

Wpływ cementu na charakterystykę środowiskową wyrobów budowlanych na przykładzie klejów cementowych – składników złożonych systemów izolacji cieplnej ETICS

The influence of cement on the environmental performance of construction products on the example of cementitious adhesives – External Thermal Insulation Composite Systems [ETICS] components

Sebastian Czernik¹, Bartosz Michałowski¹, Justyna Tomaszewska², Jacek Michalak^{1,*}

¹ Research and Development Center, Atlas sp. z o.o., 2, Kilińskiego St., 91–421 Łódź, Poland;

² Building Research Institute (ITB), Filtrowa 1, 00-611 Warsaw, Poland;

*corresponding author: J. Michalak; e-mail: jmichalak@atlas.com.pl

Streszczenie

Sektor budowlany należy do gałęzi gospodarki o istotnym wpływie na środowisko. Wykorzystuje ogromne ilości zróżnicowanych surowców, wytwarza znaczne ilości odpadów i emituje znaczne ilości gazów cieplarnianych do atmosfery. Redukcja zużycia energii i emisyjności budynków, dekarbonizacja istniejących źródeł energii oraz optymalizacja wykorzystania energii odnawialnej, a także zminimalizowanie śladu węglowego materiałów i robót budowlanych to konieczność, aby przeciwdziałać zmianom klimatycznym. To również plan minimum dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju społecznego. Dotychczasowa polityka środowiskowa w sektorze budowlanym jest niewystarczająca a wynika to, przede wszystkim, z obecnie obowiązujących regulacji prawnych. Ocena wyrobów budowlanych w zakresie siódmego wymagania podstawowego, dotyczącego zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych, jest dobrowolna, a co za tym idzie niemal zawsze pomijana. Narzędzia do oceny jakimi są m.in. deklaracje środowiskowe III typu [Type III Environmental Product Declarations - EPDs] wyrobów budowlanych nie są powszechnie stosowane. Co więcej, dokumenty te są słabo rozpoznawalne wśród konsumentów, co świadczy o ciągle niewystarczającej świadomości ekologicznej. Dodatkowo, pojawiające się różnice wartości wskaźników oddziaływania środowiskowego określanych w deklaracjach środowiskowych III typu, wynikające ze zróżnicowanego podejścia w wyznaczaniu granic systemu czy jakości dostępnych danych generycznych, nie sprzyjają prawidłowemu rozwojowi wiedzy o wpływie materiałów budowlanych na środowisko. W niniejszej pracy przeprowadzono analizę oddziaływania środowiskowego cementu będącego skład-

Summary

The construction sector is one of the branches of the economy with a significant impact on the environment. It uses a vast amount of different raw materials. Also, it produces substantial amounts of waste and emits high amounts of greenhouse gases into the atmosphere. Reducing the energy consumption and emissivity of buildings, decarbonizing existing energy sources, optimizing the use of renewable energy, and minimizing the carbon footprint of materials and construction works are imperative to counteract climate change. It is also a minimum plan for ensuring sustainable social development. The current environmental policy in the construction sector is insufficient and it results from the legal regulations currently in force. Assessment of construction products for the seventh basic requirement, sustainable use of natural resources, is voluntary and almost always neglected. Assessment tools, such as Type III Environmental Product Declarations [EPDs] for construction products, are not widely used. Moreover, these documents are poorly recognizable among consumers, proving that there is still insufficient environmental awareness. In addition, the emerging differences in environmental impact indicators values specified in environmental declarations, resulting from using differentiated approaches in setting system boundaries or the quality of available generic data, do not support the proper development of knowledge about the impact of construction products on the environment. In this work, an analysis of the environmental impact of cement, which is a component of adhesives used in the External Thermal Insulation Composite System [ETICS], was carried out. The study on four indicators, i.e., global warming potential [GWP], soil and

nikami zapraw klejących, stosowanych w złożonych zestawach izolacji cieplnej ETICS. Badania prowadzono w zakresie czterech wskaźników, tj. globalnego współczynnika ocieplenia [GWP], potencjału zakwaszenia gleby i wody [AP], potencjału eutrofizacji [EP] oraz potencjału tworzenia ozonu troposferycznego [POCP].

Słowa kluczowe: wyroby budowlane, oddziaływanie środowiskowe, deklaracje środowiskowe III typu, ocena cyklu życia, ETICS, cement, potencjał globalnego ocieplenia, zrównoważone budownictwo

1. Wprowadzenie

1.1. Polityka klimatyczna w sektorze budowlanym

Globalne ocieplenie jest ogromnym wyzwaniem dla świata. Po ponad pół wieku od opublikowania Raportu U Thanta, który zainicjował w większości rozwiniętych krajów systematyczne działania chroniące środowisko, wielu zrealizowanych przez lata globalnych i lokalnych inicjatywach i działaniach prośrodowiskowych, aktualnie kierunek działań w krajach Unii Europejskiej [UE] wyznaczają Porozumienie Paryskie i Europejski Zielony Ład (1-3). Strategia klimatyczna UE uwzględnia równocześnie zahamowanie globalnego ocieplenia „znacznie poniżej 2°C”, jak wynika z Porozumienia Paryskiego, oraz osiągnięcie w 2050 roku zerowego poziomu emisji gazów cieplarnianych netto. Drugi z celów został wyznaczony przez Komisję Europejską [KE] w Europejskim Zielonym Ładzie. KE zdecydowała, że jego osiągnięcie nastąpi w wyniku oddzielenia wzrostu gospodarczego od zużycia zasobów naturalnych, a żadna osoba ani żaden region nie pozostaną w tyle (3).

Sektor budowlany, który zużywa ogromne ilości surowców, wytwarza znaczne ilości odpadów oraz emituje znaczne ilości gazów cieplarnianych, należy do gałęzi gospodarki o fundamentalnym wpływie na zmiany środowiska naturalnego (4, 5). Tylko w 2020 roku, w 27 krajach UE, budynki i wszystkie operacje z nimi związane były odpowiedzialne za emisję 511 Mt CO₂ eq., co stanowiło 15% całkowitej emisji CO₂ do atmosfery. W porównaniu do emisji z 2005 [672 Mt CO₂ eq.] emisja w 2020 roku była o 24% niższa. Cel jaki wyznaczyła KE na rok 2030 to 408 Mt CO₂ eq. (5). Osiągnięcie celów, wynikających z Europejskiego Zielonego Ładu w sektorze budowlanym, możliwe będzie poprzez ograniczenie zużycia energii w istniejących i nowo wznoszonych budynkach, dekarbonizację źródeł energii, optymalizację wykorzystania odnawialnych źródeł energii, ograniczenie emisji powstającej w wyniku funkcjonowania budynków, ale także ze zminimalizowania śladu węglowego materiałów i robót budowlanych na etapie wznoszenia, renowacji i demontażu.

Działania wszystkich uczestników rynku budowlanego zmierzające do poprawy świadomości ekologicznej i zrównoważonego rozwoju sektora budowlanego wynikają, przede wszystkim, z dyrektyw, rozporządzeń oraz inicjatyw na wszystkich poziomach od globalnego do lokalnego (6, 7). Analizując dotychczasową politykę środowiskową w sektorze budowlanym należy stwierdzić, że kon-

water acidification potential [AP], eutrophication potential [EP], and tropospheric ozone formation potential [POCP], was performed.

Keywords: construction products, environmental impact, Type III Environmental Product Declaration [EPD], life cycle assessment [LCA], ETICS, cement, global warming potential [GWP], sustainable building

1. Introduction

1.1. Climate policy in the construction sector

Global warming is a massive challenge for the world. More than half a century after the publication of the U Thant Report, which initiated systematic actions to protect the environment in most developed countries, many implemented global and local initiatives and pro-environmental efforts carried out over the years, nowadays, the course of action in the European Union [EU] countries is set by the Paris Agreement and the European Green Deal (1-3). According to the Paris Agreement, the EU's climate strategy considers stopping global warming “well below 2°C”. The second goal set up by the European Commission [EC] in the European Green Deal is to achieve net-zero greenhouse gas emissions in 2050. The EC decided to fulfill this goal by decoupling economic growth from the consumption of natural resources, and no person or region would be left behind (3).

The construction sector, which consumes vast amounts of raw materials, produces significant amounts of waste, and emits substantial amounts of greenhouse gases, is one of the branches of the economy with a fundamental impact on changes in the natural environment (4, 5). Only in 2020, in 27 EU countries, buildings and all related operations were responsible for 511 Mt CO₂ eq., which accounted for 15% of total CO₂ emissions to the atmosphere. Compared to the emissions from 2005 [672 Mt CO₂ eq.], the emissions in 2020 were 24% lower. The target set by the European Commission for 2030 is 408 Mt CO₂ eq. (5). Achieving the goals in the construction sector set up by the European Green Deal will be possible by reducing energy consumption in existing and newly constructed buildings, decarbonizing energy sources, optimizing the use of renewable energy sources, reducing emissions resulting from the building's operations, but also by minimizing the carbon footprint of materials and construction works at the stage of erection, renovation, and dismantling.

Activities of all construction market participants aimed to improve environmental awareness and sustainable development of the construction sector result from directives, regulations and global to local initiatives (6, 7). When analyzing the existing environmental policy in the construction sector, one should note that it has focused primarily on improving energy efficiency, broader use of renewable energy, reducing greenhouse gas emissions, and to a

centrowała się ona i koncentruje przede wszystkim, na poprawie efektywności energetycznej, szerszym wykorzystaniu energii odnawialnej, redukcji emisji gazów cieplarnianych, zaś w zdecydowanie mniejszym stopniu na materiałach budowlanych i ich oddziaływaniu na środowisko (8). Dzieje się tak pomimo tego, że według szacunków Międzynarodowej Agencji Energetycznej ślad węglowy pochodzący z materiałów budowlanych stanowił około 11% globalnej emisji CO₂ w 2017 roku (9). Z tego względu należy zwrócić większą uwagę na ślad węglowy budynków i materiałów budowlanych i uwzględnić go przy podejmowaniu decyzji (10). To ważne także w aspekcie wykorzystania materiałów budowlanych i ewentualnego ich recyklingu w wymiarze gospodarki o obiegu zamkniętym i zasad zrównoważonego rozwoju (11). Mniejsze zainteresowanie oddziaływaniem na środowisko wyrobów budowlanych wynika także z tego, że ocena i ograniczanie wpływu na środowisko materiałów budowlanych rzadko jest przedmiotem obowiązkowych regulacji (12).

1.2. Realizacja polityki klimatycznej a wyroby budowlane

Rynek wyrobów budowlanych w UE od 1 lipca 2013 roku reguluje rozporządzenie nr 305/2011 zwane powszechnie Construction Products Regulation [CPR] (13). Zgodnie z CPR producent poddaje ocenie i weryfikacji stałość właściwości użytkowych [AVCP] wyrobów budowlanych w odniesieniu do zasadniczych charakterystyk tego wyrobu zgodnie z odpowiednią specyfikacją techniczną, tj. europejską normą zharmonizowaną lub europejską oceną techniczną [ETA]. Zasadnicze charakterystyki wyrobu budowlanego odnoszą się do siedmiu podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych, zawartych w załączniku I do rozporządzenia CPR. Siódmym wymaganiem podstawowym jest zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych. Dotychczas jednak AVCP wyrobów budowlanych w zakresie zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych nie jest obligatoryjne, a jedynie dobrowolne (14).

Komisja Europejska zainicjowała dwa podejścia, wykorzystujące analizę cyklu życia, do oceny oddziaływania wyrobu, w tym wyrobu budowlanego, na środowisko z wykorzystaniem deklaracji środowiskowych III typu [Type III Environmental Product Declaration – EPD] oraz Śladu Węglowego Produktu [Product Environmental Footprint - PEF] (15, 16). Od 2012 roku deklaracje środowiskowe III typu zgodnie z normą EN15804 [aktualnie EN 15804+A2:2020-3/AC:2021-11], dostarczają kwantyfikowanych informacji środowiskowych o wyrobach budowlanych w oparciu o naukową podstawę. Po dziesięciu latach od opublikowania EN 15804, definiującej wytyczne co do sposobu opracowania EPD dla wyrobów budowlanych, w styczniu 2022 roku zarejestrowano ponad dwanaście tysięcy zweryfikowanych deklaracji środowiskowych III typu dla wyrobów budowlanych na całym świecie (17). Najwięcej deklaracji III typu wydał francuski FDES – 1881, kolejne miejsca zajęły następujący operatorzy: International EPD – 1605, norweski EPD Norge – 1289 oraz IBU [Niemcy] – 1285. Program polskiego ITB z wydanymi 175 deklaracjami środowiskowymi zajął trzynaste miejsce (17). Zgodnie z założeniami deklaracje środowiskowe III typu winny dostarczać w przejrzysty sposób

much lesser extent, on construction products and their impact on the environment (8). Although, according to the estimations of the International Energy Agency, the construction product's carbon footprint accounted for approximately 11% of global CO₂ emissions in 2017 (9). Therefore, more attention should be paid to the carbon footprint of buildings and construction products and taken into account when making decisions (10). It is also vital in using construction products and their possible recycling in the circular economy context and the principles of sustainable development (11). The lesser interest in the environmental impact of construction products is also because the assessment and reduction of the environmental impact of construction materials are rarely the subject of mandatory regulations (12).

