

Zrównoważone i ekologiczne budownictwo z betonu komórkowego

Sustainable and ecological construction with autoclaved aerated concrete

Paweł Walczak^{1,*}

¹Solbet Sp. z o.o.

*Corresponding author: P. Walczak, e-mail: pawel.walczak@solbet.pl

Streszczenie

Artykuł jest wprowadzeniem w zakres wymagań prawnych dotyczących emisji CO₂ w branży autoklawizowanego betonu komórkowego. Poruszono kwestię obowiązujących przepisów dotyczących raportowania w ramach ESG z podziałem na poszczególne zakresy. Artykuł przedstawia historię autoklawizowanego betonu komórkowego jako materiału uniwersalnego i ekologicznego od początku jego powstania. Nakreślono możliwości osiągnięcia zeroemisyjności branży ABK, oraz zależność tych celów od planu dekarbonizacji kraju. Dodatkowo przeanalizowano istniejące deklaracje środowiskowe produktów [EPD] z autoklawizowanego betonu komórkowego i omówiono możliwe inwestycje pozwalające na ograniczenie emisji CO₂ w całym cyklu życia wyrobu, włącznie z rekarbonatacją następującą w trakcie użytkowania wyrobów z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Słowa kluczowe: autoklawizowany beton komórkowy, ESG, EPD, zrównoważony rozwój, karbonatacja

Summary

The article is an introduction to the scope of legal requirements regarding CO₂ emissions in the autoclaved aerated concrete industry. It addresses the issue of applicable regulations regarding ESG reporting, divided into individual scopes. The article presents the history of autoclaved aerated concrete as a universal and ecological material from the beginning of its development. It outlines the possibilities of achieving zero emission in the AAC industry, and the dependence of these goals on the country's decarbonization plan. Additionally, it analyzes existing environmental product declarations [EPDs] of autoclaved aerated concrete and discusses possible investments that will reduce CO₂ emissions throughout the product's life cycle, including re-carbonation occurring during the use of autoclaved aerated concrete products.

Keywords: autoclaved aerated concrete, ESG, EPD, sustainable development, carbonation

1. Wprowadzenie

Ekologia w ostatnich latach jest obecna prawie w każdym aspekcie naszego życia. Nie inaczej sytuacja wygląda w ogromnej gałęzi przemysłu jakim jest budownictwo. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych a zwłaszcza dwutlenku węgla CO₂ staje się priorytetem dla wszystkich. Wystarczy wspomnieć o dyrektywie CSRD, czyli dyrektywie o sprawozdawczości przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju, która nakłada obowiązek niefinansowego raportowania począwszy od roku 2025, kiedy to jednostki zaufania publicznego będą musiały złożyć pierwszy raport za rok 2024. Informacje te będą raportowane według wspólnych europejskich standardów sprawozdawczości w zakresie tzw. zrównoważonego rozwoju [tzw. ESRS]. Mówiąc o raportach niefinansowych dotyczących zrównoważonego rozwoju ESG nie można pominąć

1. Introduction

Ecology has been present in almost every aspect of our lives in recent years. The situation is no different in the huge industry sector that is construction. Reducing greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide CO₂, is becoming a priority for everyone. It is enough to mention the CSRD directive, i.e. the directive on corporate reporting on sustainable development, which imposes the obligation of non-financial reporting starting from 2025, when public trust entities will have to submit the first report for 2024. This information will be reported according to common European reporting standards in the field of so-called sustainable development [so-called ESRS]. When talking about non-financial reports on sustainable development ESG, one cannot ignore the environmental basis, which is the organization's carbon footprint.

podstawy środowiskowej, którą jest ślad węglowy organizacji. Jest to dokument zawierający zagadnienie emisji CO₂e dla całego przedsiębiorstwa. Mając jednak na uwadze dobór odpowiednich materiałów budowlanych w ramach ekologicznego i zrównoważonego rozwoju bardziej adekwatnym dokumentem wydaje się być deklaracja środowiskowa produktu EPD obejmująca cały cykl życia wyrobu. Wyzwaniem dla przedsiębiorstw produkcyjnych jest nie tyle samo raportowanie działań na rzecz zrównoważonego rozwoju, czy też tworzenie deklaracji środowiskowych, ale etap ewolucji a dla niektórych rewolucji w podejściu do prowadzonego procesu produkcyjnego w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej. Historia Autoklawizowanego Betonu Komórkowego [ABK] sięga ponad 100 lat. Od początku swojego istnienia postrzegany był jako materiał na miarę swoich czasów cechujący się doskonałymi właściwościami, uniwersalnością produkcji jak również ekologiczną produkcją. Artykuł analizuje czy ABK nadal może być postrzegany jako ekologiczny i zrównoważony materiał budowlany, oraz drogę, dzięki której produkcja tego materiału może osiągnąć neutralność klimatyczną.

2. Wymagania prawne w dziedzinie ekologii dla materiałów budowlanych

Dyrektywa CSRD (1) nakłada obowiązek niefinansowego raportowania przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju począwszy od roku 2025 w postaci raportu ESG, czyli Środowisko, Społeczeństwo i Zarządzanie. Zakres tego raportu jest obszerny i ma zawierać zagadnienia dotyczące wpływu działalności przedsiębiorstw na wiele płaszczyzn: począwszy od środowiska, poprzez społeczność lokalną a kończąc na jego zarządzaniu. Mówiąc o raporcie ESG nie można pominąć tematu śladu węglowego organizacji, który stanowi niejako trzon tego niefinansowego raportu. To właśnie redukcja śladu węglowego w najbliższych latach będzie w największym stopniu wpływała na rozwój przedsiębiorstw, jak również na styl ich zarządzania i wpływ na społeczność lokalną. Dlatego też można śmiało powiedzieć, że to emisja CO₂ stanowi fundament nowych wytycznych dla producentów materiałów budowlanych.

2.1. Ślad węglowy organizacji

Obliczanie śladu węglowego organizacji odbywa się na podstawie standardu GHG Protocol [Greenhouse Gas Protocol] (2), który jest bardzo złożonym procesem. Jednostką emisji gazów cieplarnianych jest ekwiwalent dwutlenku węgla CO₂e. Patrząc na złożoność funkcjonowania przedsiębiorstw widać, że degradacja środowiska może pochodzić z różnych źródeł, nie zawsze zależnych od producenta. Dlatego też protokół GHG dzieli ślad węglowy organizacji na trzy zakresy, które zostały przedstawione na rysunku 1.

Emisję gazów cieplarnianych można podzielić przede wszystkim ze względu na źródło ich pochodzenia. Zakresy 1 i 2 śladu węglowego skupiają się na emisji gazów cieplarnianych powstałych w skutek uzyskiwania energii cieplnej i elektrycznej w procesie produkcji i dla procesu produkcyjnego.

This is a document containing the issue of CO₂e emissions for the entire company. However, taking into account the selection of appropriate building materials as part of ecological and sustainable development, a more adequate document seems to be the environmental product declaration EPD covering the entire life cycle of the product. The challenge for manufacturing companies is not so much the reporting of sustainable development activities or the creation of environmental declarations, but the stage of evolution and for some a revolution in the approach to the production process in order to achieve climate neutrality. The history of Autoclaved Aerated Concrete [AAC] dates back over 100 years. From the beginning of its existence, it was perceived as a material of its time, characterized by excellent parameters, universality of production and ecological production. The article analyzes whether AAC can still be perceived as an ecological and sustainable building material, and the way in which the production of this material can achieve climate neutrality.

2. Legal regulations in the field of ecology for building materials

The CSRD Directive (1) imposes an obligation for non-financial reporting of companies in the field of sustainable development starting from 2025 in the form of an ESG report, i.e. Environment, Society and Governance. The scope of this report is extensive and is to include issues related to the impact of companies' activities on many levels: starting from the environment, through the local community and ending with its management. When talking about the ESG report, one cannot ignore the topic of the organization's carbon footprint, which is the core of this non-financial report. It is the reduction of the carbon footprint in the coming years that will have the greatest impact on the development of companies, as well as on their management style and impact on the local community. Therefore, it is safe to say that CO₂ emissions are the foundation of the new guidelines for manufacturers of building materials.

2.1. Carbon Footprint of an Organization

The calculation of the carbon footprint of an organization is based on the GHG Protocol [Greenhouse Gas Protocol] (2) standard, which is a very complex process. The unit of greenhouse gas emissions is the carbon dioxide equivalent CO₂e. Looking at the complexity of the functioning of companies, it can be seen that environmental degradation can come from various sources, not always dependent on the manufacturer. Therefore, the GHG protocol divides the carbon footprint of an organization into three ranges, which are presented in Fig. 1.

Greenhouse gas emissions can be divided primarily by their source. Scopes 1 and 2 of the carbon footprint focus on greenhouse gas emissions resulting from the production of heat and electricity in and for the production process.

Scope 1 includes direct emissions resulting from the company's internal operations and processes, such as the combustion of fossil

Zakres 1 zawiera emisje bezpośrednio wynikające z działań i procesów wewnętrznych przedsiębiorstwa, takich jak spalanie paliw kopalnych w instalacjach przedsiębiorstwa, gazów używanych w instalacjach klimatyzacji czy też emisje z floty samochodowej należącej do przedsiębiorstwa.

