

Sytuacja i kierunki rozwoju autoklawizowanego betonu komórkowego w Europie

Current situation and further development of AAC in Europe

Robert Turski^{1,2,*}, Wojciech Rogala³

¹European Autoclaved Aerated Concrete Association [EAACA]

²Xella Polska [Xella North Eastern Europe]

³Warsaw University of Technology

*Corresponding author: R. Turski, e-mail: robert.turski@xella.com

Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualną sytuację branży produkującej autoklawizowany beton komórkowy oraz kierunki rozwoju. Przedstawiono mapę drogową dla branży do osiągnięcia zeroemisyjnej produkcji i cyklu życia produktu do 2050 roku oraz omówiono rodzaje emisji dwutlenku węgla przy produkcji betonu komórkowego i sposoby na ich ograniczenie. W artykule omówiono także metody zwiększające konkurencyjność branży produkującej ABK oraz aktualne i przyszłe wykorzystanie cyfryzacji i mechanizacji prac na budowie.

Słowa kluczowe: autoklawizowany beton komórkowy [ABK], dwutlenek węgla, gospodarka obiegu zamkniętego, ślad węglowy, konstrukcje murowe, zmiany klimatyczne, prefabrykacja, rekarbonizacja, digitalizacja, mechanizacja prac na budowie

Summary

The article presents the current situation of the industry manufacturing autoclaved aerated concrete and the possibilities for further development. It presents a roadmap for the industry to achieve net-zero-emission during production and life cycle till 2050, and discusses the sources of carbon dioxide emissions in the production of AAC and methods, which can be taken to reduce them. The article also discusses ways to increase the competitiveness of the AAC manufacturing industry as well as current and future ways of using digitisation and mechanisation on construction sites.

Keywords: autoclaved aerated concrete [AAC], carbon dioxide, circular economy, carbon footprint, masonry, climate change, precast structures, recarbonation, digitalisation and mechanisation on construction site

1. Wprowadzenie

Autoklawizowany beton komórkowy [ABK] stał się w całej Europie jednym z najczęściej stosowanych materiałów budowlanych w budownictwie mieszkaniowym jedno- i wielorodzinnym, komercyjnym i przemysłowym. Powszechnie używany jest też na rozwijającym się rynku remontów i renowacji budynków. ABK to materiał lekki, ale zarazem wytrzymały i trwały, posiadający bardzo wysoką izolacyjność termiczną [$\lambda = 0,072 \text{ W/(mK)} - 0,19 \text{ W/(mK)}$] (1) i odporność ogniową [REI 240 dla przegrody o grubości 17,5 cm] (2) oraz optymalną wytrzymałością na ściskanie, która jest wystarczająca w większości obiektów wznoszonych w technologii murowanej. Nieduży ciężar elementów [ok. 20% ciężaru tradycyjnego betonu] sprawia, że produkty z ABK są łatwe w obróbce, cięciu i kształtowaniu, za pomocą standardowych narzędzi. Czas budowy w technologii betonu komórkowego jest zwykle 2-5 razy

1. Introduction

Autoclaved aerated concrete [AAC] has become one of the most widely used building materials around Europe for residential, commercial and industrial construction. It is also widely applied in the growing market of building renovation. AAC is a lightweight, yet strong, and durable building material, that offers ultra-efficient thermal insulation [$\lambda = 0,072 \text{ W/(mK)} - 0,19 \text{ W/(mK)}$] (1), fire protection [REI 240 for partitions with a thickness of 17,5 cm] (2), and an optimal compressive strength, which is sufficient for most buildings, erected as masonry construction. Furthermore, due to its light weight [20% of the weight of conventional concrete], AAC products are easy to handle, cut and shape, with standard tools. Construction times are typically 2-5 times faster with AAC than the other masonry technologies. AAC is also durable and long-lasting with a reference service life of 150 years. Due to those unique

krótszy niż w innych technologiach murowych. ABK odznacza się także dużą trwałością, szacowaną na 150 lat. Ze względu na te wyjątkowe właściwości ABK znajduje zastosowanie we wszelkich rodzajach budynków i wszystkich wariantach rozwiązań ściennych, od ścian zewnętrznych, po wewnętrzne i działowe, zarówno nośne, jak i nienośne.