1.2. Implementation of the climate policy and construction products

The construction products market in the EU has been regulated since 1 July 2013 by Regulation No. 305/2011, commonly known as the Construction Products Regulation [CPR] (13). According to the CPR, the manufacturer assesses and verifies the constancy of performance [AVCP] of a construction product concerning its essential characteristics following the relevant technical specification, i.e., a harmonized European standard or a European Technical Assessment [ETA]. The essential characteristics of the construction product relate to the seven basic requirements for construction works contained in the CPR Annex I. The seventh basic requirement is the sustainable use of natural resources. However, so far, the AVCP of construction products in terms of sustainable use of natural resources is not mandatory, but only voluntary (14).

The European Commission has initiated two approaches, using life cycle analysis to assess the product environmental impact, including a construction product, using EPD and Product Environmental Footprint [PEF] (15, 16). Since 2012, EPDs, following the standard, currently EN 15804 + A2: 2020-3/AC: 2021-11, provide quantified environmental information on construction products based on a harmonized and scientific basis. Ten years after EN 15804 publication, establishing the rules for the development of the EPD for construction products, more than twelve thousand verified EPDs for construction products, by January 2022, were registered worldwide (17). The most numerous EPDs were issued by the French FDES - 1881, and the following operators took the subsequent places: International EPD - 1605, Norwegian EPD Norge - 1289, and German IBU - 1285. With 175 issued EPDs, the Polish ITB took the thirteenth place (17). According to the assumptions, EPDs should provide quantified, reliable, and comparable data on the environmental impact of products. However, the reality is often different. Although operators of EPD programs work according to the same guidelines based on ISO standards and Product Category Rules, their EPDs differ, which is often misleading. The differences in the quality of the existing EPDs are known. This issue reaches from the beginning of the functioning of these documents. Despite many actions aimed to change this situation, it remains unresolved (18-20). The second approach to product environmental impact assessment, i.e., PEF, is less popular but also, like the EPD, criti-

skwantyfikowane, wiarygodne i porównywalne dane na temat wpływu wyrobów na środowisko. Rzeczywistość jest jednak często inna i pomimo tego, że operatorzy programów EPD pracują według tych samych wytycznych ISO i w oparciu o zasady kategoryzacji wyrobu [Product Category Rules], wydawane przez nich deklaracje środowiskowe III typu różnią się, co często wprowadza w błąd. Temat różnic w jakości istniejących deklaracji środowiskowych III typu jest znany od samego początku funkcjonowania tych dokumentów i pomimo wielu działań mających na celu zmianę tej sytuacji pozostaje dalej nierozwiązany (18-20). Drugie z podejść do oceny oddziaływania środowiskowego wyrobu, tj. PEF jest zdecydowanie mniej popularne, ale też tak jak EPD krytykowane, szczególnie przez środowiska akademickie, z powodu trudności w porównywaniu wyników uzyskiwanych tą metodą (21). Warto dodać, że porównanie wyników uzyskanych metodami EPD i PEF jest trudne a czasami wręcz niemożliwe, z powodu zróżnicowanych granic systemów i wykorzystanych danych źródłowych, co powoduje, że zamysł alternatywnego wykorzystanie obu wspomnianych metod nie może być zrealizowany w praktyce (22). Podsumowując dekadę funkcjonowania deklaracji środowiskowych III typu można stwierdzić, że wykorzystanie tych dokumentów jest ograniczone do komunikacji B2B, przygotowania ofert do przetargów oraz dobrowolnych systemów certyfikacji budynków, takich jak, BAMB, BREEAM, CASBEE, DGNB, Green Globes, HQE, LEED, ÖGNI, SBTool, and TQB (23-25).

Omawiając realizację polityki klimatycznej nie można ograniczać się jedynie do działań prośrodowiskowych. Obok wymiaru środowiskowego należy także pamiętać o wymiarze społecznym i ekonomicznym (26). W sektorze budowlanym jest to szczególnie ważne gdyż zmiany na rzecz bardziej przyjaznych środowiskowo materiałów budowlanych oznaczają często wiele problemów społecznych i ekonomicznych, które muszą być rozwiązane. Ich rozwiązanie wiąże się z dodatkowymi kosztami, które często należy ponieść w krótkim czasie (27). Wielkie koncerny międzynarodowe są postrzegane jako liderzy w komunikowaniu idei zrównoważonego rozwoju w przemyśle cementowym (28). Jednak w zakresie działań społecznych w obszarze zrównoważonego rozwoju w przemyśle cementowym często informacje o środowiskowych aspektach prowadzonej przez nie działalności nie są przedstawiane w sposób kompleksowy (29). Dodatkowo ciągłe relacje pomiędzy producentami a innymi organizacjami w tym organizacjami pozarządowymi w zakresie komunikowania celów i osiągnięć zrównoważonego rozwoju nie są dobrze poznane, szczególnie z perspektywy producenta (30). Jak wspomniano wcześniej jednym z podstawowych utrudnień jest sam format deklaracji środowiskowych. Utrudnieniem jest także stale ewoluujący charakter tożsamości środowiskowej klientów w kontekście złożoności zmiany klimatu, dodatkowo wzmocniony w wyniku często niezrozumiałych debat politycznych (31).

Pomimo wyżej wymienionych trudności i zastrzeżeń wobec deklaracji środowiskowych III typu, odgrywają one ważną rolę w kształtowaniu postaw klientów a ich potencjał przy odpowiednim przyszłym wykorzystaniu może być fundamentalny dla wspierania inicjatyw przeciwdziałających zmianom klimatu (32, 33). Jednym

z utrudnień, szczególnie przez akademię, jest trudność w porównywaniu wyników uzyskiwanych tą metodą (21). Warto dodać, że porównanie wyników uzyskiwanych metodami EPD i PEF jest skomplikowane i czasami niemożliwe ze względu na różne podejścia stosowane przy ustalaniu granic systemu i jakości danych. W praktyce, nie można wdrożyć wzajemnej użyteczności tych metod (22). Podsumowując dekadę EPD, ich wykorzystanie jest ograniczone do komunikacji B2B, przygotowania ofert do przetargów, i dobrowolnych systemów certyfikacji budynków, takich jak BAMB, BREEAM, CASBEE, DGNB, Green Globes, HQE, LEED, ÖGNI, SBTool, and TQB (23-25).

When discussing the implementation of the climate policy, one cannot limit oneself only to pro-environmental activities. Apart from the environmental dimension, one should also consider the social and economic dimensions (26). In the construction sector, this is especially important as the change towards more environmentally friendly building materials often means many social and economic problems that need to be solved. Solving them involves additional costs, which often have to be incurred in a short period of time (27). Large international corporations are leaders in communicating the idea of sustainable development in the cement industry (28). However, in social activities regarding sustainable development in the cement industry, information on the environmental aspects of their actions is often not comprehensively presented (29). In addition, the relationship between producers and other organizations, including NGOs, in communicating the goals and achievements of sustainable development is still not well understood, especially from the producer's perspective (30). As mentioned earlier, one of the primary difficulties is the format of EPDs itself. Another obstacle is the constantly evolving nature of the environmental identity of customers in the context of the complexity of climate change, additionally reinforced as a result of often incomprehensible political debates (31).

Despite the difficulties mentioned above and objections to EPDs, they play an essential role in shaping customers' attitudes and potential, with appropriate future use, which may be fundamental for supporting initiatives counteracting climate change (32, 33). One of the important which can significantly influence the increase of awareness of the importance of the environmental aspects of instruments is green procurement (34). However, they are still not very popular (33). The awareness of professionals related to construction about the role of EPDs is still insufficient (23, 35, 36), and educational needs in this area are still significant (37).

1.3. Cement and sustainable development of construction products

Cement is the number one binding material used in construction. In 2020 4.3 Gt of cement was produced worldwide, and it is 0.1 Gt more than the year before (38). About 55% of world cement production was in China, and the number two in cement production worldwide is India, with an 8% share in the global market (38). CO₂ generated during cement production accounts for 7 to 8% of total global emissions (39). During cement production, CO₂ is produced

z ważnych, mogących w istotny sposób wpływać na wzrost świadomości wagi aspektów środowiskowych instrumentów są zielone zamówienia (34). Jednak poza krajami skandynawskimi są one ciągle mało popularne (33). Świadomość osób zawodowo związanych z budownictwem dotycząca roli deklaracji środowiskowych III typu jest ciągle niewystarczająca (23, 35, 36), zaś potrzeby edukacyjne w tym zakresie ciągle znaczne (37).

1.3. Cement a zrównoważony rozwój materiałów budowlanych

Cement jest numerem jeden pośród materiałów wiążących, wykorzystywanych w budownictwie. W 2020 roku na świecie wyprodukowano 4,3 Gt cementu, o 0,1 Gt cementu więcej niż rok wcześniej (38). Około 55% światowej produkcji cementu wytwarzane jest w Chinach, kraj numer dwa pod względem wielkości produkcji cementu to Indie z 8% udziałem w globalnym rynku (38). CO₂ powstające w trakcie produkcji cementu stanowi od 7 do 8% całkowitej światowej emisji (39). Podczas produkcji cementu CO₂ powstaje w reakcji chemicznej zachodzącej podczas wypału klinkieru [rozkład węglanów] oraz spalania paliw kopalnych niezbędnych do uzyskania odpowiednich temperatur procesu (40). Od lat przemysł cementowy obniża ślad węglowy cementu poprzez różne działania, jak zmiany składu fazowego klinkieru, w tym stosując surowce zawierające związki wapnia inne niż węglanowe (41), produkcję cementów z nie-klinkierowymi składnikami głównymi będącymi ubocznymi produktami przemysłowymi (42-44) oraz wykorzystując paliwa alternatywne (45). W 2020 roku stosunek klinkieru do cementu na świecie wynosił 0,72 i winien zmniejszyć się do 0,65 przed 2030 rokiem, aby osiągnąć zerową emisję netto gazów cieplarnianych w 2050 roku (38). W tym samym roku w 27 krajach UE stosunek klinkieru do cementu wyniósł 0,74 (46) podczas gdy w Chinach 0,66 (38). Niezależnie wiele prowadzonych prac na różnych poziomach zmierza do ograniczenia zawartości cementu w jego zastosowaniach (47). Prace te, przede wszystkim, koncentrują się na zmniejszeniu zawartości cementu w betonie (47, 48).

Równolegle do działań zmierzających do ograniczenia emisji CO₂ podczas produkcji cementu wiele uwagi poświęca się spoiwom o mniejszym oddziaływaniu na środowisko (49). Jednak często te poszukiwania koncentrują się jedynie na środowiskowym wymiarze alternatywnego do cementu spoiwa, w sytuacji gdy potrzebne jest jednak holistyczne podejście. Podobnie jak całościowe podejście niezbędne jest rozważając wszystkie zagadnienia zrównoważonego rozwoju, w tym regeneracyjny system gospodarczy jakim jest szeroko dyskutowany model gospodarki obiegu zamkniętego (50). W debacie na temat środowiskowej transformacji rozważa się różne scenariusze i modele. Obok wspomnianego modelu gospodarki zamkniętej, zainteresowanie budzą także koncepcję zielonej ekonomii czy bioekonomii, jednak ciągle w tym zakresie dominuje dyskusja na wysokim poziomie ogólności, tak po stronie polityków, nauki, jak i biznesu (51). Z tego względu dostarczenie jak największej ilości rzeczywistych danych z zakresu oddziaływania środowiskowego wytworzenia różnych dóbr, w tym materiałów budowlanych jest ważne, i to nie tylko w związku ze stale

by a chemical reaction that takes place during the burning of clinker [decomposition of carbonates] and the combustion of fossil fuels necessary to obtain the appropriate process temperatures (40). For years, the cement industry has been reducing the carbon footprint of cement through various activities, such as changing the phase composition of clinker, including the use of raw materials containing non-carbonate calcium compounds (41), the production of cement with non-clinker core components that are industrial by-products (42-44), and the use of alternative fuels (45). In 2020, the clinker-to-cement ratio in the world was 0.72 and should decrease to 0.65 by 2030 to achieve net-zero greenhouse gas emissions by 2050 (38). The 27 EU countries had a clinker to cement ratio of 0.74 (46) in the same year, while China was 0.66 (38). Independently, many studies were carried out at different levels to limit the cement content in its applications (47). These works, first of all, focus on reducing the cement content in concrete (47, 48).

Along with the efforts to reduce CO₂ emissions from cement production, much attention is paid to binders with a lower environmental impact (49). However, often these searches focus only on the environmental dimension of a binder alternative to cement, where a holistic approach is needed. Similarly to a holistic approach, it is necessary to consider all sustainable development issues, including the regenerative economic system, which is the widely discussed circular economy model (50). Various scenarios and models are considered in the debate on environmental transformation. In addition to the aforementioned circular economy model, the concept of a green economy or bioeconomy is also considered. Still, in this respect, a discussion at a high level generally prevails, both on politicians, science, and business (51). For this reason, providing as much real data as possible on the environmental impact of the production of various goods, including construction products, is essential, not only due to the constantly raised doubts about the circular economy model (52). Finding a balance between two contradictory approaches: productivity and sustainability lead to two strategies - an innovation-based economy and a circular economy (53). Contemporary analysis of the evolution and current challenges in consumption and production based on the sustainable use of natural resources is an essential element driving the development of civilization (54).