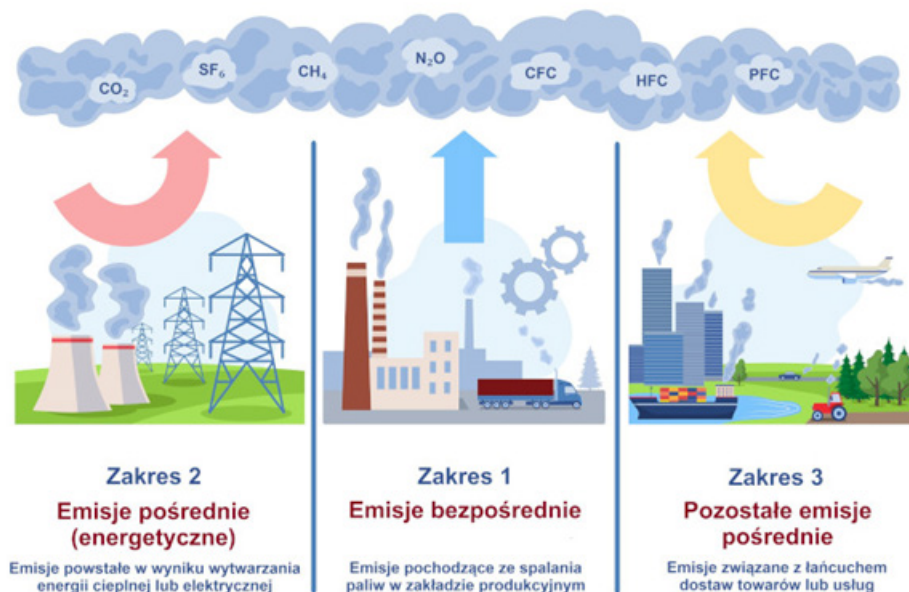
Zakres 2 dotyczy pośrednich emisji związanych z zużyciem energii elektrycznej, ciepła lub pary zakupionych przez przedsiębiorstwo i użytych w procesie produkcji swoich wyrobów. Wytworzenie wymienionych nośników odbywa się na urządzeniach nienależących do przedsiębiorstwa

Zakres 3 dotyczy pośrednich emisji związanych z działalnością przedsiębiorstwa, ale generowanych przez dostawców, klientów i inne zewnętrzne czynniki. Przykładem mogą być zakupione surowce i dobra, podróże pracowników samochodami niebędącymi własnością pracodawcy czy też emisja związana z transportem.

O szerokim obszarze, który zajmuje zakres 3 protokołu GHG świadczy fakt, że został on podzielony na 15 różnych kategorii:

1. Zakupione surowce i usługi.
2. Dobra kapitałowe.
3. Emisje związane z energią i paliwami nieujęte w zakresach 1 i 2 [emisje obliczane na podstawie danych dot. zużycia paliw i energii elektrycznej bądź ciepłej, powstałe podczas wytworzenia paliw spalanych w organizacji lub paliw spalanych w celu wyprodukowania energii elektrycznej bądź ciepłej].
4. Upstream – transport i dystrybucja [transport i dystrybucja produktów nabywanych przez raportujące przedsiębiorstwo w raportowanym okresie pomiędzy dostawcą a tym przedsiębiorstwem – pojazdami lub urządzeniami niebędącymi własnością bądź pod kontrolą raportującego przedsiębiorstwa – w przypadku możliwości pozyskania danych].
5. Odpady powstałe w wyniku działalności [utyliczacja i przetwarzanie odpadów].
6. Podróże służbowe [transport pracowników związany z działalnością biznesową w ciągu raportowanego okresu w pojazdach, które nie są własnością lub nie są zarządzane przez raportujące przedsiębiorstwo].
7. Dojazdy pracowników do pracy.
8. Upstream – wynajęte aktywa [emisje związane z obsługą aktywów wynajętych przez spółkę sprawozdawczą [najemca] w roku sprawozdawczym i nieobjęta zakresami 1 i 2].
9. Downstream – transport i dystrybucja produktów.
10. Przetwarzanie sprzedanych produktów [przetwarzanie produktów pośrednich sprzedawanych w roku sprawozdawczym do klientów, np. wytwórców].

Emisje gazów cieplarnianych



Rys. 1. Zakresy emisji gazów cieplarnianych zgodnie z GHG protocol (3)

Fig. 1. Greenhouse gas emission ranges according to the GHG protocol (3)

fuels in the company's installations, gases used in air conditioning installations or emissions from the company's car fleet.

Scope 2 concerns indirect emissions related to the consumption of electricity, heat or steam purchased by the company and used in the production process of its products. The production of these media takes place on devices not belonging to the company.

Scope 3 concerns indirect emissions related to the company's activities but generated by suppliers, customers and other external factors. Examples include purchased raw materials and goods, employee travel in cars not owned by the employer or emissions related to transport.

The broad scope of the GHG Protocol 3 is evidenced by the fact that it has been divided into 15 different categories:

1. Purchased raw materials and services.
2. Capital goods.
3. Emissions related to energy and fuels not included in scopes 1 and 2 [emissions calculated on the basis of data on fuel consumption and electricity or heat, generated during the production of fuels burned in the organization or fuels burned to produce electricity or heat].
4. Upstream - transport and distribution [transport and distribution of products purchased by the reporting company in the reporting period between the supplier and that company - vehicles or devices not owned or controlled by the reporting company - if data can be obtained].
5. Waste generated as a result of activities [waste disposal and processing].

11. Użytkowanie sprzedanych produktów.
 12. Postępowanie ze sprzedanymi produktami po zakończeniu ich użytkowania.
 13. Downstream – wynajęte aktywa - obsługa aktywów należących do firmy sprawozdającej (wynajmujący) i wynajmowanych innym podmiotom w roku sprawozdawczym, nieujęte w zakresach 1 i 2.
 14. Franczyzy – dane ujęte w innych zakresach.
 15. Inwestycje – działalność inwestycyjna (w tym inwestycje kapitałowe i długoterminowe oraz finansowanie projektów) w roku sprawozdawczym, nieobjęte zakresach 1 lub 2.
6. Business travel [transportation of employees related to business activities during the reporting period in vehicles that are not owned or managed by the reporting enterprise].
 7. Employee commuting to work.
 8. Upstream – leased assets [emissions related to servicing assets leased by the reporting company (tenant) in the reporting year and not covered by scopes 1 and 2].
 9. Downstream – transport and distribution of products.
 10. Processing of sold products [processing of intermediate products sold to customers (e.g. manufacturers) in the reporting year].

Ślad węglowy organizacji i jego zakres dotyka praktycznie każdej sfery działalności produkcyjnej a jego wynik może dać odpowiedź o świadomości ekologicznej przedsiębiorstwa. Jednakże patrząc na oferowaną grupę produktową różnych producentów trzeba sobie zadać pytanie, czy analiza śladu węglowego organizacji pozwala w pełni oszacować zrównoważone podejście do ekologii danego przedsiębiorstwa. Nierzadko bowiem zdarza się, że organizacja posiada wiele gałęzi działalności, przez co ślad węglowy organizacji nie musi być odpowiedzią na wpływ interesującego klienta produktu na otaczające nas środowisko. Rozpatrując potencjalne wykorzystanie konkretnego produktu, w tym materiału budowlanego należy zwracać uwagę na ślad węglowy produktu, czyli Deklarację Środowiskową Produktu - EPD, która odnosi się do konkretnej grupy wyrobów oferowanych przez organizację.

2.2. Deklaracja środowiskowa produktu – EPD

Deklaracja środowiskowa produktu EPD jest dokumentem tworzonym na podstawie normy PN-EN 15804+A2:2020-03 „Zrównoważenie obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych” (4). Deklaracje środowiskowe produktu jako dokumenty nieobowiązkowe są w stanie dużo więcej powiedzieć o całym cyklu życia produktu, który można podzielić na następujące etapy:

1. Pozyskanie surowców i transport do zakładu produkcyjnego [Etap A1-A2]
2. Proces produkcji do bramy zakładu [Etap A3]
3. Etap konstrukcji [Etap A4-A5]
4. Etap użytkowania [Etap B1-B7]
5. Etap końca życia wyrobu [Etap C1-C4]
6. Dodatkowe korzyści [Etap D1]

Zarówno dokładny opis deklaracji środowiskowej produktu EPD oraz obliczenie śladu węglowego organizacji przenikają się i zostaną opisane dokładnie w późniejszym rozdziale na przykładzie produkcji elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego [ABK].

3. Historia autoklawizowanego betonu komórkowego w kontekście ekologii

Historia autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce sięga już ponad 70 lat. Pierwsze zakłady zostały uruchomione według

11. Use of sold products.
12. Handling of sold products after they have been used.
13. Downstream – leased assets [servicing of assets belonging to the reporting company (lessor) and leased to other entities in the reporting year, not covered by scopes 1 and 2].
14. Franchises – data included in other scopes.
15. Investments – investment activities [including capital and long-term investments and project financing] in the reporting year, not covered by scopes 1 or 2.

The carbon footprint of an organization and its scope affects practically every sphere of production activity and its result can provide an answer about the ecological awareness of the company. However, looking at the product group offered by various manufacturers, one must ask oneself whether the analysis of the carbon footprint of the organization allows for a full assessment of the sustainable approach to the ecology of a given company. It often happens that an organization has many branches of activity, so the carbon footprint of the organization does not have to be an answer to the impact of the product of interest to the customer on the surrounding environment. When considering the potential use of a specific product, including construction material, one should pay attention to the carbon footprint of the product, i.e. the Environmental Product Declaration - EPD, which refers to a specific group of products offered by the organization.

2.2. Environmental Product Declaration – EPD

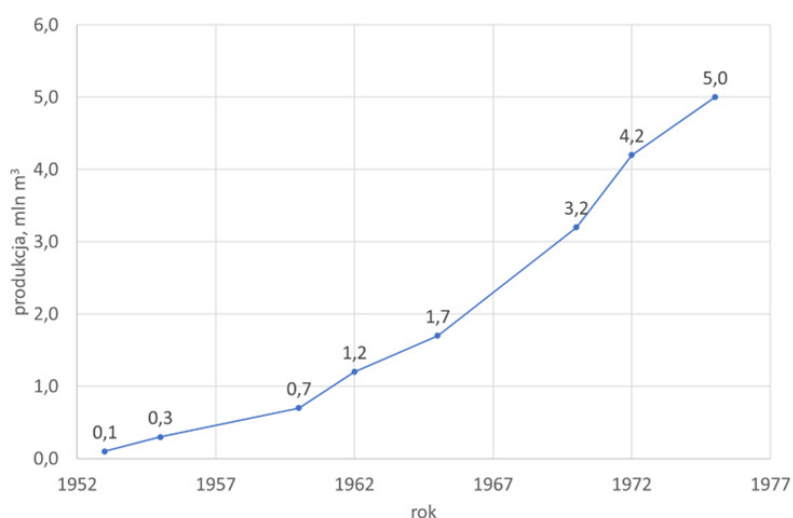
The EPD is a document created on the basis of the PN-EN 15804+A2:2020-03 standard „Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Basic principles for the categorization of construction products.” (4). Environmental product declarations as a non-mandatory document can say much more about the entire life cycle of a product, which can be divided into the following stages:

1. Acquisition of raw materials and transport to the production plant [Stage A1-A2].
2. Production process to the plant gate [Stage A3].
3. Construction stage [Stage A4-A5].
4. Use stage [Stage B1-B7].
5. End-of-life stage [Stage C1-C4].
6. Additional benefits [Stage D1].

