stworzenie płaszczyzny odniesienia dla normalizowania danych wejściowych i wyjściowych systemu. W praktyce jednak obserwowana jest znaczna niejednorodność w wyborze i definicji FU w sektorze budowlanym, co, między innymi, potwierdziły badania literaturowe przeprowadzone przez Backes i in. dla betonu zbrojonego (92). Ważną kwestią jest definicja FU, która według Pohla i in. określa, w jakim stopniu zachowania użytkowników mogą zostać uwzględnione w modelowaniu środowiskowym – powyższe stwierdzenie wynika z analizy efektywności środowiskowej 375 niemieckich inteligentnych domów (93).

Bayram and Greiff w swojej analizie 76 artykułów naukowych odnoszących się do LCA stwierdzili, że w wielu artykułach nie wspomniano o FU, w innych podano nieprawidłową definicję FU, często myląc ją z innymi wielkościami (14).

### **3.9. Benchmarking**

Rozważając oddziaływanie środowiskowe wyrobów, w tym wyrobów budowlanych należy odnotować, że powszechne jest podejście, w którym przedstawia się wyrób jako „mniej zły” niż inne, zaś jego produkcję jako tę, która w następstwie wprowadzonych zmian stała się „mniej negatywna”. Przeprowadzona analiza literatury dotyczącej oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych także pozwala stwierdzić, że podejście „mniej zły” jest dominujące. W związku z takim podejściem do zagadnienia oddziaływania środowiskowego, od kilkunastu lat pojawiają się głosy aby więcej uwagi poświęcać pozytywnym aspektom działania przemysłu i wytwarzanych wyrobów (94). Nowe podejście określane terminem “carbon handprint” po raz pierwszy zostało sformułowane kilkanaście lat temu (95). Koncentruje się ono na informowaniu o korzystnym wpływie produktu lub usługi na środowisko. Idea oceny pozytywnego wpływu ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju. Nie wystarczy wiedzieć, że ma miejsce negatywny wpływ – musimy także wiedzieć, jakie działania poprawią sytuację. To podejście stwarza nowe możliwo-

manage the company effectively. The situation in which the data contained in EPDs are incomparable means that even though the entrepreneur works effectively inside the organization, he cannot operate in the same way externally, which was shown, among others, by the analysis performed for four product categories. Its authors assessed 436 EPDs, each based on one PCR or sub-PCR. Only 0.04% of EPDs were comparable; 2.75% of EPDs could be compared with caution. According to the authors, as many as 89.15% of documents should be treated as incomparable, and 8.06% of EPDs could not be compared in any aspect. Moreover, the study's authors found that only 5.04% of documents contained all mandatory information (84).

Comparison of the environmental impact of ETICS based on data from fifteen EPDs verified by third-party organizations (all members of the Eco Platform) only shows trends and cannot, in a responsible manner, be the basis for a reliable assessment of the product (90).

Another analysis comparing the environmental impact of ceramic tile adhesives (CTAs) showed that while in the case of the GWP index, the highest value is 2.69 times greater than the smallest, in the case of the ADPe [Abiotic Depletion Potential (elements)] index the highest value is over thirteen thousand times greater from the lowest. The subject of the analysis was data from ten EPDs for CTAs (15).

However, databases containing information on the environmental impact of construction products must be created. Research by Schlegl *et al.*, despite the difficulties associated with collecting rational data, also points to challenges in developing databases for benchmarking (99).

### **3.10. Awareness in the construction sector and political support**

When considering the importance of the problems related to the impact of construction on the environment, it is essential to know the specificity of this sector. Various stakeholders participate in the construction process, including investors initiating the construction process, architects and designers, construction managers, contractors, and sometimes also construction supervision inspectors - depending on how the provisions of construction law shape rights, obligations, and liability. Moreover, it is also worth noting that the choice of a specific technology or building material is often influenced by the seller of the building material or its manufacturer. The selection and purchase of building materials, often differs from typical purchase/consumer behavior.

Research on consumer behavior regarding sustainability issues when purchasing building materials, conducted for 306 private clients in Germany, showed that these issues are of fundamental importance to consumers. In an online survey, the authors of the studies formulated three hypotheses: [a] German consumers do not have a holistic understanding of the concept of sustainability, both in general and in the context of the construction sector, and focus on the environmental dimension, [b] environmental aspects taken into account when purchasing building materials are subjective and

ści – nie ma ograniczeń co do pozytywnych skutków, jakie można stworzyć (96). Ponadto „carbon handprint” pozwala wytwórcy wyrobu przyjmując proaktywną rolę wobec zmian środowiskowych (97). Współcześnie funkcjonują różne definicje tego terminu oraz stale pojawiają się nowe próby mające na celu bardziej precyzyjne opisanie tego podejścia (70).

Publikacje, w których autorzy porównują oddziaływania środowiskowe różnych materiałów budowlanych są ważne. Przede wszystkim należy podkreślić ich wymiar edukacyjny. Istotny jest także aspekt porównania wyrobów budowlanych w różnych krajach na różnych kontynentach (98). Takie porównania są ważne w przypadku podejmowania decyzji o wyborze takiego a nie innego materiału budowlanego. Jednak będą one słuszne w sytuacji gdy porównujemy w sposób istotny różniące się wyroby.

Jednak perspektywa producenta materiałów budowlanych jest inna – musi on uwzględniać zewnętrzne warunki prowadzenia działalności gospodarczej. Nie uwzględniając tego aspektu przedsiębiorca nie będzie efektywnie zarządzał firmą. Sytuacja, w której dane zawarte w EPDs są nieporównywalne powoduje, że pomimo tego, iż przedsiębiorca efektywnie zarządza wewnątrz organizacji nie jest w stanie tak samo działać na zewnątrz, co pokazała, między innymi, analiza wykonana dla czterech kategorii wyrobów. Jej autorzy ocenie poddali 436 EPDs, każdą z kategorii na podstawie jednego PCR lub sub-PCR. Jedynie 0,04% EPDs było porównywalnych, 2,75% EPDs można było porównywać zachowując uważność. Aż 89,15% dokumentów zdaniem autorów należy traktować jako nieporównywalne, a 8,06% of EPDs nie można było porównać w jakimkolwiek aspekcie. Ponadto autorzy badania stwierdzili, że jedynie 5,04% analizowanych dokumentów zawierało wszystkie obligatoryjne informacje (84).

Porównanie oddziaływania środowiskowego ETICS dokonane na podstawie danych z piętnastu EPDs zweryfikowanych przez trzecią stronę (cztery organizacje będące członkami Eco Platform) pokazało jedynie trendy i w sposób odpowiedzialny uzyskane dane nie mogą być podstawą rzetelnej oceny wyrobu (90).

Inna analiza dotycząca porównania oddziaływania środowiskowego zapraw klejowych do płytek ceramicznych pokazała, że o ile w przypadku wskaźnika GWP największa wartość jest 2,69 razy większa od najmniejszej o tyle już w przypadku wskaźnika Potencjału Uszczuplenia Zasobów Abiotycznych  $ADP_e$  [Abiotic Depletion Potential (elements) -  $ADP_e$ ] największa wartość jest ponad trzynaście tysięcy razy większa od najniższej. Przedmiotem analizy były dane pochodzące z dziesięciu EPDs dla trzynastu zapraw klejowych do płytek ceramicznych (15).