Recognizing the need to assess and verify the constancy of performance in the environmental dimension, in this paper, we evaluated the impact of cement content in adhesives used in ETICS in terms of environmental impact. Environmental impact assessment is a necessary, innovative aspect of construction development (55), also in the context of a scientific discipline that simultaneously solves technical and social problems (56).

When determining the influence of cement, which is a component of adhesives used in ETICS, in terms of environmental impact, we also pay attention to the importance of other essential characteristics of the product, including the possible disposal of the product. The analysis presented in this paper covers four environmental indicators, namely the global warming potential [GWP], the acidification potential of soil and water [AP], the eutrophication potential

formułowanymi wątpliwościami wobec modelu gospodarki obiegu zamkniętego (52). Znalezienie równowagi pomiędzy dwoma pozornie sprzecznymi podejściami: produktywności i zrównoważonego rozwój prowadzi do dwóch strategii – odpowiednio gospodarki opartej na innowacji i gospodarki obiegu zamkniętego (53). Współczesne analizy ewolucji oraz bieżących wyzwań w zakresie konsumpcji i produkcji opartej na zrównoważonym wykorzystaniu zasobów naturalnych są ważnym elementem napędzającym rozwój cywilizacyjny (54).

Dostrzegając konieczność oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych w wymiarze środowiskowym w niniejszej pracy podaliśmy ocenie wpływ zawartości cementu w zaprawach klejących używanych w systemach izolacji cieplnej [ETICS] w aspekcie oddziaływania środowiskowego. Ocena oddziaływania środowiskowego to niezbędny, innowacyjny aspekt rozwoju budownictwa (55), także jako dyscypliny naukowej, która rozwiązuje równocześnie problemy techniczne i społeczne (56).

Wyznaczając wpływ cementu, stanowiącego składnik zapraw klejących stosowanych w ETICS, w zakresie oddziaływania na środowisko jednocześnie zwracamy uwagę na wagę pozostałych zasadniczych charakterystyk wyrobu, w tym także ewentualną utylizację wyrobu. Analiza prezentowana w niniejszej pracy dotyczy czterech wskaźników środowiskowych, a mianowicie globalnego współczynnika ocieplenia [GWP], potencjału zakwaszenia gleby i wody [AP], potencjału eutrofizacji [EP] oraz potencjału tworzenia ozonu troposferycznego [POCP] siedmiu cementowych zapraw klejących będących elementami ETICS.

Pomimo tego, że ETICS jest najpowszechniej stosowanym rozwiązaniem poprawiającym efektywność energetyczną budynków, zaś oferowane przez różnych producentów ETICS były przez lata przedmiotem tysięcy procesów oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, w następstwie których jednostki oceny technicznej wydały europejskie i krajowe oceny techniczne, to jednak kwestie oddziaływania środowiskowego nie są priorytetowym zagadnieniem zarówno w środowisku producentów, jak i w środowisku naukowców (57).

2. Materiały i metody

Ocenę oddziaływania środowiskowego siedmiu cementowych zapraw klejących stosowanych w ETICS przeprowadzono wykorzystując metodę oceny cyklu życia [LCA]. Ocenę LCA przeprowadzono zgodnie z zasadami opisanymi w dokumencie ITB PCR A (58) i wymaganiami normy EN 15804 (15). Weryfikację deklaracji środowiskowej III typu przeprowadzono zgodnie z normą ISO 14025 (59). Do analizy wykorzystano dane z dwóch deklaracji środowiskowych III typu ETICS zweryfikowane przez niezależnych ekspertów (60, 61). Analiza LCA obejmowała fazę produkcyjną wyrobu, tj. moduły A1-A3, czyli od wydobycia surowców, poprzez ich transport do zakładu i wytworzenie wyrobu, tzw. „od kołyski do bram zakładu”. Co ważne obie deklaracje będące podstawą niniejszej analizy zostały opracowane na podstawie rzeczywistych danych

[EP], and the formation of tropospheric ozone potential [POCP] of seven cementitious adhesives that are components of ETICS.

Although ETICS is the most widely used solution for improving the energy efficiency of buildings and has been the subject of thousands of AVCP over the years, as a result of which Technical Assessment Bodies have issued European, and National Technical Assessments, the issues of impact environmental issues are not a priority both in the producers and in the scientific communities (57).

2. Materials i methods

The environmental impact assessment of the seven cementitious adhesives used in ETICS was carried out using the Life Cycle Assessment [LCA] method. The LCA assessment was performed following the principles described in the ITB PCR A (58) document and the requirements of EN 15804 (15). EPD was verified following ISO 14025 (59). The analysis used data from two ETICS EPDs verified by independent experts (60, 61). The study covered the product stage, i.e., modules A1-A3 from raw material extraction and their transport to the factory's production process, called 'cradle-to-gate'. Notably, both declarations underlying this analysis were developed based on real production data collected throughout the whole year and related to five production locations: Bydgoszcz, Dąbrowa Górnicza, Piotrków Trybunalski, Suwałki, and Zgierz. The production volume of ETICS components, including cement adhesives that are components of ETICS, described in ITB-AT-15-9090/2016 and ITB-AT-15-2930/2016 (62, 63), allowed for the production of more than 10 million square meters of ETICS. It is worth adding that the European ETICS market, together with Russia, is estimated at approximately 332.0 million m² (64).

The environmental assessment of ETICS refers to the functional unit of the product, which is 1 m² of insulation, taking into account the thickness of the thermal insulation material, made with the use of ETICS components described in ITB-AT-15-9090/2016, respectively, for a system with expanded polystyrene [EPS] boards as a material thermal insulation and ITB-AT-15-2930 / 2016 for a system with mineral wool boards [MW]. In the case of cement-based adhesives, the functional unit is 1 kg of the product. When assessing the environmental impact of adhesives or their ingredient, Portland cement, appropriate calculations were made in the ETICS, taking into account the consumption of adhesives per 1 m² of insulation.

The impacts and consumption of raw materials for a given production location and the entire production in all five of the sites mentioned above in Poland were assigned to representative products by applying the principle of mass allocation, i.e., weighted average masses of the products in question.

The environmental data on raw materials used in the analysis come from verified sources, such as Ecoinvent, Plastic-Europe, ITB-data, SPC, Cembureau, and selected EPDs.

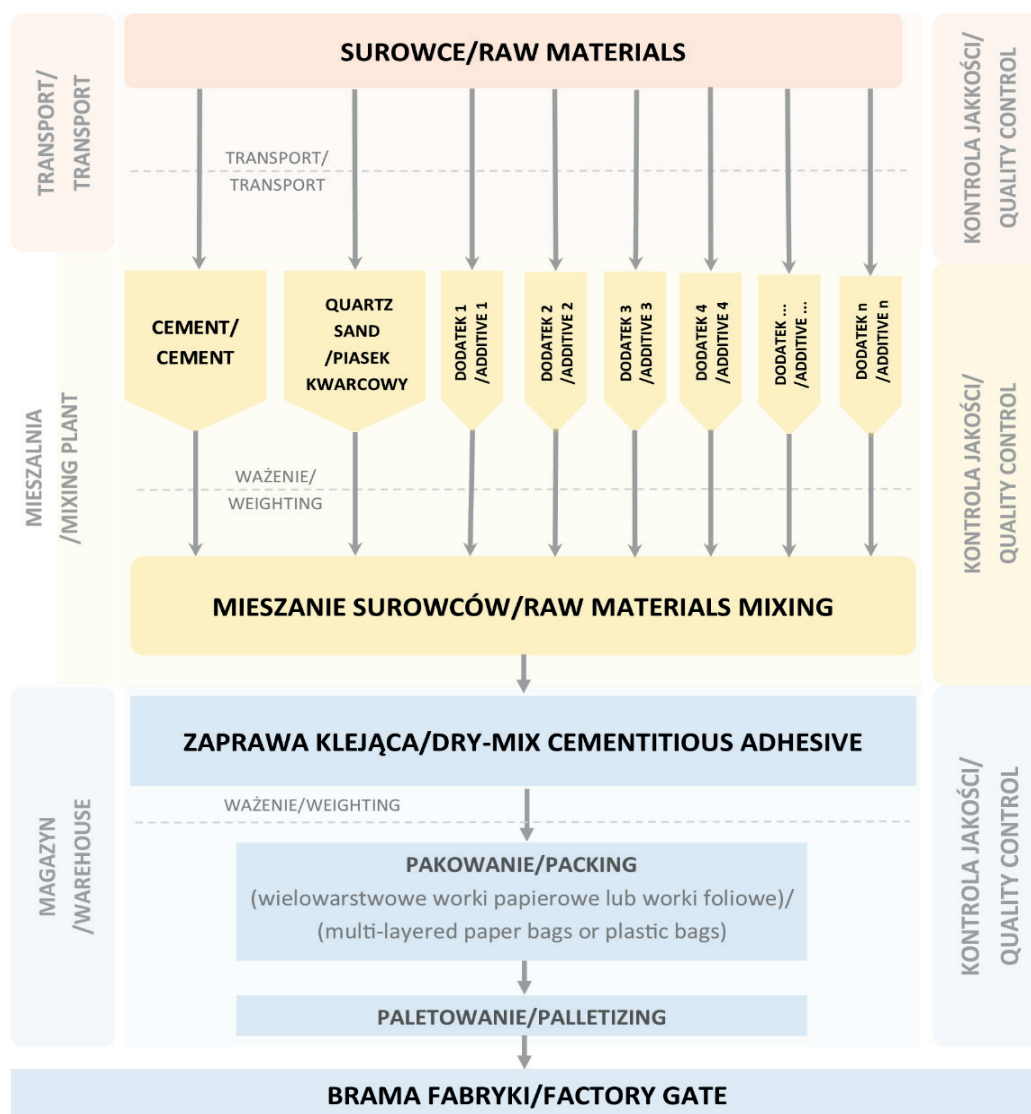
Figure 1 shows the production process of cementitious adhesives that are components of ETICS. All ingredients of cementitious

produkcyjnych zebranych w okresie całego roku i odnosiły się do pięciu lokalizacji produkcyjnych (Bydgoszcz, Dąbrowa Górnicza, Piotrków Trybunalski, Suwałki i Zgierz), zaś wielkość produkcji komponentów ETICS, w tym cementowych zapraw klejących będących elementami ETICS opisanych w ITB-AT-15-9090/2016 i ITB-AT-15-2930/2016 (62, 63) pozwalała na wykonanie ponad 10 milionów metrów kwadratowych ETICS. W tym miejscu warto dodać, że europejski rynek ETICS wraz z Rosją, szacowany jest na około 332,0 mln m² (64).

Ocena środowiskowa ETICS odnosi się do jednostki funkcjonalnej wyrobu jaką jest 1 m² ocieplenia, z uwzględnieniem grubości materiału termoizolacyjnego, wykonanego przy użyciu komponentów ETICS opisanych odpowiednio w ITB-AT-15-9090/2016 dla układu z płytami z ekspandowanego polistyrenu [EPS] jako materiałem termoizolacyjnym oraz ITB-AT-15-2930/2016 dla układu z płytami z wełny mineralnej [MW]. W przypadku cementowych zapraw klejących jednostką funkcjonalną jest 1 kg wyrobu. W wypadku oceny oddziaływania środowiskowego zapraw klejących lub ich składnika jakim jest cement portlandzki w ETICS

adhesives are automatically dosed, mixed, and packaged as finished products. Before being sent to the warehouse, the product is subject to acceptance quality control following the list of tests specified in ITB-AT-15-9090/2016 and ITB-AT-15-2930/2016, which are the basis for the assessment and verification of the constancy of performance, which is necessary to introduce the construction product for trading (65).

ETICS is currently the most widely used material and technical solution to increase the energy efficiency of buildings in the EU (57). ETICS is used both in newly erected buildings and in renovated buildings. ETICS was used for the first time for the thermal modernization of a residential building in 1959 in Berlin (57). Over sixty years of use of ETICS has clearly shown that it is a good solution in various climatic conditions. The factors that may affect the deterioration of the thermal insulation properties of ETICS are known (64, 66-71). Manufacturers are constantly developing the offered ETICS to meet customer expectations and changing technical and legal requirements (57). Despite sixty years of widespread use of ETICS in EU countries, no European standard has



Rys. 1. Proces produkcji cementowych zapraw klejących będących składnikami ETICS.

Fig. 1. The production process of cementitious adhesives as components of ETICS.

dokonano stosownych przeliczeń uwzględniając zużycie zapraw na 1 m² ocieplenia.

Oddziaływania i zużycie surowców dla danej lokalizacji produkcyjnej i całej produkcji we wszystkich pięciu wymienionych wyżej miejscach w Polsce, zostały przyporządkowane do reprezentatywnych wyrobów poprzez zastosowanie zasady alokacji masowej, tj. średnich ważonych masy danych wyrobów.