Technologia / Technology		Spoivo	Kruszywo
UNIPOL	wariant piaskowy / sand variant	cement + wapno + część kruszywa wspólnie mielone / cement + lime + part of the aggregates co-ground	piasek kwarcowy mielony na mokro / wet ground quartz sand
	wariant popiołowy / fly ash variant		krzemionkowy popiół lotny / siliceous fly ash
	wariant mieszany / mixed variant		mieszanina piasku i popiołów / sand and fly ash blend
SW [silikat wolnotężejący / slow-setting silicate]		cement + wapno / cement + lime	piasek kwarcowy mielony na mokro / wet ground quartz sand
PGS [pianogazosilikat / foam gas silicate]		wapno + część kruszywa wspólnie mielona / lime + part of the aggregates co-ground	krzemionkowe popioły lotne / siliceous fly ash
BLB [beton lekki belitowy / light belitic concrete]		cement belitowy / belitic cement	piasek kwarcowy mielony na mokro / wet ground quartz sand

zagranicznych licencji technologicznych w 1951 roku (5). Szybko jednak okazało się, że krajowe surowce nie odpowiadają w pełni wymaganiom jakościowym zagranicznych technologii. Dzięki ogromnej pracy wielu polskich naukowców (6) udało się opracować na przestrzeni lat kilka unikatowych technologii produkcji betonów komórkowych, które przedstawiono w tablicy 1. Uniwersalność opracowanych technologii, oraz jakość produkowanych wyrobów spowodował, że materiał ten bardzo szybko zyskiwał na popularności, co pokazano na rys. 2 gdzie przedstawiono rozwój produkcji betonu komórkowego w Polsce w pierwszych latach jego produkcji.

Autoklawizowany beton komórkowy w Polsce można podzielić ze względu na rodzaj kruszywa stosowanego do jego produkcji: na technologie popiołowe oraz technologie piaskowe. Produkcja materiałów z betonu komórkowego wytwarzanego w technologii popiołowej były zlokalizowane przeważnie w pobliżu elektrowni czy też elektrociepłowni, z których bezpośrednio transportowano popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach konwencjonalnych a do procesu autoklawizacji używano pary odpadowej, przez co zakłady te nie potrzebowały własnych kotłowni do wytwarzania pary wodnej. Należy zaznaczyć, że jeszcze w 2008 roku w Polsce 8 z 30 zakładów produkcyjnych korzystało z technologii popiołowych (8). Jakość, uniwersalność i możliwość wykorzystania ubocznych produktów spalania węgla kamiennego [UPS] w produkcji ABK według polskich technologii zostało docenionych na całym świecie, ponieważ w latach 1956 – 1985 Polska wyeksportowała 36 zakładów o łącznej mocy produkcyjnej 4 mln m³/rok. Głównymi kierunkami eksportowymi było: ZSSR, Czechosłowacja, Mongolia, Chiny, Egipt czy Irak (6). Patrząc na ówczesny widok zakładów przemysłowych i podejście do ekologii zakłady te były innowacyjne i wyprzedzały swoje czasy dzięki możliwości wykorzystania ubocznych produktów spalania z węgla kamiennego, jakim były popioły lotne. Umieszczenie zakładów obok elektrowni czy elektrociepłowni minimalizowało koszty związane z transportem surowca a wykorzystywanie pary odpadowej minimalizowało koszty inwestycyjne i ograniczało emisję CO₂ do



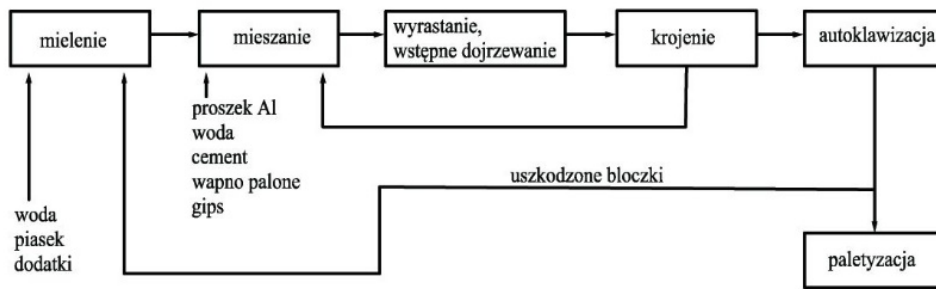
Rys. 2. Produkcja autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce w latach 1951-1975 (6)

Fig. 2. Production of autoclaved aerated concrete in Poland in 1951-1975 (6)

Both the detailed description of the EPD and the calculation of the organization's carbon footprint intertwine and will be described in detail in a later paragraph using the example of the production of masonry elements from autoclaved aerated concrete [ABK].

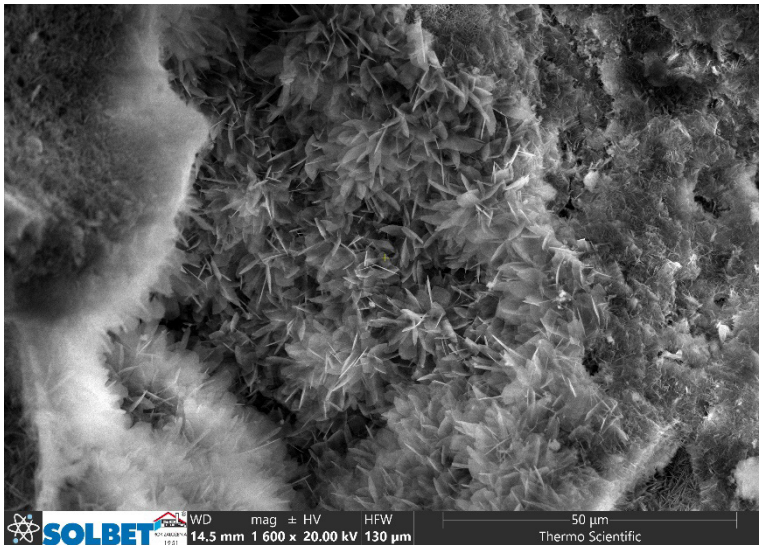
3. The history of autoclaved aerated concrete in the context of ecology

The history of Autoclaved Aerated Concrete in Poland dates back to over 70 years. The first production plants were launched in accordance with foreign technological licenses in 1951 (5). However, it quickly turned out that domestic raw materials did not fully meet the quality requirements of foreign technologies. Thanks to the enormous work of many Polish scientists (6), it was possible to develop several unique technologies for the production of aerated concrete over the years, which are presented in Table 1. The universality of the developed technologies and the quality of the manufactured products caused this material to quickly gain popularity, as shown in Fig. 2, which presents the development of aerated concrete production in Poland in the first years of its production.



Rys. 3. Schemat produkcji ABK w technologii piaskowej (9)

Fig. 3. AAC production scheme using sand technology (9)



Rys. 4. Zdjęcie SEM przedstawiające mikrostrukturę ABK – kryształy tobermorytu

Fig. 4. SEM image showing the microstructure of ABK - tobermorite crystals

atmosfery. Kolejnym ekologicznym aspektem betonu komórkowego był zamknięty obieg surowców w procesie produkcji, który w wielkim uproszczeniu można przedstawić według schematu przedstawionego na rysunku 3.

Produkcja autoklawizowanego betonu komórkowego jest z założenia procesem bezodpadowym, ponieważ wszystkie odcięte podczas kształtowania elementu nadatki oraz odpady powstałe w procesie produkcji zarówno przed jak i po procesie autoklawizacji są zwracane do procesu stanowiąc istotny surowiec minimalizujący wykorzystanie surowców pierwotnych. Najważniejszym etapem w produkcji betonu komórkowego jest proces obróbki hydrotermalnej, gdzie dochodzi do szeregu reakcji, w których powstają uwodnione krzemiany wapniowe [C-S-H], głównie tobermoryt, który odpowiada za unikatowe właściwości tego materiału. Przykład mikrostruktury autoklawizowanego betonu komórkowego przedstawiono na rys. 4.

4. Cykl życia wyrobu a ślad węglowy

Cykl życia wyrobów zgodnie deklaracją środowiskową produktu należy analizować od momentu pozyskania surowców a kończąc

Autoclaved aerated concrete in Poland can be divided according to the type of aggregate used for its production: into ash technologies and sand technologies. Production of fly ash based autoclaved aerated concrete was mostly located near power plants or combined heat and power plants, from which fly ash from hard coal combustion in conventional boilers was directly transported and waste steam was used for the autoclaving process, which is why these plants did not need their own boiler rooms to generate steam. It should

be noted that in 2008, 8 out of 30 production plants in Poland used ash technologies (8). The quality, versatility and possibility of using by-products of hard coal combustion in the production of AAC according to Polish technologies were appreciated all over the world. In the years 1956-1985 Poland exported 36 plants with a total production capacity of 4 million m³/year. The main export destinations were: USSR, Czechoslovakia, Mongolia, China, Egypt and Iraq (6). Looking at the view of industrial plants and the approach to ecology at that time, these plants were innovative and ahead of their time thanks to the possibility of using by-products of combustion of hard coal, such as fly ash. Locating the plants next to power plants or combined heat and power plants minimized the costs associated with the transport of raw materials, and the use of waste steam minimized investment costs and reduced CO₂ emissions into the atmosphere. Another ecological aspect of AAC was the closed circulation of raw materials in the production process, which can be presented in a very simplified way according to the scheme presented in Fig. 3.

The production of autoclaved aerated concrete is by definition a waste-free process, because all the excess cut off during the shaping of the element and waste generated in the production process, both before and after the autoclaving process, are recycled into the process, constituting an important raw material that minimizes the use of primary raw materials. The most important stage in the production of AAC is the hydrothermal treatment process, where a series of reactions occur, in which hydrated calcium silicates [C-S-H] are formed, mainly tobermorite, which is responsible for the unique properties of this material. An example of the microstructure of AAC is shown in Fig. 4.

4. Product life cycle and carbon footprint

The life cycle of products in accordance with the environmental product declaration should be analyzed from the moment of obtaining raw materials to the recycling or disposal of building materials from the demolition of buildings. Fig. 5 shows an example of the life cycle of AAC products.

na recyklingu lub utylizacji materiałów budowlanych pochodzących z rozbiórki budynków. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy cykl życia wyrobów z ABK.