Oczywista jednak jest konieczność tworzenia baz danych zawierających informacje na temat oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych. Badania Schlegl i in. pomimo trudności związanych z gromadzeniem racjonalnych danych wskazują także na wyzwania w rozwoju baz danych dla celów analiz porównawczych (99).

differ between consumer groups, [c] the criteria that consumers use when making a purchase are inconsistent and may change as knowledge on various topics changes. The research found a need for a holistic view of sustainability issues related to construction products and a tendency to ignore economic and social aspects when considering environmental issues. The study's authors drew attention to creating a system where consumers can easily and quickly obtain understandable information about environmentally friendly construction products (100). Other previous studies also identified educational needs regarding the environmental impact of construction products (62-64).

A 2020 survey of 55 construction practitioners showed that 76% use information from both LCA and EPD. This information results from the need to meet customer expectations, environmental management systems, and marketing purposes. At the same time, the need to increase standardization efforts was indicated due to the need to improve the quality of communicating LCA and EPD results among people who are not professionally involved in the construction sector (30).

EU residents are aware that climate change is a serious problem - as many as 77% of the EU population believe so, according to a survey conducted in May and June 2023 (101).

To sum up, knowledge about LCA, EPD, and the assessment of construction products still lags behind the needs. Therefore, continuous rational political support is also one of the main challenges (102).

### **3.11. EPDs in the world**

According to Anderson, who has been keeping EPD statistics for years, at the beginning of 2023, there were over 130,000 of these documents for construction products worldwide. Over 40,000 EPDs used the EN 15804 guidelines, and 16,000 were verified by an independent party (103). In August 2011, only 340 verified EPDs complied with the provisions of EN 15804 (104).

The distribution of EPDs varies in different parts of the world. Thus, de Brito and da Silva, analyzing the role and importance of EPDs in Brazil from the scientific perspective, concluded that this topic is still relatively new in the academic environment. The amount of data collected so far is limited (105). Research on EPDs in Brazil conducted four years earlier indicated the need to convince Brazilian institutions to monitor the situation in this respect worldwide (106). An analysis of existing EPDs in another South American country, Argentina, showed a growing number of these documents. It has been noted, however, that the different data and formats of EPDs make comparison impossible and may, therefore, cause trade restrictions even though they were created mainly due to the increase in the export opportunities of the companies producing them (107). As mentioned many times before, comparability is crucial. Even in the Nordic countries, which are among the world leaders in the environmental friendliness of the construction sector, the issue of comparability of LCA results and data contained in EPDs is indicated as a priority (108).



### 3.10. Świadomość w sektorze budowlanym oraz wsparcie polityczne

Rozważając znaczenie zagadnień dotyczących wpływu budownictwa na środowisko istotna jest znajomość specyfiki tego sektora. W procesie budowlanym biorą udział różni uczestnicy, wśród których można wyróżnić: inwestorów inicjujących proces budowlany, architektów i projektantów, kierownika budowy, wykonawcę/wykonawców, niekiedy też inspektora nadzoru budowlanego – w zależności od tego jak przepisy prawa budowlanego kształtują prawa i obowiązki oraz odpowiedzialność poszczególnych stron. Ponadto warto też odnotować, że często na wybór określonej technologii lub materiału budowlanego wpływ ma sprzedawca materiału budowlanego lub sam jego producent. Wybór i zakup materiału budowlanego różni się od typowego zakupu/zachowania konsumenckiego.

Badania zachowania konsumentów dotyczące kwestii zrównoważonego rozwoju przy podejmowaniu decyzji o zakupie materiału budowlanego przeprowadzone dla grupy 306 prywatnych klientów w Niemczech pokazały, że dla konsumentów te kwestie mają fundamentalne znaczenie. Autorzy w przeprowadzonej online ankiecie sformułowali trzy hipotezy, że: [a] konsumenci w Niemczech nie rozumieją kompleksowo pojęcia zrównoważonego rozwoju tak w ogólności, jak i w kontekście sektora budowlanego i koncentrują się na wymiarze środowiskowym, [b] aspekty środowiskowe brane pod uwagę przy zakupie materiału budowlanego są subiektywne i różnią się pomiędzy grupami konsumentów, [c] kryteria, którymi kierują się konsumenci dokonując zakupu są niespójne i mogą ulec zmianie wraz ze zmianą wiedzy na różne tematy. W badaniach stwierdzono brak holistycznego spojrzenia na kwestie zrównoważonego rozwoju związane z materiałami budowlanymi oraz tendencję do pomijania aspektów ekonomicznych i społecznych przy rozważaniu kwestii środowiskowych. Autorzy badania zwrócili uwagę na konieczność stworzenia systemu, w którym konsumenci w łatwy i szybki sposób będą w stanie uzyskać zrozumiałe dla nich informacje na temat przyjaznych środowiskowo wyrobów budowlanych (100). Potrzeby edukacyjne w zakresie oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych były identyfikowane także w innych, wcześniejszych badaniach (62-64).

Badania 55 praktyków związanych z budownictwem jakie przeprowadzono w 2020 roku pokazały, że 76% z nich deklaruje wykorzystanie informacji pochodzących zarówno z LCA, jak i z EPD. Wykorzystanie tych informacji wynika z konieczności spełnienia oczekiwań klientów, systemów zarządzania środowiskowego oraz celów marketingowych. Jednocześnie wskazano na konieczność zwiększenia wysiłków normalizacyjnych w związku z koniecznością poprawy jakości komunikowania wyników LCA i EPDs pośród osób nie będących profesjonalnie związanych z sektorem budownictwa (30).

Mieszkańcy UE mają świadomość, że zmiany klimatu są poważnym problemem – aż 77% unijnej populacji tak uważa według badania przeprowadzonego w maju i czerwcu 2023 roku (101).

Linkosalmi *et al.*, analyzing EPDs for wood-based products, found that the number of declarations grows yearly and contains more consistent data. Despite the positive changes, in 2023, many differences still result from different assessment approaches, such as the allocation of by-products due to price variability. Therefore, the assessment of products included in EPDs should be cautiously approached (109).

Toniolo *et al.* mapping diffusion of EPDs released by European program operators in 2018 drew attention to the existence of a correspondence between the presence of a National Action Plan with principles towards Green Public Procurement [GPP] and the spread in the market of environmental labeling and the product sectors covered by EPDs correspond to the sectors covered by GPP criteria (110). One of the conclusions of the literature review on using LCA in public procurement processes for public buildings is that it is necessary to include LCA compulsorily in the procurement process (111).

## 4. Conclusions

The analyzed articles on product environmental impact indicated many problems and imperfections in the existing LCA assessment model. The number of scientific papers in which the authors, noticing the flaws of EPDs, propose specific solutions to solve existing problems is small, even though science, if it wants to fight climate change effectively, must create more than just publications informing about the issue, which Schaltegger and Csutora postulated over a decade ago (112).