Użyte w analizie dane środowiskowe dotyczące surowców pochodzą ze zweryfikowanych źródeł, takich jak: Ecoinvent, Plastic-Europe, ITB-data, SPC, Cembureau oraz wybranych deklaracji środowiskowych III typu.

Na rysunku 1 schematycznie przedstawiono proces produkcyjny cementowych zapraw klejących będących komponentami ETICS. Wszystkie składniki cementowych zapraw klejących są automatycznie dozowane, mieszane i pakowane jako gotowe wyroby. Przed skierowaniem do magazynu wyrobu podlegają odbiorczej kontroli jakości zgodnie z wykazem badań wyspecyfikowanych w ITB-AT-15-9090/2016 i ITB-AT-15-2930/2016 będących podstawą oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, która jest niezbędna do wprowadzenia wyrobu budowlanego do obrotu (65).

Złożone zestawy izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi [ETICS] są obecnie najpowszechniej stosowanym rozwiązaniem materiałowo-technicznym służącym zwiększeniu efektywności energetycznej budynków w UE (57). Stosowane są zarówno w nowo wznoszonych budynkach, jak i w budynkach poddawanych renowacji. ETICS pierwszy raz zostało wykorzystane do termomodernizacji budynku mieszkalnego w 1959 roku w Berlinie (57). Ponad sześćdziesiąt lat stosowania ETICS jednoznacznie pokazało, że jest to dobre rozwiązanie w różnych warunkach klimatycznych, zaś czynniki mogące wpłynąć na pogorszenie właściwości termoizolacyjnych wykonanego ocieplenia są znane (64, 66-71). Producenci w sposób ciągły rozwijają oferowane ETICS, aby spełniły oczekiwania klientów i zmieniające się wymagania techniczne i prawne (57). Pomimo sześćdziesięciu lat powszechnego stosowania ETICS w krajach UE do chwili obecnej nie powstała norma europejska, która mogłaby być podstawą AVCP. Co prawda w wyniku trwających od kilkunastu lat prac normalizacyjnych w CEN/TC 88/WG 18 w styczniu 2022 roku prEN 17237 został skierowany do głosowania w narodowych komitetach normalizacyjnych (72), ale wydaje się mało prawdopodobne, aby został zaakceptowany. Producenci, aby wprowadzić ETICS do obrotu muszą poddać je AVCP, w następstwie, którego możliwe będzie, w systemie unijnym naniesienie, oznakowania CE lub w polskim systemie krajowym, znaku budowlanego B (13, 65). W procesie AVCP koniecznym dokumentem jest Europejska Ocena Techniczna [ETA] lub Krajowa Ocena Techniczna [KOT]. Podstawą uzyskania ETA są badania wykonane zgodnie z Europejskim Dokumentem Oceny EAD 040083-00-0404 (73) a w przypadku KOT badania wykonane zgodnie z właściwymi dla ETICS Warunkami Oceny Właściwości Użytkowych Wyrobu Budowlanego (74, 75).

Wykonanie ociepleń z zastosowaniem ETICS polega na umocowaniu do istniejących ścian, od zewnątrz, warstwowego układu,

been created to date that could be the basis for AVCP. Admittedly, due to standardization works carried out for several years in CEN/TC 88/WG 18 in January 2022, prEN 17237 was sent for voting in national standardization committees (72), but it seems unlikely to be accepted. To introduce ETICS on the market, manufacturers must subject them to AVCP. As a result, it will be possible to apply the CE marking in the EU system or the construction mark B in the Polish national system (13, 65). In the AVCP process, the necessary documentation is the European Technical Assessment [ETA] or the National Technical Assessment. The basis for obtaining the ETA are tests carried out following the European Assessment Document EAD 040083-00-0404 (73). In the Polish Technical Assessments, tests have to be carried out following the construction product performance assessment conditions on the national level (74, 75).

The implementation of thermal insulation with the use of ETICS consists in attaching to the existing walls, from the outside, a layered system, consisting of a thermal insulation product in the form of polystyrene boards [EPS] or mineral wool [MW] and a top [finishing] layer consisting of one or several on-site layers, one of which contains mesh. Due to the method of fixing the thermal insulation material to the substrate, the following are distinguished: bonded ETICS - the connection with the substrate is ensured by connecting with the use of adhesive [this system may include additional mechanical fastening] and mechanically bonded ETICS - the contact with the substrate is provided by mechanical fixing by anchors with additional bonding.

The ETICS consists of thermal insulation boards, adhesive intended for fixing them to the substrate, mechanical anchors, if used, adhesive intended for the implementation of the reinforced layer, fiberglass mesh, primer for priming the reinforced layer before performing plastering or priming plaster before applying a paint coating or impregnation, if the above-mentioned products are provided for in the technology, renders facade paint and/or impregnation if required by the technology. The layout of ETICS layers is shown in Fig. 2.

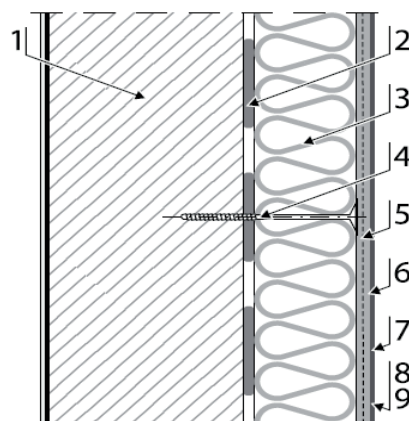
3. Results and analysis

Environmental impact indicators [7 indicators] and indicators for environmental aspects [2 indicators] for modules A1 to A3 [A1 - extraction, and production of raw materials, A2 - transport, A3 - production of mortars] related to the production of 1 kg of adhesive mortars that are components of ETICS have been the subject of a comparative study of cementitious adhesives used in ETICS, the results of which have already been published (76). The environmental impact of ETICS with various thermal insulation materials, such as EPS, MW, cork insulating boards [ICB], and extruded polystyrene boards [XPS], was assessed (57, 77, 78, 79). The environmental impact of the ETICS top layer (render) was also assessed (80).

In this paper, the analysis aimed at determining the cement share in the environmental impact of the adhesives used in ETICS was

składającego się z wyrobu do izolacji cieplnej w postaci płyt ze styropianu [EPS] lub wełny mineralnej [MW] i warstwy wierzchniej - wykończeniowej, składającej się z jednej lub kilku warstw wykonywanych na budowie, z których jedna zawiera siatkę zbrojącą. Ze względu na sposób mocowania materiału termoizolacyjnego do podłoża wyróżnia się: ETICS klejony – połączenie z podłożem jest zapewnione poprzez klejenie za pomocą zaprawy klejącej. Układ ten może obejmować dodatkowe mocowanie mechaniczne oraz ETICS mocowany mechanicznie – połączenie z podłożem jest zapewnione poprzez mocowanie mechaniczne, za pomocą łączników mechanicznych, z dodatkowym klejeniem.

ETICS składa się z płyt z materiału termoizolacyjnego, zaprawy klejącej przeznaczonej do ich mocowania do podłoża, łączników mechanicznych, jeżeli są stosowane, zaprawy lub masy klejącej, przeznaczonej do wykonywania warstwy zbrojonej, siatki zbrojącej z włókna szklanego, środka gruntującego do gruntowania warstwy zbrojonej przed wykonaniem wyprawy tynkarskiej lub do gruntowania wyprawy tynkarskiej przed nałożeniem powłoki malarskiej lub impregnatu, jeżeli wymienione wyroby przewidziane są w technologii wykonania danego zestawu, wyprawy tynkarskiej, farby elewacyjnej i/lub impregnatu jeśli technologia tego wymaga. Układ warstw ETICS został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Układ warstw ETICS: 1 – ściana [podłoże], 2 – zaprawa klejąca do przyklejenia materiału termoizolacyjnego do podłoża, 3 – materiał termoizolacyjny [EPS lub MW], 4 – łączniki mechaniczne [jeżeli technologia ich wymaga], 5 – warstwa zbrojona z zatopioną siatką zbrojącą, 6 – środek gruntujący [zależny od układu], 7 – wyprawa tynkarska, 8 – środek gruntujący [opcjonalnie], 9 – warstwa dekoracyjna – farba [opcjonalnie]

Fig. 2. The arrangement of ETICS layers: 1 – wall structure [substrate], 2 – adhesive - basic fixing, 3 – thermal insulation, 4 – anchor [if necessary, additional fixing], 5 – reinforcement layer [base coat with glass fiber mesh embedded], 6 – key coating [if needed], 7 – finishing coat [renders], 8 – primers [optional]

3. Wyniki badań i ich analiza

Wskaźniki oddziaływania środowiskowego [7 wskaźników] oraz wskaźniki dotyczące aspektów środowiskowych [2 wskaźniki] w zakresie modułów od A1 do A3 [A1 – wydobywanie i wytworzenie surowców, A2 – transport, A3 – produkcja zapraw] związanych z wyprodukowaniem 1 kg zapraw klejących będących komponentami ETICS były przedmiotem analizy porównawczej cementowych zapraw klejących stosowanych w ETICS, której wyniki zostały już wcześniej opublikowane (76). Ocenie w zakresie oddziaływania środowiskowego poddano ETICS z różnymi materiałami termoizolacyjnymi, takimi jak: EPS, MW, izolacyjnymi płytami korkowymi [ICB], płytami z ekstrudowanego polistyrenu [XPS] (57, 77, 78, 79). Także wpływ warstwy wierzchniej [wyprawy tynkarskiej] ETICS w zakresie oddziaływania środowiskowego był przedmiotem oceny (80).

W niniejszej pracy analizie, mającej na celu określenie udziału cementu w oddziaływaniu środowiskowym zapraw klejących stosowanych w ETICS, poddano cztery wskaźniki środowiskowe zapraw klejących będących komponentami ETICS. Analiza przedstawiona w niniejszej pracy dotyczy wcześniej nie badanego aspektu jakim jest wpływ cementu będącego jednym ze składników zapraw klejących na wartości wskaźników oddziaływania środowiskowego samych zapraw, jak i ETICS jako całości. Analizie poddano następujące wskaźniki oddziaływania środowiskowego:

- potencjał globalnego ocieplenia, [GWP];
- potencjał zakwaszenia gleby i wody, [AP];
- potencjał eutrofizacji, [EP];
- potencjał tworzenia ozonu troposferycznego, [POCP].

subjected to four environmental indicators of adhesives that are components of ETICS. The analysis presented in this paper concerns the aspect previously not studied, which is the influence of cement, which is one of the ingredients of adhesives, on the values of the environmental impact indicators of the adhesives themselves and the ETICS as a whole. The following environmental impact indicators were analyzed:

- global warming potential, [GWP];
- acidification potential of soil and water, [AP];
- eutrophication potential, [EP];
- formation potential of tropospheric ozone, [POCP].

The GWP index is used to quantify the impact of a given substance on the greenhouse effect and is the most frequently analyzed environmental impact indicator. GWP is now commonly converted over a hundred years, and for CO₂ as the reference gas, the GWP is one over 100 years. The AP indicator informs about the acidification of soil and water due to the emission of acids, which deposit in soils and surface waters. AP expressed as SO₂ equivalent refers to the emissions of SO₂, NO_x, HCl, NH₃, and HF and is the second, after GWP, in the order of analyzes published in the literature, the environmental impact indicator (81). Environmental acidification is one of the factors influencing climate change, both locally and globally. Another of the analyzed environmental impact indicators, EP, quantifies the effect of the accumulation of phosphorus and nitrogen compounds (biogenic elements) in water. In the initial phase of the eutrophication process, favorable phenomena occur in water reservoirs, but many undesirable consequences of increasing biogenic elements are observed after exceeding a specific limit. The last analyzed index POCP determines volatile organic

Wskaźnik GWP służy do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany i jest najczęściej analizowanym wskaźnikiem oddziaływania środowiskowego. GWP jest obecnie powszechnie przeliczany dla okresu czasu wynoszącego sto lat. Dla CO₂ jako gazu referencyjnego GWP wynosi 1 w okresie 100 lat. Wskaźnik AP informuje o zakwaszeniu gleby i wody w wyniku emisji kwasów do atmosfery, które następnie osadzone są w glebach i wodach powierzchniowych. AP wyrażony jako ekwiwalent SO₂ odnosi się do emisji SO₂, NO_x, HCl, NH₃ oraz HF i jest drugim, po GWP, w kolejności pod względem analiz opublikowanych w literaturze wskaźnikiem oddziaływania środowiskowego (81). Zakwaszenie środowiska jest jednym z czynników wpływających na zmiany klimatu, tak w wymiarze lokalnym, jak i globalnym. Kolejny z analizowanych wskaźników oddziaływania środowiskowego EP ilościowo określa wpływ kumulacji związków fosforu i azotu [pierwiastków biogennych] w wodzie. W początkowej fazie procesu eutrofizacji następują korzystne zjawiska w zbiornikach wodnych, ale po przekroczeniu pewnej granicy obserwuje się wiele niepożądanych następstw zwiększenia zawartości pierwiastków biogennych. Ostatni z analizowanych wskaźników, POCP, określa względną zdolność lotnych związków organicznych do tworzenia ozonu troposferycznego. Koncepcja wskaźnika POCP jest powszechnie stosowanym podejściem do określenia względnego znaczenia lotnych związków organicznych do produkcji ozonu w najniższej warstwie atmosfery.