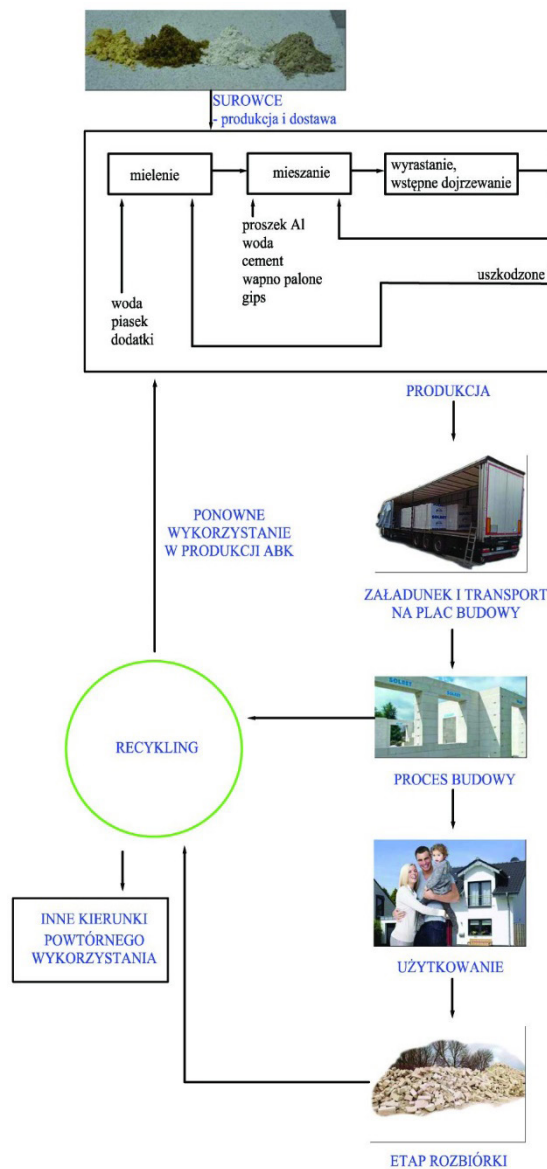
W oparciu o schemat pokazany na rys. 5 widać na ile ewoluowało postrzeganie ekologii i zrównoważonego rozwoju w kwestii materiałów budowlanych. W dawnych czasach dyskusja o ekologii skupiała się wokół etapu produkcyjnego bez uwzględnienia pozyskiwania surowców, etapu użytkowania wyrobu czy jego ewentualnego recyklingu. Należy pamiętać, że zgodnie z obowiązującymi przepisami powinniśmy uzyskać zeroemisyjność netto w roku 2050. W tym celu producenci autoklawizowanego betonu komórkowego zrzeszeni w ramach Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego – EAACA opracowali mapę drogową dla betonu komórkowego w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej (11). W mapie drogowej przyjęto jako punkt wyjściowy emisję CO_{2e} dla 1 m³ produkowanych wyrobów na poziomie 180 kg, co pokazano na rys. 6.

Emisja CO₂ przedstawiona na rys. 6 pokazuje rozkład emisji dwutlenku węgla bez uwzględnienia etapu użytkowania wyrobu. Jak widać, sam proces produkcyjny według deklaracji środowiskowej odpowiadający zakresom 1 i 2 śladu węglowego organizacji odpowiada zaledwie za 16% całkowitej emisji CO₂ w cyklu życia wyrobów. Największy wpływ na emisję CO₂ mają spoiwa stosowane w produkcji betonu komórkowego: cement i wapno, które odpowiadają aż za 74 % emisji tego gazu.

Produkcja cementu i wapna jest procesem energochłonnym, ponieważ rozkład skał węglanowych odbywa się w wysokich temperaturach. Dodatkowo sam rozkład tych skał powoduje emisję ogromnych ilości dwutlenku węgla. Dlatego też planując możliwość osiągnięcia neutralności klimatycznej przez producentów betonów komórkowych nie można zapominać, że ich sukces tak naprawdę zależy od sukcesów producentów wapna i cementu.

Dodatkowym aspektem mającym wpływ na możliwość uzyskania neutralności klimatycznej przez producentów ABK jest mix energetyczny kraju, w którym odbywa się proces produkcyjny, oraz krajowe plany dążenia do zeroemisyjności. Dla nakreślenia ogromnego wpływu działalności na poziomie państwowym na produkcję materiałów budowlanych na rysunku 7 porównano udziału energii pochodzącej z Odnawialnych Źródeł Energii [OZE] w ogólnym miksie energetycznym kraju dla Polski i Niemiec.

Udział OZE w miksie energetycznym Polski w 2021 roku był o 18,9 punktów procentowych mniejszy niż w przypadku Niemiec. Tak duża różnica ma istotny wpływ na wartości uzyskiwane w kalkulacji zarówno Środowiskowej Deklaracji Produktu EPD, jak również Śladu Węglowego Organizacji. Dlatego też kolejnym etapem

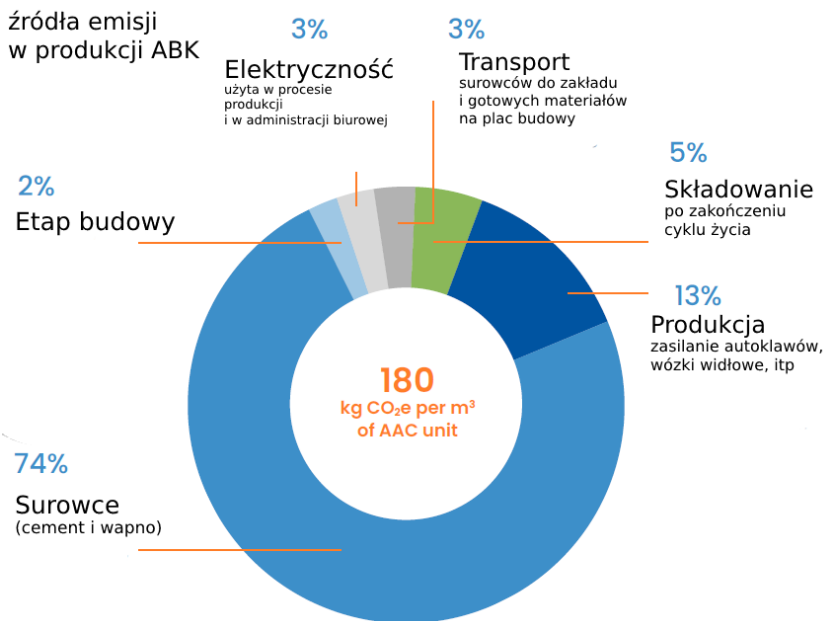


Rys. 5. Cykl życia wyrobów z autoklawizowanego betonu komórkowego (10)

Fig. 5. Life cycle of autoclaved aerated concrete products (10)

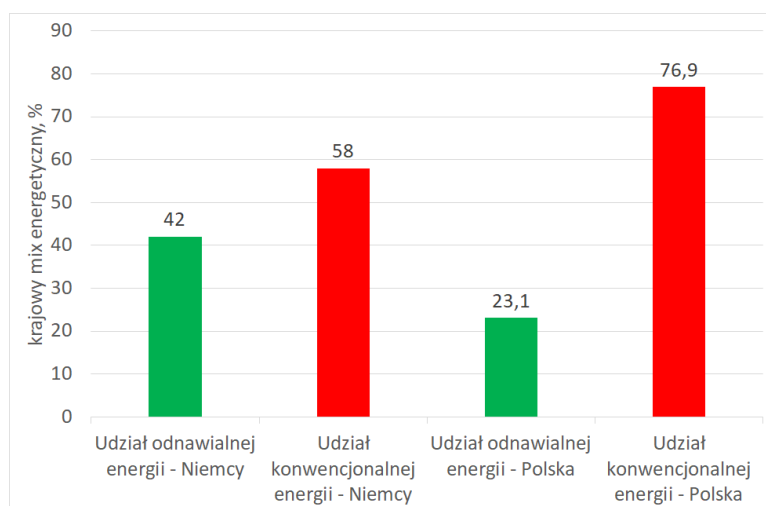
Based on the diagram shown in Fig. 5, it is clear how much the perception of ecology and sustainable development has evolved in the matter of building materials. In the past, the discussion about ecology focused on the production stage without taking into account the acquisition of raw materials, the stage of use of the product or its possible recycling. It should be remembered that in accordance with the applicable regulations, we should achieve net zero emissions in 2050. For this purpose, producers of autoclaved aerated concrete associated within the European Autoclaved Aerated Concrete Association - EAACA have developed a road map for autoclaved aerated concrete in order to achieve climate neutrality (11). The road map assumed as the starting point the CO_{2e} emission for 1 m³ of manufactured products at the level of 180 kg, which is shown in Fig. 6.

CO₂ emissions presented in Fig. 6 show the distribution of carbon dioxide emissions without taking into account the product use stage. As can be seen, the production process itself, according to the environmental declaration corresponding to scopes 1 and 2



Rys. 6. Źródła emisji CO₂ według mapy drogowej EAACA w procesie produkcji ABK (11)

Fig. 6. CO₂ emission sources according to the EAACA road map in the AAC production process (11)



Rys. 7. Porównanie udziału energii odnawialnej dla Polski i Niemiec w roku 2021

Fig. 7. Comparison of the share of renewable energy for Poland and Germany in 2021

niezbędnym w omówieniu ekologicznej i zrównoważonej produkcji ABK jest omówienie krajowych planów dekarbonizacji.

5. Plan dekarbonizacji dla Polski

Działania UE w ramach zielonego Ładu i programu Fit for 55 spowodowały, że finalnie w dyrektywie 2023/2415/EU [dyrektywa RED III] określono udział OZE w końcowym zużyciu energii brutto w UE na poziomie 42,5%, ale dodatkowo realizacja RePowerUE powinna przyczynić się do zwiększenia udziału OZE o dodatkowe 2,5 pkt procentowego i dlatego Unia Europejska będzie dążyła do osiągnięcia poziomu 45% [Artykuł 12 Dyrektywy RED II].