When analyzing the concept of assessment and verification of the environmental impact of construction products proposed in the CPR amendment, it is worth looking at it also from the perspective of the linguistic challenge of the CPR itself and answering the question of whether the problem is well defined, whether it is well represented in terms of functionality and whether the specific group to which it is addressed document is well defined and whether its expectations are managed (113). The analysis presented in this article reveals many shortcomings and the inadequacy of the solutions proposed in the CPR to the realities of the construction products market.

Obviously, and what was mentioned at the beginning of this article when defining its purpose, scientific knowledge should support political decisions to be rational. An analysis of the LCA literature did not indicate a need for more significant academic input. The analyzed scientific works recognize the problem of LCA imperfections, including the weaknesses of this methodology regarding construction products. Apart from individual articles, there needs to be considerations regarding the practical consequences of the failings of the LCA methodology for those interested. The practical dimension of assessing and verifying the constancy of the performance properties of construction products in terms of environmental impact could be more enjoyable for scientists. This literature review identified single articles on such topics (15, 75,

Podsumowując należy stwierdzić, że wiedza na temat LCA, EPD, jak i oceny wyrobów budowlanych wciąż pozostaje w tyle za potrzebami. Z tego względu nieustanne racjonalne wsparcie polityczne jest również jednym z głównych wyzwań (102).

### 3.11. EPDs w świecie

Według Anderson, od lat prowadzącej statystyki EPDs, na początku 2023 roku istniało na świecie ponad 130 tysięcy tych dokumentów dla wyrobów budowlanych, z czego ponad 40 tysięcy EPDs wykorzystywało wytyczne EN 15804, zaś 16 tysięcy z nich zostało zweryfikowanych przez niezależną stronę (103). Dla porównania w sierpniu 2011 zweryfikowanych EPDs zgodnych z EN 15804 było jedynie 340 (104).

Popularność EPDs jest różna w różnych częściach świata. De Brito i da Silva analizując rolę i znaczenie EPDs w Brazylii z perspektywy nauki stwierdziły, że tematyka ta jest ciągle dość nowa w środowisku akademickim, zaś ilość danych dotychczas zgromadzonych jest ograniczona (105). Przeprowadzone cztery lata wcześniej badania dotyczące EPDs w Brazylii wskazywały na konieczność przekonania brazylijskich instytucji do monitorowania sytuacji w zakresie EPD na świecie (106). Analiza EPDs w innym południowoamerykańskim kraju – Argentynie wykazała rosnącą ilość tych dokumentów. Odnotowano jednak, że różne dane i formaty EPDs uniemożliwiają porównanie i tym samym mogą być przyczyną ograniczenia wymiany handlowej, pomimo tego, że powstały one głównie z powodu zwiększenia możliwości eksportowych produkujących ich firm (107). Jak już wielokrotnie wcześniej wspomniano porównywalność jest kluczowym aspektem. Nawet w krajach nordyckich, które należą do wiodących w środowiskowej przyjazności sektora budowlanego kwestię porównywalności wyników LCA i danych zawartych w EPDs wskazuje się jako priorytetową (108).

Linkosalmi i in. analizując EPDs dla produktów drewnopochodnych stwierdzili, że z roku na rok rośnie liczba deklaracji i zawierają one coraz bardziej spójne dane. Pomimo jednak pozytywnych zmian, ciągle w roku 2023 istnieje wiele różnic wynikających z różnych podejść do oceny, jak na przykład alokacja produktów ubocznych ze względu na zmienność ceny i tym samym należy z ostrożnością podchodzić do oceny wyrobów zawartej w EPDs (109).

Toniolo i in. analizując rozpowszechnienie EPDs wydanych przez europejskich operatorów programów w 2018 roku zwrócili uwagę na istnienie korelacji pomiędzy obecnością krajowych planów działań z zasadami określonymi w zakresach Zielonych Zamówień Publicznych [Green Public Procurement – GPP], w tym rozpowszechnieniem na rynku oznakowań środowiskowych oraz zgodności EPDs w poszczególnych sektorach z sektorowymi kryteriami zielonych zamówień publicznych (110). Jednym z wniosków przeglądu literatury na temat stosowania LCA w procesach zamówień publicznych dla budynków użyteczności publicznej jest stwierdzenie, że konieczne jest obowiązkowe włączenie LCA do procesu udzielania zamówień (111).

90). The analyzed articles did not attempt to simplify the issue of LCA of construction products. Therefore, there was no risk of oversimplification of these issues, which could occur when practical aspects were considered. The proposed changes in the assessment of construction products in the CPR amendment are unique and essential from the point of view of environmental protection. Still, in the light of the analyzed articles, they can be described as ill-considered, which may result in negative consequences from a social point of view. The literature analysis presented in this work showed the existence of two parallel worlds in assessing the environmental impact of construction products - the world of scientists and the world of decision-makers. Practitioners have practically been excluded from the relationship between scientists and decision-makers.

Decision-making means choosing a solution that is desirable from the point of view of needs. In this aspect, the literature review described in this article proves that the proposed model for assessing the environmental impact of construction products is not an optimal solution and even seems to be a variant whose rational implementation will be complex. The control, implementation assessment, and possible operation corrections will be difficult and expensive. The literature analysis presented in this article proves that the lack of knowledge transfer from science to public bodies/administration negatively impacted the decision-making process's rationality. Additionally, the literature review described in the article indicates that the implementation of a socially important goal, which is the assessment of construction products in terms of their environmental impact, needs to consider the costs that entrepreneurs will have to incur.

The literature analysis presented in this article also indicates that the amendment to the CPR needs to consider the industry as a stakeholder in assessing construction products' environmental impact. Only a few studies have recognized the difference between AVCP and environmental impact assessment from academic research projects.

In light of the previously published research results on assessing the environmental impact of construction products, the only rational solution is to create sectoral EPDs. Adopting such a solution will, on the one hand, rationalize industry expenses related to the development of EPDs for construction products and, on the other hand, avoid the chaos that will arise when EPDs developed by individual producers contain incomparable data. It should also be remembered that the incomparability of data for construction products of particular manufacturers in the next stage may result in attempts to "improve" the situation through measures aimed at reducing the negative impact of their products in an unfair way. Creating sector-specific EPDs is also desirable because there are not enough skilled verification staff for all manufacturers in the certification services market. What is also important is that there are not enough skilled verification personnel to verify an enormous amount of data within the next few years.

## 4. Wnioski

Analizowane artykuły dotyczące oddziaływania środowiskowego wyrobów wskazały wiele różnych problemów i niedoskonałości w dotychczas funkcjonującym modelu oceny wykorzystującym LCA. Liczba prac naukowych, w których autorzy dostrzegając niedoskonałości EPDs proponują konkretne rozwiązania zmierzające do rozwiązania istniejących problemów jest niewielka, pomimo tego, że nauka chcąc skutecznie walczyć ze zmianami klimatycznymi musi tworzyć więcej niż jedynie publikacje informujące o problemie, co ponad dekadę temu postulowali Schaltegger i Csutora (112).