W tabelicy 1 podano wartości wskaźników oddziaływania środowiskowego dla 1 kg cementowych zapraw klejących, będących komponentami ETICS, analizowanych w niniejszym artykule.

Tablica 1 / Table 1

CHARAKTERYSTYKA ŚRODOWISKOWA 1 KG CEMENTOWYCH ZAPRAW KLEJĄCYCH BĘDĄCYCH KOMPONENTAMI ETICS OPISANYCH W ITB-AT-15-9090/2016 [ETICS ZE STYROPIANEM] ORAZ ITB-AT-15-2930/2016 [ETICS Z WEŁNĄ MINERALNĄ]

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF 1 KG OF CEMENTITIOUS ADHESIVES COMPONENTS OF ETICS DESCRIBED IN ITB-AT-15-9090/2016 [ETICS WITH EPS] AND ITB-AT-15-2930/2016 [ETICS WITH MW]

Numer próbki Sample number	Rodzaj zaprawy Type of adhesive mortar	Zawartość CEM I w zaprawie, % Content of CEM I in the adhesive, %	Wskaźnik środowiskowy, 1 kg wyrobu Environmental impact: 1 kg of product			
			GWP, kg CO ₂ eq.	AP, kg SO ₂ eq.	EP, kg PO ₄ ³⁻ eq.	POCP, kg Ethene eq.
1	Zaprawa klejąca do mocowania EPS Adhesive for bonding EPS	30	3.09 x 10 ⁻¹	8.70 x 10 ⁻⁴	2.27 x 10 ⁻⁴	6.57 x 10 ⁻⁵
2	Zaprawa klejąca do mocowania EPS Adhesive for bonding EPS	25	3.34 x 10 ⁻¹	1.01 x 10 ⁻³	1.74 x 10 ⁻⁴	6.79 x 10 ⁻⁵
3	Zaprawa klejąca do warstwy zbrojonej – układ z EPS Adhesive for base coat EPS	29	2.87 x 10 ⁻¹	9.10 x 10 ⁻⁴	1.78 x 10 ⁻⁴	6.89 x 10 ⁻⁵
4	Zaprawa klejąca do warstwy zbrojonej – układ z EPS Adhesive for base coat EPS	25	3.32 x 10 ⁻¹	1.17 x 10 ⁻³	2.15 x 10 ⁻⁴	1.08 x 10 ⁻⁴
5	Zaprawa klejąca do warstwy zbrojonej – układ z EPS Adhesive for base coat EPS	20	3.55 x 10 ⁻¹	1.33 x 10 ⁻³	2.04 x 10 ⁻⁴	9.00 x 10 ⁻⁵
6	Zaprawa klejąca do mocowania MW Adhesive for bonding MW	26	3.57 x 10 ⁻¹	1.06 x 10 ⁻³	1.41 x 10 ⁻⁴	8.38 x 10 ⁻⁵
7	Zaprawa klejąca do warstwy zbrojonej – układ z MW Adhesive for base coat MW	30	4.12 x 10 ⁻¹	1.28 x 10 ⁻³	1.96 x 10 ⁻⁴	9.40 x 10 ⁻⁵

compounds' relative ability to form tropospheric ozone. The concept of the POCP index is a widely used approach to determining the relative importance of VOCs in the production of ozone in the lowest layer of the atmosphere.

Table 1 shows the values of the environmental impact factors for 1 kg of cementitious adhesives, which are components of the ETICS, analyzed in this article.

Figure 3 shows the share of cement in the values of the analyzed environmental impact indicators of the tested seven adhesives that are components of ETICS [samples 1 to 7]. The figure also shows the influence of cement on the values of the analyzed GWP, AP, EP, and POCP indicators of three different ETICS.

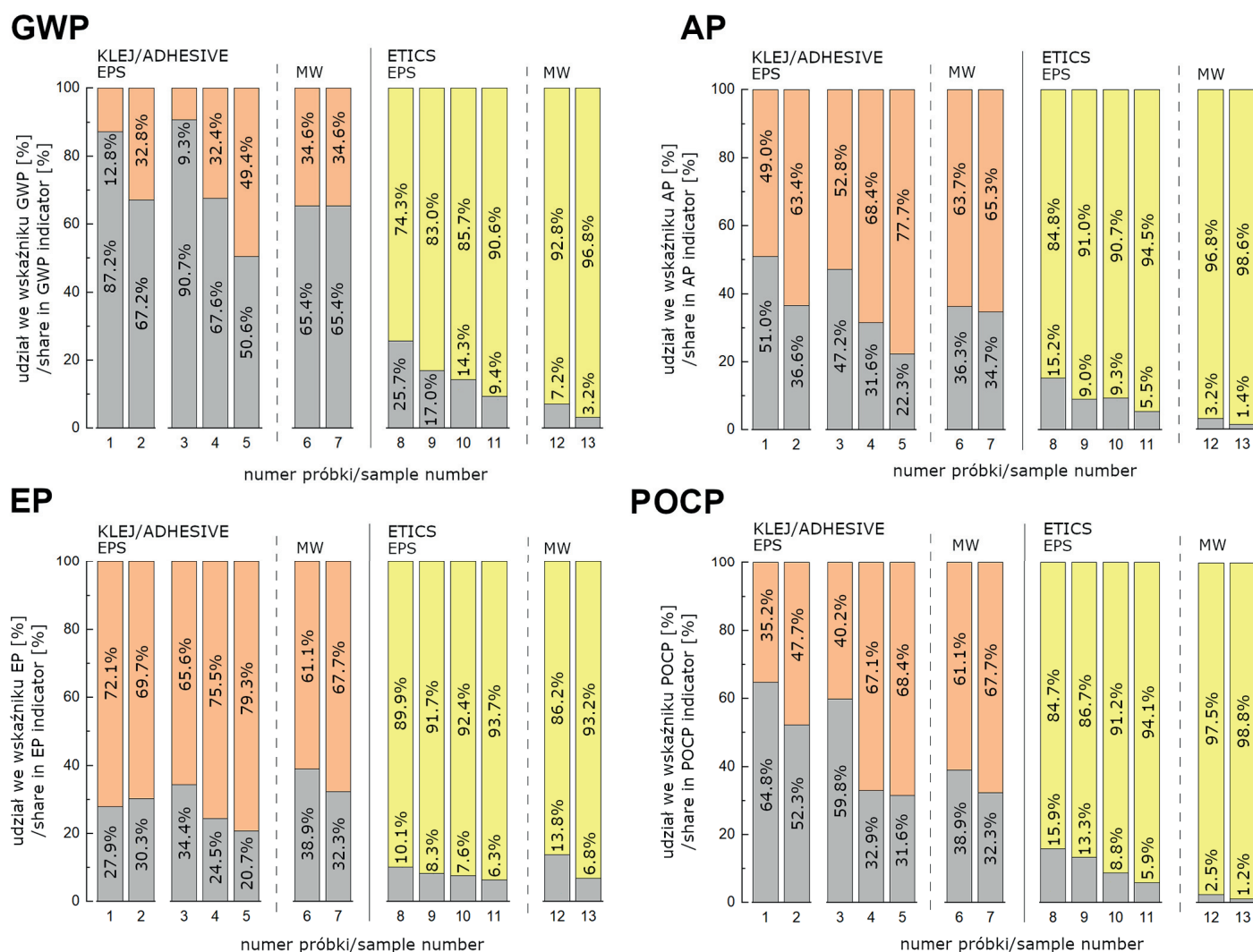
The first of the analyzed ETICS with EPS as a thermal insulation material [samples marked with symbols 8 and 10] contained an adhesive for fixing EPS boards marked as no. 1 [with 30% CEM I content, i.e. higher CEM I content than the second of the analyzed adhesive with for the same purpose, i.e., adhesive no. 2] and the adhesive for glazing the fiber mesh no. 3 [with the maximum cement content of 29%] of the three analyzed adhesives intended for embedding the glass fiber mesh [mortars 3, 4, and 5]. The second of the analyzed ETICS with EPS [samples no. 9 and 11] contained adhesives with the lowest cement contents, i.e., adhesive for fixing EPS boards no. 2 [CEM I content - 25%] and adhesive for the reinforcement layer no. 5 [20% CEM I]. In the case of ETICS with MW, only one system - samples no. 12 and 13, could be analyzed, containing adhesive no. 6 [26% CEM I] for fixing MW plates and an adhesive for making the reinforced layer no. 7 [CEM I content - 30%]. For each tested ETICS, two

Na rysunku 3 przedstawiono udział cementu w wartościach analizowanych wskaźników oddziaływania środowiskowego badanych siedmiu zapraw klejących będących komponentami ETICS - próbki od 1 do 7. Na rysunku tym przedstawiono także wpływ cementu na wartości analizowanych wskaźników GWP, AP, EP i POCP trzech różnych ETICS.

Pierwszy z analizowanych układów ETICS z EPS jako materiałem termoizolacyjnym [próbki oznaczone symbolami 8 i 10] zawierał zaprawę klejącą do mocowania płyt z EPS oznaczoną jako nr 1, o 30% zawartości CEM I, tj. wyższej zawartości CEM I niż druga z analizowanych zapraw o takim samym przeznaczeniu, tj. zaprawa nr 2 oraz zaprawę do wykonania warstwy zbrojonej nr 3,

thicknesses of the thermal insulation material were considered, i.e., 10 cm [samples no. 8 and 9 for EPS and sample no. 12 for MW] and 25 cm [samples 10 and 11 for EPS and sample no. 13 for MW]. The results of the analysis of the influence of CEM I cement on the value of the environmental impact indicators GWP, AP, EP, and POCP for the tested ETICS are presented together with the previously mentioned shares of CEM I cement on the value of the environmental impact indicators of the adhesives themselves, which are components of ETICS in Fig. 3.

Earlier analyzes have clearly shown that the type of thermal insulation material has a decisive impact on the values of most of the analyzed environmental impact indicators (57, 77, 79). Among the



Rys. 3. Udział cementu oraz pozostałych składników zapraw klejących (próbki o numerach 1-7) w analizowanych wskaźnikach środowiskowych: A – GWP, B – AP, C – EP, D – POCP, zapraw klejących oraz udział cementu zawartego w zaprawach klejących oraz wszystkich pozostałych składników ETICS, (próbki 8-13) w analizowanych wskaźnikach środowiskowych: A – GWP, B – AP, C – EP, D – POCP dla ETICS. Numery próbek od 1 do 7 odpowiadają numerom zapraw klejących wymienionych w tabelicy 1. Próbką nr 8 to ETICS z EPS [10 cm] zawierający zaprawy 1 i 3. Próbką nr 9 to ETICS z EPS [10 cm] zawierający zaprawy 2 i 5. Próbką nr 10 to ETICS z EPS [25 cm] zawierający zaprawy 1 i 3. Próbką nr 11 to ETICS z EPS [25 cm] zawierający zaprawy 2 i 5. Próbką nr 12 to ETICS z MW [10 cm] zawierający zaprawy 6 i 7. Próbką nr 13 to ETICS z MW [25 cm] zawierający zaprawy 6 i 7.

Fig. 3. Share of cement and other components of adhesives [samples no. 1-7] in the analysed environmental indicators: A – GWP, B – AP, C – EP, D – POCP, of adhesives and the share of cement contained in adhesives and all other components of the ETICS - samples 8-13, in the analysed environmental indicators A – GWP, B – AP, C – EP, D – POCP of the ETICS. Sample numbers from 1 to 7 correspond to the numbers of adhesives listed in Table 1. Sample no. 8 is EPS ETICS [10 cm] containing adhesives 1 and 3. Sample no. 9 is EPS ETICS [10 cm] containing adhesives 2 and 5. Sample no. 10 is EPS ETICS [25 cm] containing adhesives 1 and 3. Sample no. 11 is EPS ETICS [25 cm] containing adhesives 2 and 5. Sample no. 12 is MW ETICS [10 cm] containing adhesives 6 and 7. Sample no. 13 is ETICS with MW [25 cm] containing adhesives 6 and 7.

o najwyższej zawartości cementu wynoszącej 29% spośród trzech analizowanych zapraw przeznaczonych do zatapiania siatki z włókna szklanego [zaprawy 3, 4 i 5]. Drugi z analizowanych układów ETICS z EPS [próbki nr 9 i 11] zawierał zaprawy o najniższych zawartościach cementu, tj. zaprawę do mocowania płyt EPS nr 2 o zawartość CEM I - 25% i zaprawę do wykonania warstwy zbrojonej nr 5 o 20% CEM I w składzie wyrobu. W przypadku ETICS z MW możliwy do analizy był tylko jeden układ [próbki nr 12 i 13] zawierający zaprawę do mocowania płyt z MW nr 6 [26% CEM I] oraz zaprawę klejącą do wykonania warstwy zbrojonej nr 7 [zawartość CEM I – 30%]. Dla każdego z badanych układów ETICS rozpatrywano dwie grubości materiału termoizolacyjnego, tj. 10 cm [próbki nr 8 i 9 dla EPS i próbka nr 12 dla MW] oraz 25 cm [próbki 10 i 11 dla EPS i próbka nr 13 dla MW]. Wyniki analizy wpływu cementu CEM I na wartość wskaźników oddziaływania środowiskowego GWP, AP, EP oraz POCP dla badanych układów zostały przedstawione wraz z wcześniej wspomnianymi udziałami cementu CEM I na wartość wskaźników oddziaływania środowiskowego samych zapraw klejących będących komponentami ETICS na rysunku 3.