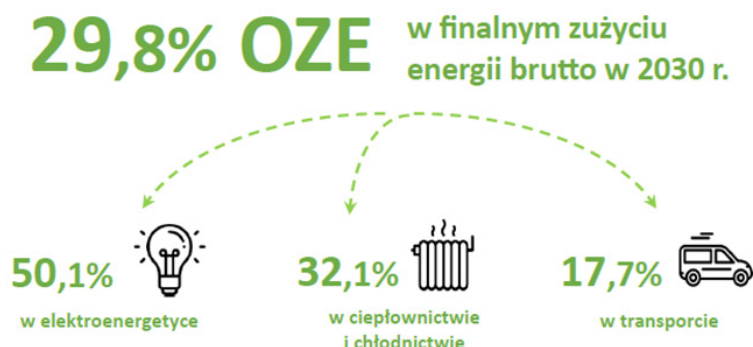
of the organization's carbon footprint, is responsible for only 16% of the total CO₂ emissions in the product life cycle. The greatest impact on CO₂ emissions is exerted by binders used in the production of aerated concrete: cement and lime, which are responsible for as much as 74% of this gas emissions.

Cement and lime production is an energy-consuming process, because the decomposition of carbonate rocks takes place at high temperatures. In addition, the decomposition of these rocks itself causes the emission of huge amounts of carbon dioxide. Therefore, when planning the possibility of achieving climate neutrality by AAC producers, one cannot forget that their success really depends on the success of lime and cement producers. An additional aspect influencing the possibility of achieving climate neutrality by AAC producers is the energy mix of the country in which the production process takes place and the national plans to strive for zero emissions. To outline the huge impact of activities at the state level on the production of building materials, Fig. 7 compares the share of energy from Renewable Energy Sources in the overall energy mix of the country for Poland and Germany.

The share of renewable energy in Poland's energy mix in 2021 was 18.9 percent points lower than in Germany. Such a large difference has a significant impact on the values obtained in the calculation of both the Environmental Product Declaration [EPD] and the Organization's Carbon Footprint. Therefore, the next step necessary in discussing ecological and sustainable AAC production is to discuss national decarbonization plans.

5. Decarbonization plan for Poland

EU actions under the Green Deal and the Fit for 55 program resulted in the final Directive 2023/2415/EU [RED III Directive] setting the share of RES in gross final energy consumption in the EU at 42.5%, but in addition, the im-



Rys. 8. Udział OZE w finalnym życiu energii brutto w 2030 roku (12)

Fig. 8. Share of renewable energy sources in gross final energy consumption in 2030 (12)

Działania i cele dekarbonizacji dla Polski zostały zapisane w „Krajowym planie w dziedzinie Energii i Klimatu do 2023 roku”. W niniejszym artykule analizowany jest plan sporządzony przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska z 2019 roku, zaktualizowany w dniu 29 lutego 2024 roku (12). Na rys. 8 przedstawiono przewidywane zużycia końcowe brutto energii elektrycznej w różnych sektorach gospodarki w 2030 roku.

Wielkość emisji CO₂ danego przedsiębiorstwa może być uzależniona od kraju, w którym prowadzi swoją działalność, dlatego tak ważną jest analiza planu dekarbonizacji kraju, w którym prowadzi się działalność. Według planu w okresie przejściowym w sektorze elektroenergetycznym emisja będzie zmniejszana poprzez stopniowe zastępowanie kotłów węglowych przez jednostki gazowe, które emitują mniejsze ilości dwutlenku węgla. Według planu krajowego ich szczyt wykorzystania nastąpi około roku 2030, a następnie będzie się zmniejszał na korzyść energii zeroemisyjnych realizowanych przez elektrownie wiatrowe na lądzie i morzu, fotowoltaikę ale również biogaz i biomasę. Miejsce jednostek gazowych będą zastępowały elastyczne jednostki atomowe, których rozwój planowany jest na lata 2030-2035. To właśnie elastyczność źródeł energii jest niezbędna przy wzroście udziału OZE w krajowym miksie energetycznym.

Kolejną gałęzią energetyki ma być zielony wodór. Urzędnicy Unii Europejskiej dążą do wyszczególnienia odrębnego paliwa RFNBO, czyli odnawialnego zielonego wodoru, który powstawałby wyłącznie z wykorzystaniem energii pochodzącej z OZE. Z tego względu zobowiązano państwa członkowskie, aby wodór RFNBO stanowił 42% do 2030 r. i 60% do 2035 r. w strukturze wodoru stosowanego do celów związanych z energią końcową i celów innych niż energetyczne. Realizacja celów RED III w przemyśle będzie bardzo trudna dla większości państw członkowskich UE. To ogromna przestrzeń do prowadzenia innowacyjnych działań, może pozwolić na zagospodarowanie nadwyżek z OZE, w okresie szczególnie korzystnych warunków atmosferycznych. Takie działania wymagają jednak głębokich zmian technologicznych i organizacyjnych oraz stanowią wyzwanie finansowe.

Krajowy plan dekarbonizacji wspomina również o ograniczeniu emisji CO₂ w przemyśle cementowym i wapienniczym mówiąc o technologiach wychwytu, składowania i wykorzystania CO₂ [Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS]. Potencjał tej technologii zależy od wielu czynników jak koszty uprawnień do emisji, ceny energii elektrycznej czy też rozwój innych technologii ograniczania emisji CO₂.

Krajowy plan dekarbonizacji to nie tylko ograniczenie emisji CO₂ w elektroenergetyce czy przemyśle, ale również dotyczy budownictwa jednorodzinnego. Plan ten zakłada szereg modernizacji budynków w celu zmniejszenia zużycia energii pierwotnej EP. Pozwoli to nie tylko na zmniejszenie emisji CO₂, ale również pomoże bardziej efektywnie zwiększyć udział OZE dziedzinie ciepłownictwa budynków.

Nacisk kładziony jest także na zagospodarowanie odpadami. Wytyczne UE narzucają sposób postępowania z odpadami i dążą do

plementation of RePowerUE should contribute to increasing the share of RES by an additional 2.5 percentage points and therefore the European Union will strive to achieve the level of 45% [Article 12 of the RED II Directive].

Decarbonization actions and goals for Poland are set out in the “National Energy and Climate Plan until 2023.” This article analyzes the plan prepared by the Ministry of Climate and Environment in 2019, updated on February 29, 2024 (12). Fig. 8 shows the projected gross final electricity consumption in different sectors of the economy in 2030.

The quantity of a company’s CO₂ emissions may depend on the country in which it operates, which is why it is so important to analyze the decarbonization plan of the country in which it operates. According to the plan, during the transition period in the power sector, emissions will be reduced by gradually replacing coal-fired boilers with gas units, which emit lower amounts of carbon dioxide. According to the national plan, their peak use will occur around 2030, and then it will decrease in favor of zero-emission energy implemented by onshore and offshore wind farms, photovoltaics, but also biogas and biomass. The place of gas units will be replaced by flexible nuclear units, the development of which is planned for the years 2030-2035. It is the flexibility of energy sources that is necessary for the increase in the share of renewable energy in the national energy mix.

Another branch of energy is to be green hydrogen. EU officials are seeking to specify a separate RFNBO fuel, i.e. renewable green hydrogen, which would be produced exclusively using energy from RES. For this reason, member states have been obliged to ensure that RFNBO hydrogen constitutes 42% by 2030 and 60% by 2035 in the structure of hydrogen used for final energy and non-energy purposes. Achieving the RED III goals in industry will be very difficult for most EU member states. This is a huge space for conducting innovative activities, and may allow for the management of surpluses from RES, during periods of particularly favorable weather conditions. However, such activities require profound technological and organizational changes and pose a financial challenge.

The national decarbonization plan also mentions the reduction of CO₂ emissions in the cement and lime industry, speaking about CO₂ capture, storage and utilization technologies [Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS]. The potential of this technology depends on many factors such as the costs of emission allowances, electricity prices or the development of other CO₂ reduction technologies.

The national decarbonization plan is not only about reducing CO₂ emissions in the power industry or industry, but also applies to single-family housing. This plan assumes a number of building modernizations in order to reduce the consumption of primary energy EP. This will not only reduce CO₂ emissions, but will also help to increase the share of RES in the field of building heating more effectively.

wdrażania modelu gospodarczego opartego na obiegu zamkniętym. Wdrożenie obiegu zamkniętego wymaga zmiany myślenia polegające na postrzeganiu odpadów jako źródła zasobów, które mogą zastępować surowce pierwotne. Jednym z punktów zapisanych w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami 2028 [KPGO 2028], będącego aktualizacją KPGO 2022 jest utrzymywanie wysokiego poziomu przygotowania do ponownego użycia, recyklingu oraz innych form odzysku odpadów budowlanych i rozbiórkowych, co wpływa w sposób bezpośredni na producentów betonów i materiałów budowlanych (13).

Zielona transformacja to również odchodzenie od transportu opartego na paliwach kopalnianych a przechodzenie na pojazdy ekologiczne napędzane prądem oraz wodorem. Według planu dekarbonizacji kraju do 2030 roku 17% transportu krajowego powinno opierać się o energię pochodzącą z OZE. Do tej pory najczęściej można spotkać argumenty, że brakuje rozbudowanej sieci ładowania samochodów elektrycznych. Rozporządzenie AFIR w sprawie infrastruktury paliw alternatywnych wymusza na krajach członkowskich rozbudowę stacji ładowania dla samochodów elektrycznych. W ramach tego rozporządzenia Ministerstwo Środowiska i Klimatu przedstawiło propozycję rozbudowy ładowania dla samochodów ciężkich oraz plan dla rozbudowy stacji wodoru (14, 15).

Biorąc pod uwagę sieć bazową, obowiązki wynikające z AFIR w kontekście pokrycia sieci na lata 2025 i 2027 są obecnie zrealizowane odpowiednio w ok. 8% i 2%, a pod względem mocy stref ładowania wzdłuż tej sieci – odpowiednio w 22% i 15% (16)

6. Neutralność środowiskowa autoklawizowanego betonu komórkowego

Analiza cyklu życia autoklawizowanego betonu komórkowego i przepisów unijnych jak i krajowych pozwalają lepiej określić możliwości rozwoju zielonej produkcji ABK w Polsce. Analiza cyklu życia ABK, czy też mapy drogowej przez EAACA wskazują na to, w jakich częściach produkcji należy upatrywać możliwości ograniczenia emisji CO₂. Postanowiono przedstawić przykłady dążeń do zeroemisyjności ABK w Polsce na bazie doświadczeń zebranych przez grupę kapitałową SOLBET, która jako lider w branży ABK wyznacza również zieloną ścieżkę do redukcji emisji dwutlenku węgla. Firma SOLBET posiada Środowiskową Deklarację Produktu dla autoklawizowanego betonu komórkowego (18) produkowanego w grupie kapitałowej SOLBET [rys. 9] z uwzględnieniem pełnego cyklu życia wyrobu prezentowanego na rysunku 5. Jest to o tyle istotne, że grupa kapitałowa SOLBET posiada taką deklarację dla wszystkich swoich zakładów a nie tylko dla wybranych, co jest częstą praktyką mającą na celu pokazać wyłącznie „flagowy” zakład, aby podkreślić swoją ekologiczność i rzetelne podejście do zrównoważonego rozwoju.