Analizując koncepcję oceny i weryfikacji oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych proponowaną w nowelizacji CPR warto spojrzeć na nią także z perspektywy wyzwania lingwistycznego samego CPR i odpowiedzieć na pytanie czy problem jest dobrze zdefiniowany, czy jest dobrze określony pod względem funkcjonalności oraz czy konkretna grupa, do której adresowany jest dokument jest dobrze zdefiniowana i czy jej oczekiwania są uwzględnione (113). Analiza zaprezentowana w niniejszym artykule ujawnia wiele braków i niedostosowanie zaproponowanych w CPR rozwiązań do realiów rynku wyrobów budowlanego.

Co oczywiste, i co było wspomniane na początku niniejszego artykułu definiując jego cel, wiedza naukowa winna wspierać decyzje polityczne aby były racjonalne. Analiza literatury dotyczącej LCA nie wskazała na potrzebę większego wkładu akademickiego. W analizowanych pracach naukowych jednoznacznie dostrzegany jest problem niedoskonałości LCA, w tym także słabości tej metodyki w odniesieniu do wyrobów budowlanych. Poza pojedynczymi artykułami brak jest rozważań dotyczących praktycznych konsekwencji słabych stron metodologii LCA dla zainteresowanych. Praktyczny wymiar oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobów budowlanych w odniesieniu do oddziaływania środowiskowego nie jest interesujący dla naukowców - niniejszy przegląd literatury zidentyfikował pojedyncze artykuły o takiej tematyce (15, 75, 90). W analizowanych artykułach nie podjęto prób uproszczenia kwestii LCA wyrobów budowlanych. Tym samym nie wystąpiło ryzyko nadmiernego uproszczenia tychże kwestii mogące wystąpić w sytuacji gdy rozważane byłyby praktyczne aspekty. Zaproponowane zmiany w ocenie wyrobów budowlanych w nowelizacji CPR są wyjątkowe, ważne z punktu widzenia ochrony środowiska ale w świetle przeanalizowanych artykułów można określić je jako nieprzemysłane, co może skutkować negatywnymi konsekwencjami ze społecznego punktu widzenia. Analiza literatury przedstawiona w niniejszej pracy wykazała istnienie dwóch równoległych światów w zakresie oceny oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych - świata naukowców i świata decydentów. W relacji pomiędzy naukowcami i decydentami praktycznie nie zostali uwzględnieni praktycy.

Podejmowanie decyzji to wybór rozwiązania pożądanego z punktu widzenia potrzeb. I w takim aspekcie przegląd literatury opisany w niniejszym artykule dowodzi, że zaproponowany model oceny oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych nie jest

Actions to reduce the environmental impact of construction products are necessary and urgent and require a collective effort from legislators, producers, and scientists. It is the responsibility of academia, governance, and industry to find appropriate tools and ways to integrate social responsibility into the everyday practice of enterprises most effectively. This aspect is of fundamental importance, also in connection with the growing needs of all stakeholders, including users of construction products who expect reliable and honest information. The AVCP mechanism for construction products, in terms of their environmental impact, proposed in the amendment to the CPR, will not provide a reliable assessment in light of the information presented in this review.

Similar to other studies on broadly understood environmental sustainability (114, 115), this study shows that all the construction partner actors, including regulators, should develop new sustainable business models, including environmental assessment of the products. It is also worth noting that the literature analysis regarding the evaluation of Europe's building sector's circular economy conducted by Mrad and Ribeiro showed that most of the trending studies, 92%, promote the concept of a circular economy for construction materials rather than the analysis of the impact of construction on the environment, while 41% believe that the only option is to recycle and reuse materials (116).

## References / Literatura

1. United Nations, The 17 Goals, United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, USA, (2015). <https://sdgs.un.org/goals> (accessed 15.01.2024).
2. United Nations, Global Sustainable Development Report 2023, Advance, Unedited Version, 14 June 2023, United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, USA, (2023). <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-06/Advance%20unedited%20GSDR%2014June2023.pdf> (accessed 15.01.2024).
3. European Commission, EU "whole-of-government" approach, European Commission, Brussels, Belgium, (2023). [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/sustainable-development-goals/eu-whole-government-approach\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/sustainable-development-goals/eu-whole-government-approach_en) (accessed 15.01.2024).
4. European Commission, The European Green Deal, European Commission, Brussels, Belgium, (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640> (accessed 15.01.2024).
5. J. Anderson, A. Moncaster, A. Using an analysis of concrete and cement EPD: Verification, selection, assessment, benchmarking and target setting. *Acta Polytech. CTU Proc.* **33**, 20-26 (2022). <https://doi.org/10.14311/APP.2022.33.0020>
6. European Commission, Annexes to the Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council laying down harmonised conditions for marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011, European Commission, Brussels, Belgium, (2022) <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/49315> (accessed 15.01.2024).
7. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council. Brussels, Belgium. (2011). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011R0305> (accessed 15.01.2024).
8. European Commission, Review of the Construction Products Regulation (CPR) – Survey on the Option Paper, April-August 2020 – results, European

rozwiązaniem optymalnym, a nawet wydaje się, że wariantem, którego racjonalna realizacja będzie trudna, zaś kontrola, ocena realizacji oraz ewentualne korekty działania trudne i kosztowne. Przedstawiona w niniejszym artykule analiza literatury jednoznacznie dowodzi, że brak transferu wiedzy z nauki do organów publicznych/administracji negatywnie wpłynął na racjonalność procesu decyzyjnego. Dodatkowo przegląd literatury opisany w artykule wskazuje, że realizacja celu społecznie ważnego jakim jest ocena wyrobów budowlanych w zakresie ich oddziaływania środowiskowego nie uwzględnia aspektu kosztów jakie przedsiębiorcy będą musieli ponieść.

Przedstawiona w niniejszym artykule analiza literatury wskazuje także, że nowelizacja CPR w niewielkim stopniu uwzględnia istnienie przemysłu jako jednego z interesariuszy procesu oceny wyrobów budowlanych w aspekcie ich oddziaływania na środowisko. Jedynie w nielicznych pracach dostrzegana jest odmienność AVCP od oceny oddziaływania środowiskowego powstającego w wyniku realizacji projektów badawczych w świecie akademii.

W świetle dotychczas opublikowanych wyników badań oceny oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych można stwierdzić, że jedynym racjonalnym rozwiązaniem jest tworzenie sektorowych EPDs. Przyjęcie takiego rozwiązania pozwoli z jednej strony zrationalizować wydatki przemysłu związane z opracowaniem EPDs dla wyrobów budowlanych, z drugiej zaś uniknąć chaosu jaki powstanie w sytuacji gdy EPDs opracowane przez pojedynczych producentów będą zawierały nieporównywalne dane. Należy także pamiętać, że nieporównywalność danych dla wyrobów budowlanych poszczególnych producentów w kolejnym etapie będzie mogła skutkować próbami „poprawienia” sytuacji poprzez nieuczciwe zabiegi zmierzające do zmniejszenia negatywnego oddziaływania ich wyrobów. Tworzenie sektorowych EPDs jest także pożądane z powodu, że na rynku usług certyfikacyjnych nie ma wystarczającej liczby profesjonalnych weryfikatorów aby zrealizować zamówienia przemysłu. Co jeszcze istotne to wspomniani weryfikatorzy będą musieli w ciągu najbliższych kilku lat ocenić niewyobrażalną ilość danych.