Wcześniejsze analizy jednoznacznie pokazały, że rodzaj materiału termoizolacyjnego ma decydujący wpływ na wartości większości analizowanych wskaźników oddziaływania środowiskowego (57, 77, 79). Spośród dwóch najpowszechniej wykorzystywanych w ETICS materiałów termoizolacyjnych, tj. EPS i MW, ten drugi materiał charakteryzuje znacznie większe negatywne obciążenie środowiska związane z wytworzeniem ETICS (57, 77, 79). Wpływ pozostałych komponentów ETICS na środowisko jest mniejszy niż materiałów termoizolacyjnych (76, 77, 79). Jednak ze względu na konieczność kompleksowego podejścia do oddziaływań środowiskowych wyrobów budowlanych udział wszystkich składników ETICS winien być przedmiotem oceny.

Spośród analizowanych zapraw klejących przeznaczonych do ETICS z EPS wpływ cementu na wartości oddziaływania środowiskowego dla wskaźników GWP, AP oraz POCP jest większy dla zapraw klejących przeznaczonych do przyklejania płyt EPS do podłoża niż zapraw przeznaczonych do wykonania warstwy zbrojonej. W przypadku wskaźnika EP wpływ zawartości cementu jest na podobnym poziomie w obu rodzajach zapraw klejących. W przypadku zapraw klejących stosowanych w ETICS z MW pomiędzy zaprawą przeznaczoną do przyklejania płyty MW do podłoża a zaprawą przeznaczoną do zatopienia siatki z włókna szklanego obserwuje się nieznaczne różnice wynikające z różnic w zawartości cementu w zaprawie.

Analizując wpływ cementu na wartości oddziaływania środowiskowego ETICS należy stwierdzić, że;

1. w przypadku wskaźnika GWP udział cementu w tym wskaźniku w układach ETICS z EPS o grubości 10 cm waha się od 17,0% do 25,7%, podczas gdy przy zastosowaniu EPS o grubości 25 cm wynosi od 9,4% do 14,3%,
2. w układach ETICS z MW, a więc materiałem termoizolacyjnym o większym obciążeniu dla środowiska w zakresie GWP niż EPS, udział cementu w wartości GWP układu ETICS wynosi

two most commonly used thermal insulation materials in ETICS, i.e., EPS and MW, the latter material is characterized by a much more significant negative environmental burden related to the production of ETICS (57, 77, 79). The environmental impact of other ETICS components is lower than that of thermal insulation materials (76, 77, 79). However, due to the need for a comprehensive approach to environmental impacts of construction products, the share of all components of the ETICS should be assessed.

Among the analyzed adhesives for ETICS with EPS, the influence of cement on the environmental impact values for the GWP, AP, and POCP indexes is more significant for the adhesives intended for bonding EPS boards to the substrate than for adhesives designed for the execution of the reinforced layer. In the EP index case, cement content's influence is similar in both types of adhesives. In the case of adhesives used in ETICS with MW, there are slight differences between the adhesive for bonding the MW board to the substrate and the adhesive for embedding the glass fiber mesh due to the presence of cement in the product.

When analyzing the influence of cement on the values of the environmental impact of ETICS, it should be stated that:

1. in the case of the GWP index, the share of cement in this index in the ETICS with 10 cm thick EPS ranges from 17.0% to 25.7%, while when using EPS with a thickness of 25 cm, it ranges from 9.4% to 14.3%, in ETICS systems with MW, i.e., a thermal insulation material with a higher environmental load in terms of GWP than EPS, the share of cement in the GWP value of the ETICS system is 7.2% for an MW thickness of 10 cm and only 3.2% for MW of 25 cm thick,
2. for the AP index, the cement share in the value of this index for different tested ETICS with EPS ranges from 9.0% to 15.2% for 10 cm thick EPS and from 5.5% to 9.3% for 25 cm EPS boards. Similarly to the GWP index, the share of cement in the AP index value for ETICS with MW is much lower than for systems with EPS as thermal insulation material and is only 1.4% for MW with a thickness of 25 cm and 3.2% for MW with a thickness of 10 cm,
3. the share of the influence coming from cement on the EP value of the tested ETICS with EPS and ETICS with MW is similar and amounts from 6.3% for ETICS with EPS 25 cm thick to 13.6% for ETICS with MW with a thickness of 10 cm,
4. for the POCP index, the influence of cement on the value of this index in EPS ETICS systems is more significant than in MW ETICS and ranges from 5.9% for 25 cm EPS ETICS to 15.9% for EPS ETICS with a thickness of 10 cm. In ETICS with MW, only 1.2% of the index value corresponds to cement for ETICS with 25 cm thickness of MW boards, while in the case of using panels with a thickness of 10 cm, cement is responsible for 2.5% of the POCP index value.

4. Conclusions

Assessing the environmental impact of building materials is essential in many dimensions. So far, it is not obligatory in terms of envi-

7,2% dla grubości MW wynoszącej 10 cm oraz tylko 3,2% dla MW o grubości 25 cm, w przypadku wskaźnika AP udział cementu w wartości tego wskaźnika dla ETICS z EPS wynosi w zależności od badanego układu od 9,0% do 15,2% dla EPS o grubości 10 cm oraz od 5,5% do 9,3% dla grubości 25 cm płyt EPS. Analogicznie jak w przypadku wskaźnika GWP udział cementu w wartości wskaźnika AP dla ETICS z MW jest znacznie mniejszy niż dla układów z EPS jako materiałem termoizolacyjnym i wynosi jedynie 1,4% dla MW o grubości 25 cm i 3,2 % dla MW o grubości 10 cm,

3. udział oddziaływania pochodzącego z cementu na wartość EP badanych układów ETICS z EPS i ETICS z MW jest zbliżony i wynosi od 6,3% dla ETICS z EPS o grubości 25 cm do 13,6% dla ETICS z MW o grubości 10 cm,
4. w przypadku wskaźnika POCP wpływ cementu na wartość tego wskaźnika w układach ETICS z EPS jest wyższy niż w ETICS z MW i wynosi od 5,9% dla ETICS z EPS o grubości 25 cm do 15,9% dla ETICS z EPS o grubości 10 cm. W układach ETICS z MW jedynie za 1,2% wartości wskaźnika odpowiada cement dla ETICS z 25 cm grubości płytami MW, zaś w przypadku zastosowania płyt o grubości 10 cm cement odpowiedzialny jest za 2,5% wartości wskaźnika POCP.

4. Wnioski

Ocena oddziaływania środowiskowego materiałów budowlanych jest istotna w wielu wymiarach. Dotychczas nie jest ona obowiązkowa w aspekcie oddziaływania na środowisko w procesie AVCP wyrobów budowlanych. Efektem tego jest jedynie dwanaście tysięcy zweryfikowanych deklaracji środowiskowych III typu dla wyrobów budowlanych (17). Ponad dekada funkcjonowania deklaracji środowiskowych III typu pokazała wiele niedoskonałości związanych z oceną LCA wyrobów. W przypadku wyrobów budowlanych trudności w oszacowaniu oddziaływania środowiskowego spotęgowane są trudnościami w zgromadzeniu wiarygodnych danych po stronie producentów, subiektywną interpretacją danych wejściowych przez operatorów programów EPD pomimo stosowania tych samych zasad kategoryzacji wyrobów, wytycznych dotyczących metody LCA oraz zmiennością danych w czasie (18-20, 57, 82-84). W wielu przypadkach tempo zmian procesów produkcyjnych wyrobu jest zbyt szybkie w stosunku do prowadzonej co pięć lat oceny oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych (84). Pomimo trudności jakich doświadczają uczestnicy procesu oceny LCA wyrobów budowlanych ważne jest, aby kolejne wyroby były oceniane w zakresie oddziaływania na środowisko, zaś wyniki tych ocen publikowane w postaci EPD. Ważne jest to z wielu powodów, z których wymienić warto to, że wytworzenie materiałów budowlanych było w 2017 roku odpowiedzialne za 11% globalnej emisji CO₂ (9), co oznacza, że poprzez świadomy wybór materiałów budowlanych zmniejsza się w zauważalnym wymiarze negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne. Oszacowanie oddziaływania środowiskowego i w następstwie tego procesu opublikowanie EPD to ważne działanie edukacyjne, ale też działanie ukierunkowane na wdrożenie innowacji, w której

environmental impact in the AVCP process of construction products. It results only in twelve thousand verified EPDs for construction products (17). Over a decade of EPDs has shown many imperfections related to the LCA products assessment. In the case of construction products, difficulties in estimating the environmental impact are exacerbated by problems in collecting reliable data on the part of manufacturers, subjective interpretation of input data by operators of EPD programs despite the application of the same product categorization principles, requirements regarding LCA method and the variability of data over time (18-20, 57, 82-84). In many cases, the pace of changes in product manufacturing processes is too fast in relation to the five-year environmental impact assessment of construction products (84). Despite the difficulties experienced by participants in the LCA assessment process of construction products, subsequent products must be assessed in terms of environmental impact, and the results of these assessments are published in the form of an EPD. It is crucial for many reasons, including that the production of construction products was responsible for 11% of global CO₂ emissions in 2017 (9). The conscious choice of construction products can reduce their negative impact on the environment. Environmental impact estimation and the subsequent publication of the EPD is an essential educational activity and a movement aimed at innovation implementation, in which manufacturers and other commercial and non-commercial entities participate in partnership (85). Both innovations and eco-innovations are an essential determinant of the typology of individual countries, which is also crucial from the point of view of the paradigm of sustainable development - a vital binder of the functioning of the EU economies in the coming years (3, 86). EPD is a component of eco-innovation that should be treated as a challenge for science (55, 87). The results of environmental impact assessment projects should be published in prestigious international journals (88).

In the light of the above, by publishing in this article data on the influence of cement content on the value of selected environmental impact indicators of adhesives that are components of ETICS, we fill in the gaps in the tests. Results indicate a statistically significant production volume corresponding to approximately 10 million m² of external walls insulated with ETICS. It is also worth adding that ETICS, as a solution for better energy efficiency of buildings, is an integral part of the transformation of the EU into a climate-neutral continent by 2050 (89). Sharing the research results on estimating the environmental impact of construction products is essential both at the local and global levels (33, 86). It is also crucial because of the significant differences in many previously published environmental declarations (18-20). Because the subject of this article is adhesives, components of ETICS containing Portland cement, it is worth mentioning that the analysis of data in 65 EPDs (valid on January 1, 2020) for cement produced in Europe revealed significant differences between the indicators. For the abiotic depletion potential indicator for non-fossil resources [ADP-elements], the difference between the lowest and the highest reported value of this indicator was 300,000% (90). Disseminating the research results on the environmental impact of construction products is also

partnersko współuczestniczą producenci oraz inne podmioty, zarówno komercyjne, jak i niekomercyjne (85). Tak innowacje jak i ekoinnowacje są ważnym wyznacznikiem typologii poszczególnych krajów, co jest istotne także z punktu widzenia samego paradygmatu zrównoważonego rozwoju – istotnego spoiwa funkcjonowania gospodarki krajów UE przez najbliższe lata (3, 86). EPD to część składowa ekoinnowacji, które należy traktować jako wyzwanie dla nauki (55, 87) i ważne jest, aby wyniki projektów mających za cel oszacowanie oddziaływania środowiskowego publikować w prestiżowych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (88).

W świetle powyższego publikując w niniejszym artykule dane na temat wpływu zawartości cementu na wartość wybranych wskaźników oddziaływania środowiskowego zapraw klejących będących komponentami ETICS uzupełniamy luki w badaniach. Co ważne przedstawione wyniki odnoszą się do istotnej statystycznie wielkości produkcji odpowiadającej około 10 mln m² ścian zewnętrznych ocieplonych ETICS. Warto też dodać, że ETICS, jako rozwiązanie zwiększające efektywność energetyczną budynków, jest integralną częścią transformacji UE w neutralny klimatycznie kontynent przed 2050 rokiem (89). Udostępnianie wyników prac dotyczących oszacowania wpływu wyrobów budowlanych na środowisko ważne jest zarówno na poziomie lokalnym, jak i globalnym (33, 86). Ważne jest także z powodu istotnych różnic jakie występują w wielu dotychczas opublikowanych deklaracjach środowiskowych III typu (18-20). Z racji tego, że przedmiotem niniejszego artykułu są zaprawy klejące będące komponentami ETICS zawierające w swoim składzie cement portlandzki warto wspomnieć, że analiza danych zawartych w 65 EPDs, ważnych w dniu 1 stycznia 2020 roku, dla cementów produkowanych w Europie ujawniła istotne różnice pomiędzy wskaźnikami – w skrajnym przypadku dla wskaźnika potencjału uszczuplenia zasobów abiotycznych w przypadku zasobów niekopalnych [ADP-pierwiastki] różnica pomiędzy najniższą a najwyższą zaraportowaną wartością tego wskaźnika wynosiła 300 000% (90). Upowszechnianie wyników badań oddziaływania środowiskowego wyrobów budowlanych jest także niezwykle ważne w aspekcie ciągłego wzmacniania roli procesów cyfryzacji w budownictwie (91) oraz prób wdrażania techniki sztucznej inteligencji do przewidywania oddziaływania na środowisko wyrobów budowlanych (92).