Analizę wykonano na podstawie danych z deklaracji środowiskowej EPD grupy kapitałowej SOLBET, ponieważ emisja

Emphasis is also placed on waste management. EU guidelines impose waste management procedures and aim to implement an economic model based on closed circulation. Implementing a closed circulation requires a change in thinking, which involves perceiving waste as a source of resources that can replace primary raw materials. One of the points included in the National Waste Management Plan 2028 [KPGO 2028], which is an update of KPGO 2022, is maintaining a high level of preparation for reuse, recycling and other forms of recovery of construction and demolition waste, which directly affects producers of concrete and construction materials (13).

Green transformation also means moving away from transport based on fossil fuels and switching to ecological vehicles powered by electricity and hydrogen. According to the country's decarbonisation plan, by 2030 17% of domestic transport should be based on energy from renewable sources. So far, the most common argument is that there is a lack of an extensive network of charging electric cars. The AFIR regulation on alternative fuel infrastructure forces member states to expand charging stations for electric cars. As part of this regulation, the Ministry of Environment and Climate presented a proposal to expand charging for heavy vehicles, and the plan for the expansion of hydrogen stations (14, 15).

Taking into account the core network, the obligations arising from AFIR in the context of network coverage for 2025 and 2027 are currently fulfilled by approximately 8% and 2%, respectively, and in terms of the capacity of charging zones along this network – by 22% and 15%, respectively (16)



Rys. 9. Grupa kapitałowa SOLBET (17)

Fig. 9. SOLBET Capital Group (17)

CO₂ w etapach A1-A3 [od momentu pozyskania surowców do momentu opuszczania wyrobu bram zakładu] wynosi 166 kg CO₂e na 1 m³ wyrobu produkowanego w każdym z 7 zakładów grupy kapitałowej SOLBET, podczas gdy przytaczana mapa drogowa dla autoklawizowanego betonu komórkowego mówi o średniej wartości 180 kg CO₂e na 1 m³ wyrobu, co daje wynik niższy o 14 kg CO₂e na 1 m³ wyprodukowanego betonu komórkowego. Oznacza to, że przy produkcji ABK w grupie kapitałowej SOLBET na poziomie 2,5 mln m³ rocznie emituje ona 3 500 ton CO₂ rocznie mniej, niż przy założeniu średniej wartości przedstawionej w europejskiej mapie drogowej.

6.1. Etap A1 deklaracji środowiskowej

Etap A1 deklaracji środowiskowej EPD oznacza etap pozyskania surowców. Z perspektywy emisji dwutlenku węgla w przypadku produkcji ABK należy przyjrzeć się produkcji cementu i wapna. Jak wcześniej wspomniano, w tych przemysłach są plany wykorzystywania technologii wyłapywania CO₂ w czasie produkcji. Według danych Stowarzyszenia Producentów Cementu w 2017 roku stosunek klinkieru do cementu wynosił 77%. Oznacza to, że 23% stanowiły krzemionkowe popioły lotne czy też granulowany żużel wielkopiecowy. Przechodzenie na energię odnawialną oznacza zastępowanie elektrowni węglowych w pierwszym etapie kotłami gazowymi a następnie energią atomową. Oznacza to brak popularnych dodatków do cementu. Na chwilę obecną 21% wszystkich substytutów klinkieru stanowią naturalne puzzolany, kamień wapienny lub palony łupek bitumiczny. W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że część dodatków w tradycyjnym betonie spełnia swoją rolę poprzez swoje drobne uziarnienie nie powodując spadku wytrzymałości. Patrząc na proces produkcji ABK [rys. 3] widzimy, że piasek stosowany w jego produkcji jest mielony. Ma to związek z zastosowaniem obróbki hydrotermalnej. Dzięki wysokiemu ciśnieniu i temperaturze kruszywo bierze aktywny udział w reakcjach chemicznych, co pokazano na rys. 10. Praktycznie niereaktywny kwarc w warunkach autoklawizacji rozpuszcza się osiągając równowagę chemiczną z wodorotlenkiem wapnia, przez co w bardzo szybkim czasie dochodzi do powstawania uwodnionych krzemianów wapniowych o niskim stosunku molowym CaO/SiO₂. Dlatego też głównym produktem hydratacji jest tobermoryt. W procesie autoklawizacji stopień przereagowania spoiw: cementu i wapna wynosi niemal 100%.

Ze względu na specyfikę procesu autoklawizacji należy dokładniej przyjrzeć się nowym dodatkom do cementów. W tym kontekście Nocuń-Wczelik (20-21) wskazywała, że nawet niewielka ilość dodatków może wpływać na przebieg reakcji w warunkach hydrotermalnych. Dlatego też stosowanie nowych, niskoemisyjnych cementów może stanowić spore wyzwanie dla producentów ABK. Stowarzyszenie CEMBUREAU określiło jako swój cel obniżenie zawartości klinkieru z 77% do 74% w 2030 roku i do 65% w roku 2050.

6.2. Etap A2 deklaracji środowiskowej

Według mapy drogowej dla ABK transport surowców do zakładu, jak również materiału na plac budowy odpowiedzialny jest za

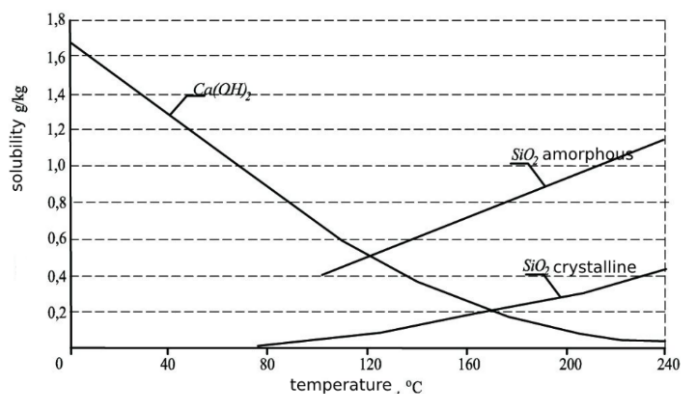
6. Environmental neutrality of autoclaved aerated concrete

The analysis of the life cycle of autoclaved aerated concrete and EU and national regulations allow for a better definition of the possibilities of developing green production of AAC in Poland. The analysis of the AAC life cycle or the road map by EAACA indicate in which parts of production the possibilities of reducing CO₂ emissions should be sought. It was decided to present examples of efforts to achieve zero emission of AAC in Poland based on the experience gathered by the SOLBET capital group, which as a leader in the AAC industry also sets a green path to reducing carbon dioxide emissions. The SOLBET company has an Environmental Product Declaration for autoclaved aerated concrete (18) produced in the SOLBET capital group [Fig. 9] taking into account the full life cycle of the product presented in Fig. 5. This is important because the SOLBET capital group has such a declaration for all of its plants and not only for selected ones, which is a common practice aimed at showing only the „flagship” plant, in order to emphasize its ecological character and reliable approach to sustainable development.

The analysis was carried out based on data from the EPD of the SOLBET capital group, because the CO₂ emission in stages A1-A3 [from the moment of obtaining raw materials to the moment the product leaves the plant gates] amounts to 166 kg CO₂e per 1 m³ of product produced in each of the 7 plants of the SOLBET capital group, while the cited road map for autoclaved aerated concrete indicates an average value of 180 kg CO₂e per 1 m³ of product, which is a result lower by 14 kg CO₂e per 1 m³ of aerated concrete produced. This means that with the production of ABK in the SOLBET capital group at the level of 2.5 million m³ per year, it emits 3,500 tons of CO₂ per year less than assuming the average value presented in the European road map.

6.1. Stage A1 of the environmental declaration

Stage A1 of the EPD refers to the raw material acquisition stage. From the perspective of carbon dioxide emissions in the case of AAC production, it is necessary to look at the production of cement and lime. As mentioned earlier, these industries have plans to use CO₂ capture technology during production. According to data from the Polish Cement Producers Association, in 2017 the clinker to cement ratio was 77%. This means that 23% of cement was supplementary cementitious materials, mainly siliceous fly ash or granulated blast furnace slag. Switching to renewable energy means replacing coal-fired power plants with gas boilers in the first stage and then with nuclear energy. This means the lack of popular cement additives. Currently, 21% of all clinker substitutes are natural pozzolans, limestone or burnt oil shale. It should be noted here that some of the additives in traditional concrete fulfill their role through their fine grain size without causing a decrease in strength. Looking at the AAC production process [Fig. 3], we can see that the sand used in its production is ground. This is related to the use of hydrothermal treatment. Due to the high pressure and temperature, the aggregate takes an active part in chemical reactions, as shown in Fig. 10. Practically unreactive, under normal



Rys. 10. Rozpuszczalność głównych składników ABK w procesie autoklawizacji (19)

Fig. 10. Solubility of the main components of AAC during autoclaving (19)

emisję 3% dwutlenku węgla. Z kolei patrząc na ślad węglowy organizacji niezbędny w raportowaniu ESG należy zwrócić uwagę na CO₂ pochodzące z samochodów firmowych. Dlatego SOLBET od lat preferuje ekologiczne podejście do transportu surowców, które przejawia się w stawianiu na transport kolejowy oraz sukcesywnie rozbudowuje swoją flotę samochodów firmowych o kolejne samochody elektryczne i wodorowe.

6.3. Etap A3 deklaracji środowiskowej

Na niską emisję CO₂ w czasie produkcji ABK w grupie kapitałowej SOLBET ma wiele czynników zaczynając od samych urządzeń produkcyjnych, które są projektowane i wykonywane przez Zakłady Mechaniczne SOLBET, dzięki czemu urządzenia te w 100% pozwalają na produkowanie elementów murowych z ABK o najwyższych standardach, a kończąc na pierwszej w Polsce wytwórni zielonego wodoru [RFNBO – rys. 11]. Własny dział mechaniczny to również ciągle udoskonalanie parku maszynowego poprzez redukcję zużycia energii elektrycznej.