Działania na rzecz obniżenia oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych są konieczne, pilne oraz wymagają wspólnego wysiłku ze strony ustawodawcy, producentów i naukowców. Obowiązkiem nauki, władzy oraz przemysłu jest znaleźć odpowiednie narzędzia i sposoby, aby jak najskuteczniej integrować społeczną odpowiedzialność z codzienną praktyką funkcjonowania przedsiębiorstw. Ten aspekt ma fundamentalne znaczenie, także w związku z rosnącymi potrzebami ze strony wszystkich interesariuszy, w tym użytkowników wyrobów budowlanych, którzy oczekują rzetelnych i uczciwych informacji. Zaproponowany w nowelizacji CPR mechanizm AVCP wyrobów budowlanych w zakresie ich oddziaływania środowiskowego w świetle informacji przedstawionych w niniejszym przeglądzie nie zapewni rzetelnej oceny.

Podobnie jak inne badania dotyczące szeroko rozumianego zrównoważonego rozwoju (114, 115), niniejsze badanie pokazało, że wszyscy uczestnicy rynku budowlanego, w tym ustawodawcy,

Commission, Brussels, Belgium, (2020). <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/43103> (accessed 15.01.2024).

9. European Parliament, European Parliament legislative resolution of 10 April 2024 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011, European Parliament, Strasbourg, France, (2024). [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0188\\_EN.html#title1](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0188_EN.html#title1) (accessed 30.04.2024).

10. S. Wall, Analiza propozycji dotyczącej nowego podejścia UE do harmonizacji technicznej warunków wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. *Mater. Bud.* **609**(5), 22-25 (2023). <https://doi.org/10.15199/33.2023.05.06>

11. M. Ćwiklicki, Methodological Aspects of Scoping Review. MPRAPaper 104370, University of Munich, Munich, Germany, (2020).

12. S. Sala, A. M. Amadei, A. Beylot, F. Ardente, The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *Int. J. Life Cycle Assess.* **26**, 2295-2314 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2>

13. S. Barbhuiya, B. B. Das, Life Cycle Assessment of Construction Materials: Methodologies, Applications and Future Directions for Sustainable Decision-making. *Case Stud. Constr. Mater.* **19**, e02326 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326>

14. B. Bayram, K. Greiff, Life cycle assessment on construction and demolition waste recycling: A systematic review analyzing three important quality aspects. *Int. J. Life Cycle Assess.* **28**, 967-989 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02145-1>

15. J. Michalak, Sustainability Assessment of Cementitious Ceramic Tile Adhesives. *Buildings* **13**(5), 1326 (2023). <https://doi.org/10.3390/buildings13051326>

16. S. Czernik, B. Michałowski, J. Tomaszewska, J. Michalak, The influence of cement on the environmental performance of construction products on the example of cementitious adhesives—External Thermal Insulation Composite Systems [ETICS] components. *Cem Wapno Beton* **27**(1), 14-31 (2022). <https://doi.org/10.32047/cwb.2022.27.1.2>

17. D. T. Doan, H. V. Tran, I. E. Aigwi, N. Naismith, A. Ghaffarianhoseini, A. GhaffarianHoseini, Green building rating systems: A critical comparison between LOTUS, LEED, and Green Mark. *Environ. res. commun.* **5**, 075008 (2023). <http://doi.org/10.1088/2515-7620/ace613>

18. F. Abdelaal, B. H. Guo, D. Dowdell, Comparison of Green Building Rating Systems from LCA Perspective. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **1101**(6), 062019 (2022). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/6/062019>

19. A. Hollberg, D. Kaushal, S. Basic, A. Galimshina, G. Habert, A data-driven parametric tool for under-specified LCA in the design phase. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **5882**(5), 052018 (2020). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/5882/5/052018>

20. J. Li, T. Lützkendorf, M. Balouktsi, X. Bi, N. Alaux, T. P. Obrecht, A. Passer, Ch. Han, W. Yang, W. Identifying uncertainties in the whole life carbon assessment of buildings: Sources, types, and potential actions. *Build Environ.* **244**, 110779 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110779>

21. K. Kanafani, R. K. Zimmermann, F. N. Rasmussen, H. Birgisdóttir, Early design stage building LCA using the LCAByg tool: New strategies for bridging the data gap. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **323**(1), 012117 (2019). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012117>

22. F. Prideaux, R. H. Crawford, K. Allacker, A. Stephan, Approaches for assessing embodied environmental effects during the building design pro-

powinni wypracować nowe modele biznesowe zrównoważonego rozwoju, w tym ocenę oddziaływania środowiskowego wyrobów. Warto także odnotować, że analiza literatury dotyczącej oceny gospodarki o obiegu zamkniętym w europejskim sektorze budowlanym, przeprowadzona przez Mrad i Ribeiro, wskazuje na następujące trendy – 92% preferuje w przypadku materiałów budowlanych gospodarkę obiegu zamkniętego nad oceną oddziaływania środowiskowego, zaś 41% uważa, że jedyną opcją jest recykling i ponowne wykorzystanie materiałów (116).

- cess. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science **1196**(1), 012053 (2023). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/1196/1/012053>
23. F. N. Rasmussen, T. Malmqvist, H. Birgisdóttir, Drivers, barriers and development needs for LCA in the Nordic building sector—a survey among professionals. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science **588**(3), 032022 (2020). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032022>
24. R. Almeida, L. Chaves, M. Silva, M. Carvalho, L. Caldas, Integration between BIM and EPDs: Evaluation of the main difficulties and proposal of a framework based on ISO 19650:2018. J. Build. Eng. **68**, 106091 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106091>
25. T. P. Lützkendorf, Product data and building assessment—flow of information. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science **225**(1), 012038 (2019). <http://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012038>
26. J. G. Backes, L. Schmidt, J. Bielak, P. Del Rosario, M. Traverso, M. Claßen, Comparative Cradle-to-Grave Carbon Footprint of a CFRP-Grid Reinforced Concrete Façade Panel. Sustainability **15**(15), 11548 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151511548>
27. R. Andersen, K. Negendahl, Lifespan prediction of existing building typologies. J. Build. Eng. **65**, 105696 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105696>
28. A. G. Ross, K. Connolly, I. Rhoden, S. Vögele, *Resource-use intensity and the labor market: More for less?* Environ. Impact Assess. Rev. **102**, 107173 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107173>
29. K. U. Bletzinger, E. Oñate, R. Wüchner, C. Lázaro, *Environmental product declaration (EPD) for the TENSOSky®-ETFE-System*, 10<sup>th</sup> International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures – Structural Membranes 2021, online, 13-15 September 2021.
30. B. M. Galindro, S. Welling, N. Bey, S. I. Olsen, S. R. Soares, S. O. Ryding, Making use of life cycle assessment and environmental product declarations: A survey with practitioners. J. Ind. Ecol. **24**(5), 965-975 (2020). <https://doi.org/10.1111/jiec.13007>
31. V. De Laurentiis, A. Amadei, E. Sanyé-Mengual, S. Sala, Exploring alternative normalization approaches for life cycle assessment. Int. J. Life Cycle Assess. **28**(10), 1382-1399 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02188-4>
32. B. Moins, D. Hernando, M. Buyle, A. Audenaert, Reviewing the variability in product category rules for asphalt pavements—A quantitative evaluation of methodological framework differences for environmental product declarations. J. Clean. Prod. **436**, 140580 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140580>
33. R. K. Zimmermann, Z. Barjot, F. N. Rasmussen, T. Malmqvist, M. Kuitinen, H. Birgisdóttir, GHG emissions from building renovation versus new-build: incentives from assessment methods. B&C **4**(1), 274-291 (2023). <https://doi.org/10.5334/bc.325>
34. C. De Wolf, M. Cordella, N. Dodd, B. Byers, S. Donatello, Whole life cycle environmental impact assessment of buildings: Developing software tool and database support for the EU framework Level(s). Resour. Conserv. Recycl. **188**, 106642 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106642>
35. T. Santos, J. Almeida, J. D. Silvestre, P. Faria, Life cycle assessment of mortars: A review on technical potential and drawbacks. Constr Build Mater **288**, 123069 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123069>
36. A. Hollberg, B. Kiss, M. Röck, B. Soust-Verdaguer, A. H. Wiberg, S. Lasvaux, A. Galimshina, G. Habert, Review of visualizing LCA results in the design process of buildings. Built Environ. **190**, 107530 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107530>
37. T. Eickelkamp, Significance of fixed assets in life cycle assessments. J. Clean. Prod. **108**, 97-108 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.075>