Wpływ cementu na wartość trzech z czterech analizowanych wskaźników oddziaływania środowiskowego: GWP, AP i POCP zapraw klejących będących składnikami ETICS w układach z płytami EPS jest wyższy dla zapraw przeznaczonych do przyklejenia materiału termoizolacyjnego do podłoża niż w przypadku zastosowania polegającego na wykonaniu warstwy zbrojonej. W ETICS z płytami MW nie zanotowano istotnych różnic w zakresie wpływu cementu na wartości analizowanych wskaźników oddziaływania środowiskowego pomiędzy zaprawą przeznaczoną do przyklejenia płyt MW do podłoża a zaprawą przeznaczoną do wykonania warstwy zbrojonej. Co oczywiste udział oddziaływania środowiskowego cementu w ETICS był niższy niż w samych zaprawach klejących. W przypadku wszystkich analizowanych wskaźników środowiskowych udział oddziaływania pochodzący z cementu był niższy dla ETICS z MW niż dla ETICS z EPS, co

extremely important for the continuous strengthening of digitization processes in construction (91) and attempts to implement artificial intelligence techniques to predict the environmental impact of construction products (92).

The effect of cement on the value of three of the four analyzed environmental impact indicators (GWP, AP, and POCP) of adhesives that are components of ETICS with EPS is higher for adhesives intended for bonding thermal insulation material to the substrate than in the case of the application consisting in making a reinforced layer. In ETICS with MW boards, no significant differences were observed in terms of the cement impact on the values of the analyzed environmental impact indicators between the mortar intended for bonding the MW boards to the substrate and the mortar designed for the execution of the reinforced layer. The share of the environmental impact of cement in ETICS was lower than in the adhesives themselves. For all analyzed environmental indicators, the percentage of the effect coming from cement was lower for ETICS with MW than for ETICS with EPS, resulting from a much higher environmental burden related to the production of MW boards. In the thermal insulation systems commonly used today with a thermal insulation material thickness of 25 cm, the share of the impact from Portland cement ranged from 1.2% to 14.3% for all the analyzed indicators.

The relatively small share of cement in the values of the environmental impact indicators of ETICS and significant savings in energy consumption and greenhouse gas emissions from buildings whose external walls have been insulated with the use of ETICS prompts reflection on the directions of research works. Recently published results of research aimed at replacing Portland cement in the composition of ETICS adhesives with calcium sulphoaluminate [CSA] cements, the production of which is associated with almost half the CO₂ emissions (93) on the one hand, represent an interesting approach to environmental protection. On the other hand, there are doubts from the perspective of the producer of the construction product, i.e., the ETICS responsible for AVCP. Whether in the case of a product with such significant advantages in preventing environmental degradation, one should not focus on the aspects related to the durability of the offered material and technical solution. From the manufacturer's perspective, holistic thinking about the construction product during his AVCP is also an essential element of activities for sustainable development. The awareness of the negative impact on the environment means both new challenges and opportunities for all participants in economic life. Disseminating the results of this work is also crucial due to the significant differences in the approach on the part of entrepreneurs and other organizations, including public benefit organizations, concerning the implementation of projects supporting the goals of sustainable development (30).

jest wynikiem znacznie wyższego obciążenia środowiska związanego z produkcją płyt MW. W powszechnie dzisiaj stosowanych układach ociepleniowych z grubością materiału termoizolacyjnego wynoszącą 25 cm udział oddziaływania pochodzącego od cementu portlandzkiego wynosił od 1,2% do 14,3% w przypadku wszystkich analizowanych wskaźników.

Relatywnie niewielki udział cementu w wartości wskaźników oddziaływania środowiskowego ETICS oraz istotne oszczędności w zużyciu energii i emisji gazów cieplarnianych z budynków, których ściany zewnętrzne zostały ocieplone z wykorzystaniem ETICS skłania do refleksji w zakresie kierunków prowadzonych prac badawczych. Publikowane ostatnio wyniki badań zmierzających do zastąpienia cementu portlandzkiego w składzie zapraw klejących będących komponentami ETICS przez cementy wapniowo siarczanoglinianowe [CSA], których produkcja wiąże się z prawie o połowę niższą emisją CO₂ (93) z jednej strony przedstawiają interesujące podejście do kwestii ochrony środowiska, z drugiej zaś strony z perspektywy producenta wyrobu budowlanego jakim jest ETICS odpowiedzialnego za AVCP rodzaj wątpliwości – czy w przypadku wyrobu o tak istotnych zaletach w zakresie przeciwdziałania degradacji środowiska nie należy jednak koncentrować się na aspektach związanych z trwałością oferowanego rozwiązania materiałowo-technicznego. Nie tylko z perspektywy producenta holistyczne myślenie o wyrobie budowlanym podczas jego AVCP jest ważnym elementem działania na rzecz zrównoważonego rozwoju, świadomość negatywnego oddziaływania na środowisko oznacza dla wszystkich uczestników życia gospodarczego zarówno nowe wyzwania, jak i możliwości. Upowszechnianie wyników niniejszej pracy jest istotne także w związku z istotnymi różnicami w charakterze podejścia ze strony przedsiębiorców i innych organizacji, w tym organizacji pożytku publicznego w związku z realizacją projektów wspierających cele zrównoważonego rozwoju (30).

Literatura / References

1. U Thant Sithu. Resolution no. 2398 – The problems of human environment. United Nations. 1969. <https://digitallibrary.un.org/record/657791> (accessed 15.12.2021)
2. European Commission, Action Climate. Brussels, Belgium. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_pl (accessed 15.12.2021).
3. European Commission. The European Green Deal. Brussels, Belgium, (2019).
4. European Academies Science Advisory Council. Decarbonisation of buildings: for climate, health and jobs. Halle, Germany, (2021). <https://easac.eu/publications/details/decarbonisation-of-buildings-for-climate-health-and-jobs/> (accessed 15.12.2021).
5. European Environment Agency. Trends and projections in Europe 2021. Copenhagen, Denmark, (2021). <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021> (accessed 15.12.2021).
6. A. Kyliili, P. A. Fokaides, Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review. *Sustain. Cities Society* **35**, 280-288 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.013>.

7. A. Andabaka, M.B. Sertić, Promoting sustainable development via public procurement: Is the European Union Leading by example?. In Proceedings of FEB Zagreb International Odyssey Conference on Economics and Business **2**(1), 721-739 (2020). Zagreb, Croatia.
8. X. Zhong, M. Hu, S. Deetman, B. Steubing, H. X. Lin, G. A. Hernandez, C. Harpprecht, Ch. Zhang, A. Tukker, P. Behrens, P. Global greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060. *Nature Commun.* **12**(1), 1-10 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26212-z>.
9. J. Anderson, A. Moncaster, Using an analysis of concrete and cement EPD: Verification, selection, assessment, benchmarking and target setting. *Acta Polytech.* **00**(0), 1-7, (0000). Accepted manuscript: <http://oro.open.ac.uk/81389/>.
10. T. Lützkendorf, The role of carbon metrics in supporting built-environment professionals. *Buildings Cities* **1**(1), 662-672 (2020). <http://doi.org/10.5334/bc.73>.
11. B. Huang, X. Gao, X. Xu, J. Song, Y. Geng, J. Sarkis, T. Fishman, H. Kua, J. Nakatani, A life cycle thinking framework to mitigate the environmental impact of building materials. *One Earth* **3**(5), 564-573 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.010>.
12. M. de Klijjn-Chevalerias, S. Javed, The Dutch approach for assessing and reducing environmental impacts of building materials. *Build. Environ.* **111**, 147-159 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.003>.
13. Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32011R0305> (accessed 15.12.2021).
14. S. Wall, S. CE Marking of Construction Products—Evolution of the European Approach to Harmonisation of Construction Products in the Light of Environmental Sustainability Aspects. *Sustainability* **13**(11), 6396 (2021). <https://doi.org/10.3390/su13116396>.
15. European Committee for Standardization (CEN). EN 15804:2012. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Brussels, Belgium, (2012).
16. European Commission. Product Environmental Footprint (PEF) Guide. Consolidated Version. 2012. Ispra. Italy
17. J. Anderson, ConstructionLCA's 2022 Guide to Environmental Product Declarations (EPD). ConstructionLCA. 2022. <https://infogram.com/constructionlca-2022-guide-to-epd-1h8n6m3kwp8ej4x?live> (accessed 28.02.2022).
18. J. Anderson, A. Moncaster, Embodied carbon of concrete in buildings, Part 1: Analysis of published EPD. *Build. Cities* **1**(1), 198–217 (2020). <http://doi.org/10.5334/bc.59>.
19. B. Waldman, M. Huang, K. Simonen, Embodied carbon in construction materials: a framework for quantifying data quality in EPDs. *Build. Cities* **1**(1) 625-636 (2020). <http://doi.org/10.5334/bc.31>.
20. A. Passer, S. Lasvaux, K. Allacker, D. De Lathauwer, C. Spirinckx, B. Wittstock, D. Kellenberger, F. Gschösser, J. Wall, H. Wallbaum, Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries. *Int. J. Life Cycle Assess.* **20**(9), 1199-1212 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0926-3>.
21. E. Pedersen, A. Remmen, Challenges with product environmental footprint: a systematic review. *Int. J. Life Cycle Assess.* **27**, 1-11 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02022-3>.
22. V. Durão, J. D. Silvestre, R. Mateus, J. de Brito, Assessment and communication of the environmental performance of construction products in Europe: Comparison between PEF and EN 15804 compliant EPD schemes. *Resour. Conserv. Recycl.* **156**, 104703 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104703>.
23. 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**, 965–975 (2020). <https://doi.org/10.1111/jiec.13007>.
24. S. C. Andersen, H. F. Larsen, L. Raffnsøe, C. Melvang, Environmental product declarations (EPDs) as a competitive parameter within sustainable buildings and building materials. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **323**, 012145 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012145>.
25. M. D. C. Gelowitz, J. J. McArthur, Investigating the effect of environmental product declaration adoption in LEED® on the construction industry: A case study. *Procedia Eng.* **145**, 58–65 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.014>.
26. T. Lützkendorf, Sustainability in Building Construction—A Multilevel Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **290**(1), 012004 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.014>.
27. N. Reyes, B. Rodríguez, E. Wiegand, F. Zilic, M. Ramage, A. Bukauskas, R. Debnath, D. U. Shah, C. de Wolf, A. Koronaki, A. Gatoó, Y. Gin, Achieving zero carbon emissions in the construction sector: The role of timber in decarbonising building structures. *Cambridge Open Engage* (2021). <https://doi:10.33774/coe-2021-hgd6q>.
28. J. Łapińska, I. Escher, G. Kądziałowski, P. Brzustewicz, Social activities for sustainable development in the cement industry in Poland—good practice. *Cem. Wapno Beton* **24**(6), 462-470 (2019). <https://doi.org/10.32047/cwb.2019.24.6.5>.
29. J. Łapińska, I. Escher, G. Kądziałowski, P. Brzustewicz, Environmental aspects of sustainable development in the cement industry: activities communicated by enterprises functioning in Poland. *Cem. Wapno Beton* **24**(4), 267-275 (2019). <https://doi.org/10.32047/CWB.2019.24.4.2>.
30. I. Escher, P. Brzustewicz, Inter-organizational collaboration on projects supporting sustainable development goals: the company perspective. *Sustainability* **12**(12), 4969 (2020). <https://doi.org/10.3390/su12124969>.
31. C. R. Perera, L. W. Johnson, Understanding environmentally conscious behaviour through environmental identity. *Highlights of Sustainability* **1**(1), 1-4 (2022). <https://doi.org/10.54175/hsustain1010001>.
32. N. D. Jordan, How coordinated sectoral responses to environmental policy increase the availability of product life cycle data. *Int. J. Life Cycle Assess.* **26**(4), 692-706 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01873-6>.
33. S. Attia, M. C. Santos, M. Al-Obaidy, M. Baskar, Leadership of EU member States in building carbon footprint regulations and their role in promoting circular building design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **855**(1), 012023 (2021). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/855/1/012023>.
34. J. F. G. Timm, V. G. Maciel, A. Passuello, Green public procurement model for environmental assessment of constructive systems. *International Journal of Construction Management*, 1-11 (2021). <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1920162>.
35. 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>.
36. J. Michalak, B. Michałowski, 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>.