Należy zwrócić uwagę, że transport wewnątrzzakładowy odbywa się za pomocą wózków widłowych elektrycznych lub wodorowych, co również znacząco obniża emisję dwutlenku węgla i wpisuje się w krajowy plan dekarbonizacji. Istotną sprawą jest fakt, że grupa kapitałowa SOLBET posiada 17 turbin wiatrowych, które produkują tyle energii elektrycznej, ile zużywają wszystkie zakłady grupy. Ale energia odnawialna w grupie kapitałowej SOLBET to nie tylko energia wiatrowa, ale również fotowoltaika oraz wcześniej wspomniana produkcja zielonego wodoru.

Niskoemisyjna produkcja to również produkcja z poszanowaniem surowców pierwotnych. Badania przeprowadzone na elementach murowych z ABK obecnych na rynku za pomocą analizy rentgenowskiej XRD, oraz obserwacje pod mikroskopem skaningowym SEM w Centrum Badawczym SOLBET potwierdziły, że podniesienie wytrzymałości na ściskanie elementów murowych generuje zwiększoną konsumpcję surowców

environment, quartz dissolves in autoclaving conditions, reaching chemical equilibrium with calcium hydroxide, which results in the formation of hydrated calcium silicates with a low CaO/SiO₂ molar ratio very quickly. Therefore, the main product of hydration is tobermorite. In the autoclaving process, the degree of reaction of the binders: cement and lime is almost 100%.

Due to the specificity of the autoclaving process, new supplementary cementitious materials should be examined more closely. In this context, Nocuń-Wczelik (20-21) pointed out that even small amounts of additives can affect the course of the reaction in hydrothermal conditions. Therefore, the use of new, low-emission cements can be a significant challenge for AAC producers. The CEMBUREAU association has set its goal to reduce the clinker content from 77% to 74% in 2030 and to 65% in 2050.

6.2. Stage A2 of the environmental declaration

According to the roadmap for ABK, the transport of raw materials to the plant, as well as material to the construction site, is responsible for 3% of carbon dioxide emissions. In turn, looking at the carbon footprint of the organization, necessary in ESG reporting, attention should be paid to CO₂ from company cars. Therefore, SOLBET has for years preferred an ecological approach to the transport of raw materials, which is manifested in the focus on rail transport and successively expanding its fleet of company cars with more electric and hydrogen cars.

6.3. Etap A3 deklaracji środowiskowej

The low CO₂ emission during the production of ABK in the SOLBET capital group is due to many factors, starting from the production equipment itself, which is designed and manufactured by Zakłady Mechaniczne SOLBET, thanks to which these devices allow for



Rys. 11. Pierwsza w Polsce wytwórnia zielonego wodoru uruchomiona w zakładzie SOLBET w Solec Kujawskim

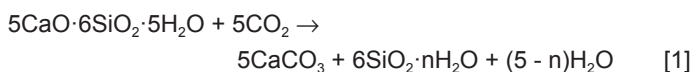
Fig. 11. The first green hydrogen production plant in Poland launched at the SOLBET plant in Solec Kujawski

pierwotnych. Analiza pozwoliła na przeprowadzenie symulacji, dzięki której określono różnicę w zużyciu surowców pierwotnych dla klasy gęstości 600 o wytrzymałości 3,0 N/mm² oraz klasy gęstości 600 o wytrzymałości 5,0 N/mm². Różnica ta wyniosła 115 kg na 1 m³ wyrobu (22). Dlatego też próba promowania materiałów o zwiększonych wytrzymałościach bez praktycznego uzasadnienia jest działaniem sprzecznym z minimalizacją wykorzystywania pierwotnych surowców naturalnych. Dlatego też ofertę firmy SOLBET stanowią produkty o możliwie najlepszych właściwościach, z uwzględnieniem poszanowania środowiska naturalnego. Oszczędność pierwotnych surowców to również odpowiednia kontrola jakości produkowanych wyrobów objawiająca się przede wszystkim jednorodnością i powtarzalnością produkcji. Producenci wyrobów budowlanych w kategorii I muszą zapewnić odpowiednią powtarzalność i jakość produkcji. Znając pojęcia odchylenia standardowego i średniej wytrzymałości na ściskanie można powiedzieć wprost, że jednorodność i powtarzalność produkcji to obowiązek producentów wobec zrównoważonego korzystania z zasobów nieodnawialnych.

Nie da się prowadzić niskoemisyjnej produkcji bez obiegu zamkniętego. W procesie produkcji w zakładach grupy kapitałowej SOLBET produkujących materiały z betonu komórkowego wszystkie powstałe uszkodzenia masy przed procesem autoklawizacji, jak również uszkodzonych bloczków po etapie utwardzania masy zostają w 100% zawrócone do produkcji. Obieg zamknięty, to również maksymalne wykorzystanie wody oraz pary wodnej w procesie produkcji.

6.4. Etap użytkowania materiału budowlanego

W czasie użytkowania elementów z ABK dochodzi do zjawiska karbonatyzacji, co jest procesem naturalnym i bezpiecznym dla elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego (23). Karbonatyzacja w przypadku betonu komórkowego polega głównie na reakcji tobermorytu z dwutlenkiem węgla według reakcji [1] (24 – 30):



Tworzeniu się węglanów wapnia towarzyszy wzrost objętości, co dzięki porowatej mikrostrukturze betonu komórkowego nie jest zjawiskiem negatywnym. Karbonatyzacja w sposób istotny obniża emisję CO₂ w cyklu życia wyrobu. W tym miejscu należy jednak pamiętać, że ilość pochłoniętego dwutlenku węgla rośnie wraz ze wzrostem ilości stosowanych spoiw: cementu i wapna. Najniższą wartość emisji CO₂ osiągną producenci oferujący wyroby o wysokich wytrzymałościach na ściskanie, czyli zużywający duże ilości surowców pierwotnych. Sprzeczność w polega na tym, że część wyrobów może być ekologiczna, jeśli chodzi o emisję dwutlenku węgla, ale będzie sprzeczna ze zrównoważonym rozwojem i sprzeczna z poszanowaniem surowców pierwotnych.

6.5. Etap końcowy życia wyrobu

Zgodnie z Krajowym Planem Gospodarowania odpadami należy zwiększać poziom recyklingu materiałów budowlanych. Na

the production of ABK wall elements of the highest standards, and ending with the first green hydrogen production plant in Poland [RFNBO – fig. 11]. The own mechanical department also means continuous improvement of the machine park by reducing the consumption of electricity.

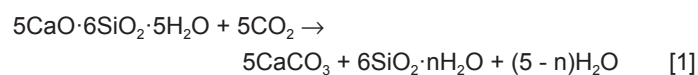
It should be noted that internal transport is carried out using electric or hydrogen forklifts, which also significantly reduces carbon dioxide emissions and is in line with the national decarbonization plan. It is important to note that the SOLBET capital group has 17 wind turbines that produce as much electricity as all the group's plants consume. However, renewable energy in the SOLBET capital group is not only wind energy, but also photovoltaics and the previously mentioned production of green hydrogen.

Low-emission production also means production with respect for primary raw materials. Research conducted on AAC wall elements available on the market using XRD analysis and observations under a SEM scanning microscope at the SOLBET Research Centre confirmed that increasing the compressive strength of wall elements generates increased consumption of primary raw materials. The analysis allowed for conducting a simulation, thanks to which the difference in the consumption of primary raw materials was determined for the density class 600 with a strength of 3.0 N/mm² and the density class 600 with a strength of 5.0 N/mm². This difference amounted to 115 kg per 1 m³ of product (22). Therefore, an attempt to promote materials with increased strength without practical justification is an action contrary to minimizing the use of primary natural raw materials. Therefore, the portfolio of SOLBET includes products with the best possible properties, taking into account respect for the natural environment. Saving primary raw materials also means appropriate quality control of manufactured products, manifested primarily in the uniformity and repeatability of production. Manufacturers of construction products in category I must ensure appropriate repeatability and quality of production. Knowing the concepts of standard deviation and average compressive strength, it can be said directly that the uniformity and repeatability of production are the obligation of manufacturers towards the sustainable use of non-renewable resources.

It is impossible to have low-emission production without a closed cycle. In the AAC elements production process at SOLBET capital group plants, all green mass damages that occurred before the autoclaving process, as well as damaged blocks after the hardening stage, are 100% recycled back to production. A closed cycle also means maximum use of water and steam in the production process.

6.4. Stage of use of building material

During the use of AAC elements, carbonation occurs, which is a natural and safe process for masonry elements made of autoclaved aerated concrete (23). Carbonation in the case of AAC mainly consists in the reaction of tobermorite with carbon dioxide according to the reaction [1] (24 – 30):



7 Międzynarodowej Konferencji Autoklawizowany Beton Komórkowy w Pradze w 2023 roku przedstawiono porównanie ilości betonu komórkowego poddanego recyklingowi, który wcześniej opuścił zakład, jako emisję dwutlenku węgla na podstawie dostępnych deklaracji środowiskowych produktu, co przedstawiono na rys. 12. Z racji recyklingu emisja jest ujemna.

6.6. Deklaracja środowiskowa produktu – wynik

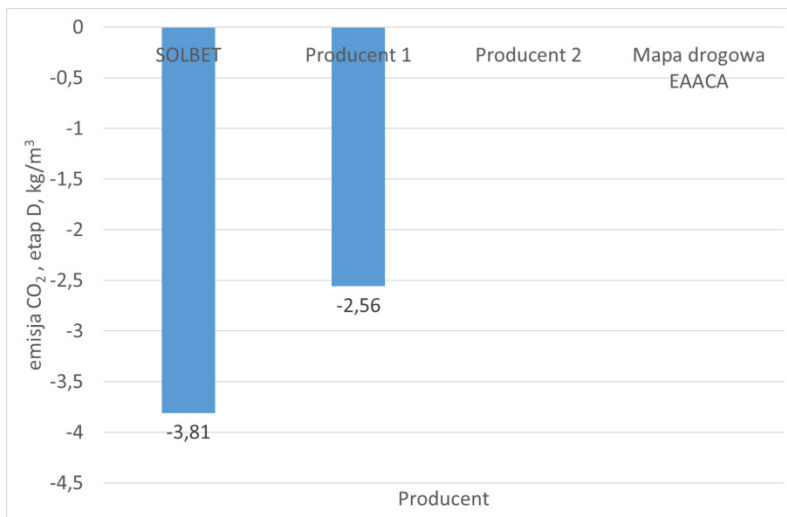
Deklaracja środowiskowa produktu obejmuje cały cykl życia wyrobu, od momentu pozyskania surowców po recykling. Na podstawie ogólnodostępnych deklaracji środowiskowych produktu porównano całkowite emisje dla różnych producentów ABK, co przedstawiono na rys. 13.