38. E. Klint, G. Peters, Sharing is caring—the importance of capital goods when assessing environmental impacts from private and shared laundry systems in Sweden. *The International Int. J. Life Cycle Assess.* **26**, 1085-1099 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01890-5>
39. European Committee for Standardization (CEN), EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works—Environmental Product Declarations—Core rules for the product category of construction products. Brussels, Belgium, (2019).
40. European Committee for Standardization (CEN), EN 15978:2011 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method product. Brussels, Belgium, (2011).
41. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle analysis – Principles and framework. Geneva, Switzerland, (2006).
42. International Organization for Standardization (ISO), ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works. Core rules for environmental product declarations of construction products and services. Geneva, Switzerland, (2017).
43. S. Lasvaux, G. Habert, B. Peuportier, J. Chevalier, Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies. *Int. J. Life Cycle Assess.* **20**, 1473-1490 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0938-z>
44. N. Emami, J. Heinonen, B. Marteinsson, A. Säynäjoki, J. M. Junnonen, J. Laine, S. Junnila, A life cycle assessment of two residential buildings using two different LCA database-software combinations: Recognizing uniformities and inconsistencies. *Buildings* **9**(1), 20 (2019). <https://doi.org/10.3390/buildings9010020>
45. S. Saxe, G. Guven, L. Pereira, A. Arrigoni, T. Opher, A. Roy, I. Arceo, S. Sampedro von Raesfeld, M. Duhamel, B. McCabe, D. K. Panesar, H. L. MacLean, I. D. Posen, Taxonomy of uncertainty in environmental life cycle assessment of infrastructure projects. *Environ. Res. Lett.* **15**(8), 083003 (2020). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab85f8>
46. O. Tokede, R. Rouwette, Problematic consequences of the inclusion of capital goods inventory data in Environmental Product Declarations. *Int. J. Life Cycle Assess.* **29**(1), 1-24 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02231-4>
47. A. Pacana, D. Siwec, L. Bednárová, J. Petrovský, Improving the Process of Product Design in a Phase of Life Cycle Assessment (LCA). *Processes* **11**(9), 2579 (2023). <https://doi.org/10.3390/pr11092579>
48. B. Soust-Verdager, J. A. Gutiérrez, C. Llatas, Development of a Plug-In to Support Sustainability Assessment in the Decision-Making of a Building Envelope Refurbishment. *Buildings* **13**(6), 1472 (2023). <https://doi.org/10.3390/buildings13061472>
49. J. Maibaum, M. Block, M. König, A. Wachsmann, BIM-based EPD adaptation in the context of ecological sustainability and municipal infrastructures. In *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, F. Biondini, D. M. Frangopol, eds.; CRC Press, London, Great Britain, pp. 2329-2336 (2023).
50. F. Asdrubali, G. Grazieschi, M. Roncone, F. Thiebat, Carbonaro, C. Sustainability of building materials: Embodied energy and embodied carbon of masonry. *Energies* **16**(4), 1846 (2023). <https://doi.org/10.3390/en16041846>
51. International Organization for Standardization (ISO), ISO 22057:2022 Sustainability in buildings and civil engineering works. Data templates for the use of environmental product declarations (EPDs) for construction products in building information modelling (BIM). Geneva, Switzerland, (2022).
52. European Committee for Standardization (CEN), EN ISO 22057:2022 Sustainability in buildings and civil engineering works. Data templates for the use of environmental product declarations (EPDs) for construction products in building information modelling (BIM). Brussels, Belgium, (2022).
53. Anderson, J.; Rønning, A. Using standards to maximize the benefit of digitization of construction product Environmental Product Declaration (EPD) to reduce Building Life Cycle Impacts. *E3S Web of Conferences* **349**, 10003-10008 (2022). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234910003>
54. A. R. Wilson, S. M. Serrano, K. J. Baker, H. B. Oqab, G. B. Dietrich, M. Vasile, T. Soares, L. Innocenti, From life cycle assessment of space systems to environmental communication and reporting. In *Proceedings of the International Astronautical Congress*, Dubai, UAE, vol. 1, pp. 1-22. 25-29 September 2021.
55. K. T. Gradin, A. Björklund, The common understanding of simplification approaches in published LCA studies—a review and mapping. *Int. J. Life Cycle Assess.* **26**, 50-63 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01843-4>
56. S. Kiemel, C. Rietdorf, M. Schutzbach, R. Mieke, How to Simplify Life Cycle Assessment for Industrial Applications—A Comprehensive Review. *Sustainability* **14**(23), 15704 (2022). <https://doi.org/10.3390/su142315704>
57. M. Douziech, G. Ravier, R. Jolivet, P. Pérez-López, I. Blanc, I. How Far Can Life Cycle Assessment Be Simplified? A protocol to generate simple and accurate models for the assessment of energy systems and its application to heat production from enhanced geothermal systems. *Environ. Sci. Technol.* **55**(11), 7571-7582 (2021). <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06751>
58. X. Zhou, S. Bai, X. Zhao, J. Yang, From full life cycle assessment to simplified life cycle assessment: A generic methodology applied to sludge treatment. *Sci. Total Environ.* **904**, 167149 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167149>
59. S. Aghasizadeh, A. Tabadkani, A. Hajirasouli, S. Banihashemi, Environmental and economic performance of prefabricated construction: A review. *Environ. Impact Assess. Rev.* **97**, 106897 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106897>
60. D. Božiček, Y. Almezeraani, M. Košir, Making sense of LCA results when evaluating multiple building designs—comparison of interpretation concepts. *Build. Res. Inf.* 1-19 (2023). <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2236254>
61. J. Harasymiuk, E. Szafranko, On the application of sustainable building materials in geodesy and civil engineering. *Mater. Today Energy*, **57**, 701-704 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.151>
62. J. Michalak, B. Michałowski, Understanding of construction product assessment issues and sustainability among investors, architects, contractors, and sellers of construction products in Poland. *Energies* **14** (7), 1941 (2021). <https://doi.org/10.3390/en14071941>
63. J. Michalak, B. Michałowski, B. Understanding Sustainability of Construction Products: Answers from Investors, Contractors, and Sellers of Building Materials. *Sustainability* **14** (5), 3042 (2022). <https://doi.org/10.3390/su14053042>
64. J. Tomaszewska, Polish transition towards circular economy: Materials management and implications for the construction sector. *Materials* **13**, 5228 (2020). <https://doi.org/10.3390/ma13225228>
65. H. AzariJafari, A. Yahia, B. Amor, Assessing the individual and combined effects of uncertainty and variability sources in comparative LCA of pavements. *Int. J. Life Cycle Assess.* **23**, 1888-1902 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1400-1>
66. Z. Barahmand, M. S. Eikeland, Life cycle assessment under uncertainty: A scoping review. *World* **3**(3), 692-717 (2022). <https://doi.org/10.3390/world3030039>
67. H. AzariJafari, G. Guest, R. Kirchain, J. Gregory, B. Amor, Towards comparable environmental product declarations of construction materials: Insights from a probabilistic comparative LCA approach. *Build. Environ.* **190**, 107542 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107542>