37. J. Tomaszewska, Polish Transition towards Circular Economy: Materials Management and Implications for the Construction Sector. *Materials* **13**(22), 5228 (2020). <https://doi.org/10.3390/ma13225228>.
38. International Energy Agency. Cement. Paris, France, (2021). <https://www.iea.org/reports/cement> (accessed 28.02.2022).
39. Carbon Brief. Global CO₂ emissions have been flat for a decade, new data reveals. London, Great Britain, (2021). <https://www.carbonbrief.org/global-co2-emissions-have-been-flat-for-a-decade-new-data-reveals> (accessed 28.02.2022).
40. R. M. Andrew, Global CO₂ emissions from cement production, 1928–2017. *Earth System Science Data* **10**(4), 2213–2239 (2018). <https://doi.org/10.5194/essd-10-2213-2018> (accessed 28.02.2022).
41. M. Gawlicki, Belite in cements with low emission of CO₂ during clinker formation. *Cem. Wapno Beton* **25**(5), 348–357 (2020). <https://doi.org/10.32047/CWB.2020.25.5.1>.
42. C. K. Sekhar, P. R. Kumar, The study of the microstructure of sustainable composite cement-based mortars. *Cem. Wapno Beton* **25**(5), 390–403 (2020). <https://doi.org/10.32047/CWB.2020.25.5.5>.
43. Z. Giergiczny, A. Król, M. Tałaj, K. Wandoch, K. Performance of concrete with low CO₂ emission. *Energies* **13**(17), 4328 (2020). <https://doi.org/10.3390/en13174328>.
44. T. Baran, The use of waste and industrial by-products and possibilities of reducing CO₂ emission in the cement industry-industrial trials. *Cem. Wapno Beton* **26**(3), 169–184 (2021). <https://doi.org/10.32047/CWB.2021.26.3.1>.
45. A. Naqi, J. G. Jang, J. G. Recent progress in green cement technology utilizing low-carbon emission fuels and raw materials: A review. *Sustainability* **11**(2), 537 (2019). <https://doi.org/10.3390/su11020537>.
46. Cembureau – The European Cement Association. CO₂ costs in cement. Some calculations. Brussels, Belgium, (2021). <https://cembureau.eu/media/jpthbmva/co2-costs-in-eu-cement-production-december-2021.pdf> (accessed 15.03.2022).
47. W. Shanks, C. F. Dunant, M. P. Drewniok, R. C. Lupton, A. Serrenho, J. M. Allwood, How much cement can we do without? Lessons from cement material flows in the UK. *Resour. Conserv. Recycl.* **41**, 441–454 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.002>.
48. M. Sabău, D. V. Bompă, L. F. Silva, Comparative carbon emission assessments of recycled and natural aggregate concrete: Environmental influence of cement content. *Geosci. Frontiers* **12**(6), 101235 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101235>.
49. G. Bumanis, A. Korjakins, D. Bajare, Environmental Benefit of Alternative Binders in Construction Industry: Life Cycle Assessment. *Environments* **9**(1), 6 (2022). <https://doi.org/10.3390/environments9010006>.
50. M. Sparrevik, L. De Boer, O. Michelsen, C. Skaar, H. Knudson, A. M. Fet, Circular economy in the construction sector: advancing environmental performance through systemic and holistic thinking. *Environ. Syst. Decis.* **41**(3), 392–400 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10669-021-09803-5>.
51. D. D'amato, J. Korhonen, Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecol. Econ.* **188**, 107143 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>.
52. H. Corvellec, A. Stowell, N. Johansson, Critiques of the circular economy. *J. Ind. Ecol.* 1–12 (2021). <https://doi.org/10.1111/jiec.13187>
53. P. Stavropoulos, A. Papacharalampopoulos, K. Tzimanis, D. Petrides, G. Chryssolouris, On the Relationship between Circular and Innovation Approach to Economy. *Sustainability* **13**(21), 11829 (2021). <https://doi.org/10.3390/su132111829>.
54. P. Glavič, Evolution and Current Challenges of Sustainable Consumption and Production. *Sustainability* **13**(16), 9379 (2021). <https://doi.org/10.3390/su13169379>.
55. L. Czarnecki, D. Gemert, D. Innovation in construction materials engineering versus sustainable development. *Bull. Pol. Acad. Sci. Techn. Sci.* **65**(6), 765–771 (2017). <https://doi.org/10.1515/bpasts-2017-0083>.
56. K. Furtak, Contemporary challenges of science and technology – selected reflections. *Cem. Wapno Beton* **26**(5), 413–430 (2021). <https://doi.org/10.32047/cwb.2021.26.5.5>.
57. J. Michalak, External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) from Industry and Academia Perspective. *Sustainability* **13**(24) 13705 (2021). <https://doi.org/10.3390/su132413705>.
58. Building Research Institute (ITB). ITB-EPD General PCR Annex A v1.4 PN-EN 15804+A1:2014-04 Based. Warsaw, Poland, (2014).
59. International Organization for Standardization (ISO). ISO 14025:2006 Environmental Labels and Declarations-Type III Environmental Declarations-Principles and Procedure. Geneva, Switzerland, (2006).
60. Atlas. Environmental Product Declaration. Atlas ETICS External Thermal Insulation Composite System with Expanded Polystyrene Boards (EPS), Certificate No 078/2019, Atlas, Warsaw, Poland, (2019).
61. Atlas. Environmental Product Declaration. Atlas ETICS External Thermal Insulation Composite System with Mineral Wool Boards (MW), Certificate No 080/2019, Atlas, Warsaw, Poland, (2019).
62. Building Research Institute (ITB). National Technical Approval ITB-AT-9090/2016 Zestaw Wyrobów do Wykonywania Ociepleń Ścian Zewnętrznych Budynków Systemem Atlas ETICS; Building Research Institute (ITB), Warsaw, Poland, (2016).
63. Building Research Institute (ITB). National Technical Approval ITB-AT15-2930/2016 Zestaw Wyrobów do Wykonywania Ociepleń Ścian Zewnętrznych Budynków Systemem Atlas ROKER; Building Research Institute (ITB), Warsaw, Poland, (2016).
64. R. Pasker, The European ETICS Market at a Glance: Facts, Figures, Latest Trends. In Proceedings of the 5th European ETICS Forum, Prague, Czech Republic, 16 September 2021; European Association for External Thermal Insulation Composite Systems (EAE), Berlin, Germany, (2021).
65. Ustawa z dnia 25 czerwca 2015 r. o zmianie ustawy o wyrobach budowlanych, ustawy - Prawo budowlane oraz ustawy o zmianie ustawy o wyrobach budowlanych oraz ustawy o systemie oceny zgodności. Dz.U.2015.1165. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150001165> (accessed 15.03.2022).
66. H. Künzel, H. M. Künzel, K. Sedlbauer, Long-term performance of external thermal insulation systems (ETICS). *Acta Archit.* **5**, 11–24 (2006).
67. V. Kienzlen, H. Erhorn, H. Krapmeier, T. Lutzendorf, J. Werner, A. Wagner, The Significance of Thermal Insulation Arguments Aimed at Overcoming Misunderstandings, 3rd ed.; Fraunhofer-Publica: Karlsruhe, Germany, str. 35 (2014).
68. F. Lembo, F. P. R. Marino, The pathologies of the ETICS. In Recent Developments in Building Diagnosis Techniques, Springer: Singapore, pp. 37–49 (2016).
69. V. Sulakatko, I. Lill, E. Witt, Methodological framework to assess the significance of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) on-site activities. *Energy Procedia* **96**, 446–454 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.176>.
70. V. Sulakatko, E. Liisma, E. Soekov, Increasing construction quality of external thermal insulation composite system (ETICS) by revealing on-site degradation factors. *Procedia Environ. Sci.* **38**, 765–772 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.160>.

71. T. Kvande, N. Bakken, E. Bergheim, J. V. Thue, Durability of ETICS with rendering in Norway – Experimental and field investigations. *Buildings* **8**, 93 (2018). <https://doi.org/10.3390/buildings8070093>.
72. European Committee for Standardization (CEN). prEN 17237:2022 Thermal insulation products for buildings - External thermal insulation composite kits with a rendering system (ETIC kits) - Characteristics; European Committee for Standardization (CEN): Brussels, Belgium, 2022.
73. European Organization for Technical Assessment (EOTA). European Assessment Document EAD 040083-00-04040 External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings; European Organization for Technical Assessment (EOTA): Brussels, Belgium, 2020.
74. Instytut Techniki Budowlanej, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Warunki oceny właściwości użytkowych wyrobu budowlanego WO-KOT/04/01 wydanie 1: Złożone zestawy izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi (ETICS) z zastosowaniem wyrobów z wełny mineralnej (MW). Warszawa, 2018.
75. Instytut Techniki Budowlanej, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Warunki oceny właściwości użytkowych wyrobu budowlanego WO-KOT/04/02 wydanie 1: Złożone zestawy izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi (ETICS) z zastosowaniem wyrobów ze styropianu (EPS). Warszawa, 2018.
76. S. Czernik, M. Marcinek, B. Michałowski, M. Piasecki, J. Tomaszewska, J. Michalak, Environmental Footprint of Cementitious Adhesives—Components of ETICS. *Sustainability* **12**(21), 8998 (2020). <https://doi.org/10.3390/su12218998>.
77. T. Potrč, K. M. Rebec, F. Knez, R. Kunič, A. Legat, Environmental footprint of external thermal insulation composite systems with different insulation types. *Energy Procedia* **96**, 312-322 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.154>.
78. J. D. Silvestre, A. M. Castelo, J. J. Silva, J. M. de Brito, M. D. Pinheiro, Retrofitting a building's envelope: Sustainability performance of ETICS with ICB or EPS. *Appl. Sci.* **9**(7), 1285 (2019). <https://doi.org/10.3390/app9071285>.
79. 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* **12**(11), 4532 (2020). <https://doi.org/10.3390/su12114532>.
80. B. Michałowski, M. Marcinek, J. Tomaszewska, S. Czernik, M. Piasecki, R. Geryło, J. Michalak, Influence of rendering type on the environmental characteristics of expanded polystyrene-based external thermal insulation composite system. *Buildings* **10**(3), 47 (2020). <https://doi.org/10.3390/buildings10030047>.
81. C. Acar, I. Dincer, 3.1 Hydrogen Production. In *Comprehensive Energy Systems*, Elsevier, vol. **3**, pp. 1-40 (2018).
82. W. C. Lucato, J. C. da S. Santos, A. P. T. Pacchini, Measuring the Sustainability of a Manufacturing Process: A Conceptual Framework. *Sustainability* **10**(1), 81 (2017). <https://doi.org/10.3390/su10010081>
83. S. Ahmed, S. El-Sayegh, The challenges of sustainable construction projects delivery – evidence from the UAE. *Archit. Eng. Des. Manag.* **2022**, 1–14 (2022). <https://doi.org/10.1080/17452007.2022.2027224>
84. B. Michałowski, J. Michalak, Sustainability-oriented assessment of external thermal insulation composite systems: A case study from Poland. *Cogent Eng.* **8**(1), 1943152 (2021). <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1943152>
85. D. Głuszczyk, A. Raszkowski, Partnerstwo na rzecz procesów innowacyjnych w regionach Polski. [w] *Regionalne i lokalne uwarunkowania rozwoju gospodarki Polski*, red. E. Sobczak; Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, str. 76-88 (2020).
86. E. Sobczak, D. Głuszczyk, A. Raszkowski, Eco-Innovation and Innovation Level of the Economy as a Basis for the Typology of the EU Countries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **19**(4), 2005 (2022). <https://doi.org/10.3390/ijerph19042005>.
87. L. Czarnecki, M. Kaproń, Sustainable construction as a research area. *International J. Soc. Mater. Eng. Resour.* **17**(2), 99-106 (2010). <https://doi.org/10.5188/ijser.17.99>
88. F. Pomponi, R. Crawford, A. Stephan, J. Hart, B. D'Amico, The 'building paradox': research on building-related environmental effects requires global visibility and attention. *Emerald Open Res.* **2**, 50 (2020). <https://doi.org/10.35241/emeraldopenres.13838.1>
89. D. Kubečková, The Quality of ETICS in the Context of Energy and Social Changes (Case Study). *Sustainability* **14**(6), 3135 (2022). <https://doi.org/10.3390/su14063135>
90. R. I. C. Juarez, S. Finnegan, The environmental impact of cement production in Europe: A holistic review of existing EPDs. *Clean. Environ. Syst.* **3**, 100053 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100053>
91. S. Parusheva, Y. Aleksandrova, Legislation and policies for digitalization supporting construction innovation. *Eng. Sci.* **59**(1), 71-79 (2022). <https://doi.org/10.7546/EngSci.LIX.22.01.06>
92. A. Koyampambath, N. Adibi, C. Szablewski, S. A. Adibi, G. Sonnemann, Implementing Artificial Intelligence Techniques to Predict Environmental Impacts: Case of Construction Products. *Sustainability* **14**(6), 3699 (2022). <https://doi.org/10.3390/su14063699>
93. T. Trigo, I. Flores-Colen, L. Silva, N. Vieira, A. Raimundo, G. Borsoi, Performance and Durability of Rendering and Basecoat Mortars for ETICS with CSA and Portland Cement. *Infrastructures* **6**(4), 60 (2021). <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040060>