7. Wnioski

Nie można mówić o neutralności klimatycznej autoklawizowanego betonu komórkowego bez analizy planów krajowych dotyczących dekarbonizacji oraz bez sukcesu dostawców w obniżaniu śladu węglowego głównych surowców jakimi są cement i wapno. Producenci ABK w ramach swojego procesu produkcyjnego muszą stawiać na rozwój odnawialnych źródeł energii, które pozwolą ograniczyć emisję dwutlenku węgla. Zrównoważony i ekologiczny rozwój betonu komórkowego musi się również wyrażać przez racjonalne wykorzystanie surowców pierwotnych, co można analizować poprzez właściwości oferowanego asortymentu [im wyższa wytrzymałość, tym więcej zużytych surowców]. Biorąc pod uwagę proces karbonatyzacji betonu komórkowego podczas etapu użytkowania można stwierdzić, że jest to materiał, który ma szansę stać się neutralnym klimatycznie do 2050 roku. Przedstawiona analiza pokazuje również, że beton komórkowy jest materiałem, który można poddawać recyklingowi nawet po opuszczeniu bram zakładu. Dlatego należy podtrzymać stwierdzenie, że pomimo upływu lat i zmianie podejścia do kwestii ekologicznych i zrównoważonego rozwoju autoklawizowany beton komórkowy nadal doskonale wpisuje się w te trend, a więc jest materiałem nowoczesnym i przyszłościowym.

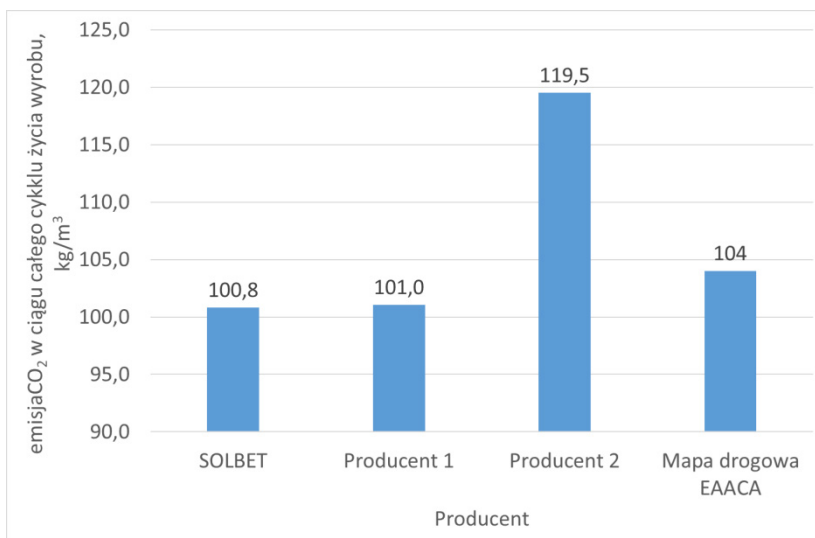
Literatura / References

1. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2022/2464 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie zmiany rozporządzenia (UE) nr 537/2014, dyrektywy 2004/109/WE, dyrektywy 2006/43/WE oraz dyrektywy 2013/34/UE w odniesieniu do sprawozdawczości przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju
2. The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard, Copyright © World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, March 2004. ISBN 1-56973-568-9
3. <https://ab-z.pl/dekarbonizacja-zazielenienie-przedsiębiorstw/slady-węglowy/>



Rys. 12. Porównanie recyklingu ABK na podstawie ogólnodostępnych deklaracji środowiskowych produktu.

Fig. 12. Comparison of AAC recycling based on publicly available environmental product declarations.



Rys. 13. Emisja CO₂ dla różnych producentów ABK na podstawie dostępnych deklaracji środowiskowych produktu EPD (10)

Fig. 13. CO₂ emissions for different AAC manufacturers based on available EPDs (10)

The formation of calcium carbonates is accompanied by an increase in volume, which is not a negative phenomenon thanks to the porous microstructure of AAC. Carbonation significantly reduces CO₂ emissions in the product life cycle. However, it should be remembered here that the amount of absorbed carbon dioxide increases with the increase in the amount of binders used: cement and lime. The lowest CO₂ emission value will be achieved by manufacturers offering products with high compressive strength, i.e. using large amounts of primary raw materials. The contradiction in this is that some products may be ecological in terms of carbon dioxide emissions, but will be contrary to sustainable development and contrary to respect for primary raw materials.

4. PN-EN 15804+A2:2020-03 „Zrównoważenie obiektów budowlanych -- Deklaracje środowiskowe wyrobu -- Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych”

5. A. Paprocki, *Betony komórkowe*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1966.

6. G. Zapotoczna-Sytek, M. Soboń, 60 years of aerated concrete in Poland. The past and the future. V Int. Conf. AAC, Bydgoszcz 2011.

7. H. Jatymowicz, J. Siejko, G. Zapotoczna-Sytek, *Technologia autoklawizowanego betonu komórkowego*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1975.

8. G. Zapotoczna-Sytek, J. Małolepszy, Zrównoważony rozwój, a proces wytwarzania i stosowania elementów z betonu komórkowego. Konferencja Dni Betonu, Wisła 2008.

9. P. Walczak, AAC life cycle: How long can autoclaved aerated concrete buildings be used. *CE/papers* **6**, 41-45 (2023). <https://doi.org/10.1002/cepa.2095>

10. P. Walczak, SOLBET: An example of an eco-friendly company. *CE/papers* **6**, 34-40 (2023). <https://doi.org/10.1002/cepa.1971>

11. O. Kreft, C. Fudge, P. Walczak, Roadmap für eine treibhausgasneutrale Porenbetonindustrie in Europa. *Mauerwerk*, **26**, 77-84 (2022). <https://doi.org/10.1002/dama.202200004>

12. Plan dekarbonizacji kraju. Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. [aktualizacja KPEiK z 2019 r.] – projekt z 29.02.2024. Ministerstwo Klimatu i Środowiska

13. UCHWAŁA NR 96 RADY MINISTRÓW z dnia 12 czerwca 2023 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2028.

14. ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE.

15. Ministerstwo Klimatu i Środowiska – propozycja w ramach AFIR.

16. elektromobilnosc.pl

17. www.solbet.pl

18. Deklaracja Środowiskowa Produktu EPD ABK produkowanego w grupie kapitałowej SOLBET. <https://www.solbet.pl/download-category/deklaracja-srodowiskowa-produktu/>

19. H. Gundlach, *Dampfgehärtete Baustoffe*, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1973.

20. W. Nocuń-Wczelick, *Cem. ent and Concrete Research*, Vol. 27, No. 1., s. 83, 1997

21. W. Nocuń-Wczelick, Effect of some inorganic admixtures on the formation and properties of calcium silicate hydrates produced in hydrothermal conditions. *Cem. Concr. Res.* **27**(1), 83-92 (1997). [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(96\)00191-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(96)00191-3).

22. P. Walczak, CO₂ – Quo Vadis? If CO₂ emission is really an ecological indicator of green production? *CE/papers* **6**, 213-217 (2023). <https://doi.org/10.1002/cepa.2098>

23. P. Walczak, Influence of carbonation on Autoclaved Aerated Concrete (AAC) properties. *CE/papers* **6**, 252-258 (2023). <https://doi.org/10.1002/cepa.2154>

24. C. Alonso C. Andrade, J.A. Gonzales, Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcements in carbonated mortar made with several different cement types. *Cem. Concr. Res.* **18**(5), 687-698 (1988). [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(88\)90091-9.2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(88)90091-9.2).

25. L.J. Parrott, Carbonation, moisture and empty pores, *Adv. Cem. Res.* **4**(15), 111-118 (1992). <https://doi.org/10.1680/adcr.1992.4.15.111>

26. K. Kobayashi K. Suzuki, Y. Uno, Carbonation of concrete structures and decomposition of C-S-H. *Cem. Concr. Res.* **24**(1), 55-61 (1994). [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90082-5)

6.5. End of product life

According to the National Waste Management Plan, the level of recycling of building materials should be increased. At the 7th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete in Prague in 2023, a comparison of the amount of recycled AAC that had previously left the plant was presented as carbon dioxide emissions based on available environmental product declarations, as shown in Fig. 12. Due to recycling, the emission is negative.

6.6. Environmental Product Declaration – Result

The environmental product declaration covers the entire life cycle of the product, from raw material extraction to recycling. Based on publicly available environmental product declarations, the total emissions for different AAC manufacturers were compared, as shown in Fig. 13.

7. Conclusions

It is impossible to talk about the climate neutrality of autoclaved aerated concrete without an analysis of national plans for decarbonisation and without the success of suppliers in reducing the carbon footprint of the main raw materials such as cement and lime. AAC manufacturers must focus on the development of renewable energy sources as part of their production process, which will reduce carbon dioxide emissions. The sustainable and ecological development of AAC must also be expressed through the rational use of primary raw materials, which can be analyzed through the properties of the offered assortment [the higher the strength, the more raw materials used]. Taking into account the carbonation process of AAC during the use stage, it can be said that it is a material that has a chance to become climate neutral by 2050. The presented analysis also shows that AAC is a material that can be recycled after leaving the plant. Therefore, it should be maintained that despite the passage of years and the change in the approach to ecological issues and sustainable development, autoclaved aerated concrete still fits perfectly into this trend, and therefore is a modern and future-proof material.

27. Y. F. Houst F.G. Wittmann, Influence of porosity and water content on the diffusivity of CO₂ and O₂ through hydrated cement paste. *Cem. Concr. Res.* **24**(6), 1165-1176 (1994). [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90040-X)
28. D.J. Anstice C.L. Page, M.M. Page, The pore solution phase of carbonated cement pastes. *Cem. Concr. Res.* **35**(2), 377-383 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.041>
29. N. Hyvert A. Sellier, F. Duprat, P. Rougeau, P. Francisco, Dependency of C-S-H carbonation rate on CO₂ pressure to explain transition from accelerated tests to natural carbonation. *Cem. Concr. Res.* **40**(11), 1582-1589 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.06.010>
30. A. Morandea M. Thiéry, P. Dangla, Investigation of the carbonation mechanism of CH and C-S-H in terms of kinetics, microstructure changes, and moisture properties. *Cem. Concr. Res.* **56**, 153-170 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.015>