68. M. L. Pannier, P. Schalbart, B. Peupartier, Dealing with uncertainties in comparative building life cycle assessment. *Build. Environ* **242**, 110543 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110543>
69. N. Mrazovic, M. Fischer, M. Lepech, Uncertainty Source Analysis in LCA: Case Studies—3D Printed versus Conventionally Manufactured Building Components. *J. Environ. Sustain.* **19**(2), 99 (2023). <https://doi.org/10.18848/2325-1077/CGP/v19i02/99-117>
70. L. C. Malabi Eberhardt, M. Kuittinen, T. Häkkinen, C. Moinel, S. Nibel, H. Birgisdottir, Carbon handprint—a review of potential climate benefits of buildings. *Build. Res. Inf.* 1-16 (2023). <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2266020>
71. M. S. Otero, T. Garnica, S. Montilla, M. Conde, J. A. Tenorio, Analysis of Sectoral Environmental Product Declarations as a Data Source for Life Cycle Assessment. *Buildings* **13**(12), 3032 (2023). <https://doi.org/10.3390/buildings13123032>
72. F. Greer, P. Rafferty, G. Brager, A. Horvath, A perspective on tools for assessing the building sector's greenhouse gas emissions and beyond. *Environ. res.: infrastruct. sustain.* **3**(4), 043001 (2023). <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad064d>
73. B. Rey-Álvarez, J. Silvestre, A. García-Martínez, B. Sánchez-Montañés, A comparative approach to evaluate the toxicity of building materials through life cycle assessment. *Sci. Total Environ.* **912**, 168897 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168897>
74. A. Säynäjoki, J. Heinonen, S. Junnila, A. Horvath, Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector? *Environ. Res. Lett.* **12**(1), 013001 (2017). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa54ee>
75. T. Lützkendorf, LCA of building materials within the framework of the Construction Products Regulation (CPR) in Europe. *ce/papers* **5**(5), 43-47 (2022). <https://doi.org/10.1002/cepa.1878>
76. J. Michalak, S. Czernik, M. Marcinek, B. Michałowski, Environmental burdens of external thermal insulation systems. expanded polystyrene vs. mineral wool: Case study from Poland. *Sustainability* **120**(11), 4532 (2020). <https://doi.org/10.3390/su12114532>
77. E. Hoxha, N. Francart, B. Tozan, E. B. Stapel, S. R. B. Gummidi, H. Birgisdottir, Spatiotemporal tracking of building materials and their related environmental impacts. *Sci. Total Environ.* **912**, 168853 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168853>
78. J. Anderson, D. Jones, Real and apparent variations in embodied carbon impacts provided in EPD for construction products. In *The Routledge Handbook of Embodied Carbon in the Built Environment*, 1<sup>st</sup> ed.; R. Azari, A. Moncaster, eds.; Taylor & Francis: London, Great Britain, pp. 335-358 (2023).
79. M. Fabianova, A. Estokova, Environmental evaluation of family house materials impacts on climate change, land and water use, acidification and ecotoxicity. *Front. environ. sci.* **11**, 1241397 (2023). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1241397>
80. L. Ciacci, I. Vassura, F. Catalano, A. Simoncelli, F. Moretti, F. Passarini, Sustainability in Building and Construction: LCA of 21 Mural Paints. *Key Eng. Mater.* **919**, 227-235 (2022). <https://doi.org/10.4028/p-yd1r1z1>
81. A. A. M. Ali, Comparative Life Cycle Assessment of Wall Painting Types in a New City Development: Impacts on Environment and Human Health. *SVU-IJESA* **5**(1), 111-124 (2024). <https://doi.org/10.21608/svusrc.2023.226588.1159>
82. J. F. Baptista, S. Kokare, A. V. Francisco, R. Godina, D. Aelenei, A comparative life cycle assessment of ETICS and ventilated facade systems with timber cladding. *Energy Build.* **304**, 113842 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113842>
83. F. Scalisi, Environmental product declarations for building materials: advantages, limits, developments. In *Advances in Architecture, Engineering and Technology: Smart Techniques in Urban Planning & Technology*, H. Altan et al., eds., Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp. 15-23 (2022). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11232-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11232-4_2)
84. F. B. Moré, B. M. Galindro, S. R. Soares, Assessing the completeness and comparability of environmental product declarations. *J. Clean. Prod.* **375**, 133999 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133999>
85. D. Arslan, H. Mohammadpourkarbasi, S. Sharples, Sensitivity analysis of the impact of environmental product declaration values on whole life carbon assessment: A case study using expanded polystyrene insulation for the retrofit of a building in Türkiye. *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* **45**(2), 101-121 (2004). <https://doi.org/10.1177/01436244231221396>
86. M. R. M. Saade, G. Guest, B. Amor, Comparative whole building LCAs: How far are our expectations from the documented evidence? *Build. Environ* **167**, 106449 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106449>
87. T. Mattinzoli, M. Sol-Sánchez, G. Martínez, M. Rubio-Gámez, A parametric study on the impact of open-source inventory variability and uncertainty for the life cycle assessment of road bituminous pavements. *Int. J. Life Cycle Assess.* **26**, 916-935 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01878-1>
88. K. Goulouti, P. Padey, A. Galimshina, G. Habert, S. Lasvaux, Uncertainty of building elements' service lives in building LCA & LCC: What matters? *Build. Environ* **183**, 106904 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106904>
89. B. Michałowski, J. Michalak, Sustainability-oriented assessment of external thermal insulation composite systems: A case study from Poland. *Cogent Engineering* **8**(1), 1943152 (2021). <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1943152>
90. J. Michalak, External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) from Industry and Academia Perspective. *Sustainability* **13**(24), 13705 (2021). <https://doi.org/10.3390/su132413705>
91. M. Pedroso, J. D. Silvestre, I. Flores-Colen, M. G. Gomes, Environmental impact of wall multilayer coating systems containing airgel-based fiber-enhanced thermal renders. *J. Build. Eng.* **76**, 107322 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107322>
92. J. G. Backes, R. Hinkle-Johnson, M. Traverso, The Influence of the Functional Unit on the Comparability of Life Cycle Assessments in the Construction Sector: A Systematic Literature Review and Attempt at Unification for Reinforced Concrete. *Case Stud. Constr. Mater.* **18**, e01966 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01966>
93. J. Pohl, V. Frick, M. Finkbeiner, T. Santarius, Assessing the environmental performance of ICT-based services: Does user behavior make all the difference? *Sustain. Prod. Consum.* **31**, 828- 838 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.003>
94. S. Dijkstra-Silva, S. Schaltegger, P. Beske-Janssen, Understanding positive contributions to sustainability. A systematic review. *J. Environ. Manag.* **320**, 115802 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115802>
95. J. H. Guillaume, S. Sojamo, M. Porkka, D. Gerten, M. Jalava, L. Lankoski, E. Lehtikainen, M. Lettenmeier, S. Pfister, K. Usva, Y. Wada, M. Kumm, Giving legs to handprint thinking: Foundations for evaluating the good we do. *Earth's futur.* **8**(6), e2019EF001422 (2020). <https://doi.org/10.1029/2019EF001422>
96. T. Pajula, S. Vatanen, K. Behm, K. Grönman, L. Lakanen, H. Kasurinen, R. Soukka, Carbon handprint guide V. 2.0 Applicable for environmental handprint. VTT Technical Research Center of Finland, 2021. <https://cris.vtt.fi/en/publications/carbon-handprint-guide-v-20-applicable-for-environmental-handprint>

97. K. Behm, R. Husgafvel, C. Hohenthal, H. Pihkola, S. Vatanen, Carbon handprint - Communicating the good we do. VTT Technical Research Center of Finland. VTT-R-00452, 2016. <https://publications.vtt.fi/julkaisut/uuut/2016/VTT-R-00452-16.pdf>
98. M. Ghanbari, Environmental Impact Assessment of Building Materials Using Life Cycle Assessment. *JAESER* **6**(4), 11-22 (2023). <https://doi.org/10.30564/jaeser.v6i4.5964>
99. F. Schlegl, J. Gantner, R. Traunspurger, S. Albrecht, P. Leistner, P. LCA of buildings in Germany: Proposal for a future benchmark based on existing databases. *Energy Build.* **194**, 342-350 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.038>
100. A. Weniger, P. Del Rosario, J. G. Backes, M. Traverso, Consumer Behavior and Sustainability in the Construction Industry—Relevance of Sustainability-Related Criteria in Purchasing Decision. *Buildings* **13**(3), 638 (2023). <https://doi.org/10.3390/buildings13030638>
101. European Commission, Special Eurobarometer 538 Climate Change – Report, European Commission, Brussels, Belgium, 2023, ISBN 978-92-68-05355-3, <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2954> (accessed 16.02.2024).
102. L. Munagala, N. Jothilakshmy, A Comparative Analysis of Rating Systems for Sustainability in Built Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **1210**(1), 012027 (2023). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1210/1/012027>
103. J. Anderson, Over 130,000 construction product EPD available globally, ConstructionLCA, <https://constructionlca.co.uk/2023/03/01/over-130000-construction-product-epd-available-globally> (25.02.2024).
104. J. Anderson, ConstructionLCA's 2023 Guide to Environmental Product Declarations (EPD). Growth in numbers of Construction Product EPD to EN 15804, ConstructionLCA, <https://infogram.com/constructionlca-2023-guide-to-epd-1h0n25yvvgz7l6p?live> (accessed 25.02.2024).
105. M. A. L. de Brito, E. A. da Silva, Environmental Product Declaration Approaches on the Brazilian Experiences: A Review. *Environ. Manag. Sustain. Dev.* **12**(2), 9-29 (2023). <https://doi.org/10.5296/emsd.v12i2.20787>
106. M. S. R. Rocha, A. Caldeira-Pires, Environmental product declaration promotion in Brazil: SWOT analysis and strategies. *J. Clean. Prod.* **235**, 1061-1072 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.266>
107. M. Marzocchini, J. M. Echazarreta, V. Gulivart, M. L. Mathisen, Environmental Product Declarations worldwide: a case study in Argentina. *Int. J. Life Cycle Assess.* 1-12 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02172-y>
108. R. D. Schlanbusch, S. M. Fufa, T. Häkkinen, S. Vares, H. Birgisdottir, P. Ylmén, Experiences with LCA in the Nordic building industry—challenges, needs and solutions. *Energy Procedia* **96**, 82-93 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.106>
109. L. Linkosalmi, H. Schwarzschnachner, T. Valttonen, Harmonization of the Environmental Product Declarations for wood products. In *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, A. Q. Nyrud, K. A. Malo, eds., pp. 4565-4570, Oslo, Norway, 19-22.06.2023. ISBN 9781713873273.
110. S. Toniolo, A. Mazzi, M. Simonetto, F. Zuliani, A. Scipioni, Mapping diffusion of Environmental Product Declarations released by European program operators. *Sustain. Prod. Consum.* **17**, 85-94 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.09.004>
111. M. Scherz, A. A. Wieser, A. Passer, H. Kreiner, Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) in the Procurement Process of Buildings: A Systematic Literature Review. *Sustainability* **14**(24), 16967 (2022). <https://doi.org/10.3390/su142416967>
112. S. Schaltegger, M. Csutora, Carbon accounting for sustainability and management. Status quo and challenges. *J. Clean. Prod.* **36**, 1-16 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.024>
113. R. C. Robinson, The Linguistic Challenge for Standards. *Standards* **2**(4), 449-459 (2022). <https://doi.org/10.3390/standards2040030>
114. Shashi, P. Centobelli, R. Cerchione, M. Ertz, E. Oropallo, What we learn is what we earn from sustainable and circular construction. *J. Clean. Prod.* **382**, 135183 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135183>
115. F. Belizario-Silva, L. S. Oliveira, D. C. Reis, G. T. G. Pato, A. C. Marinho, C. M. Degani, R. L. Caldas, K. R. G. Punhaqui, S. A. Pacca, V. M. John, The Sidac system: Streamlining the assessment of the embodied energy and CO2 of Brazilian construction products. *J. Clean. Prod.* **421**, 138461 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138461>
116. C. Mrad, L. Frólén Ribeiro, A Review of Europe's Circular Economy in the Building Sector. *Sustainability* **14**(21), 14211 (2022). <https://doi.org/10.3390/su142114211>