Całkowita produkcja ABK na rynku europejskim wynosi około 18 mln metrów sześciennych, co czyni Europę drugim pod względem wielkości rynkiem ABK na świecie, po regionie Azji i Pacyfiku (3).

Dalszy wzrost i rozwój branży ABK będzie zależał od odpowiedzi tego sektora na współczesne wyzwania stawiane przed przemysłem budowlanym, który jest kluczowy dla całej gospodarki Unijnej, zapewniając 18 milionów bezpośrednich miejsc pracy i wytwarzając około 9% PKB Unii Europejskiej (4).

2. Przyszłe trendy i wyzwania stojące przed branżą budowlaną w Europie

Według Komisji Europejskiej (4) główne wyzwania dla branży budowlanej są następujące:

- poprawa efektywności energetycznej w budynkach już istniejących i przeznaczonych do remontu lub renowacji, co stanowi największy potencjał do stymulowania popytu,
- szkolenia specjalistyczne i uatrakcyjnienie całego sektora, w szczególności dla pracowników fizycznych, szkół i wyższych uczelni technicznych,
- aktywniejsze wdrażanie nowych technologii,
- energooszczędność i zmiany klimatyczne.

Wnioski Komisji Europejskiej potwierdzone są przez wyniki wielu badań rynkowych i analiz, wskazujących na te same problemy i wyzwania, przed którymi stoi branża budowlana: zbyt wolne wdrażanie nowych technologii, nasilający się deficyt wykwalifikowanej siły roboczej z uwagi na jej starzenie się i małą atrakcyjność branży dla młodych osób, stagnacja poziomu produktywności - wydajności.

Odpowiedzią na te wyzwania, a tym samym głównymi celami i ambicjami branży ABK, jest poprawa konkurencyjności, oszczędność zasobów i zrównoważony rozwój. Jest to zgodne z założeniami polityki Komisji Europejskiej, wobec całego przemysłu budowlanego (4).

Poprawa efektywności energetycznej w budynkach już istniejących i renowacja

Według szacunków Komisji Europejskiej, obecnie około 75% zasobów budowlanych w całej Unii jest nieefektywnych energetycznie. Oznacza to, że duża część zużywanej energii marnuje się. Straty te można zminimalizować przez modernizację już istniejących budynków oraz stosowanie inteligentnych rozwiązań i energooszczędnych materiałów, przy budowie nowych domów (4).

Modernizacja już istniejących budynków mogłaby zmniejszyć całkowite zużycie energii w UE o 5-6%, a emisję dwutlenku węgla

properties, the AAC is applied in all kinds of building types and in all kinds of wall solutions, from external to internal and partition walls, load-bearing, as well as non-bearing solutions.

Measured by the total output in millions of cubic metre, the European AAC market is valued at roughly 18 millions of cubic metre m³, which place Europe as second biggest market of AAC in the world, after Asia-Pacific region (3).

Further growth and development of the AAC will depend on how the AAC industry will respond and solve the challenges of the construction industry. The construction industry is vital to overall EU economy, by providing 18 million direct jobs and contributing to about 9% of the EU's GDP.

2. Future trends and challenges of the European construction industry

According to the European Commission (4), the main challenges of the construction industry are:

- efficiency improvements in existing buildings and renovations, that have the highest potential to stimulate the demand,
- improving specialised training and making the sector more attractive, in particular for blue-collar workers, technical colleges and universities,
- more active uptake of new technologies,
- efficiency and climate change.

It corresponds to and it is confirmed by overall results of different market studies and surveys, showing the same problems and challenges the construction industry is facing: slow technology adoption, shortage of skilled labour with aging workforce and poor record on attracting young people, stagnated levels of production - productivity.

The answer to these challenges, and thus the main goals and ambitions of the AAC industry, is to improve competitiveness, save resources and sustainability. This is in line with the assumptions of the European Commission's policy, towards the entire construction industry (4).

Efficiency improvements in existing buildings and renovations

The European Commission estimates that, as of today, roughly 75% of the EU building stock, is energy inefficient. This means that a large part of the energy used goes to waste. This energy loss can be minimized by improving existing buildings and striving for smart solutions and energy-efficient materials, when constructing new houses (4).

Renovating existing buildings could reduce EU total energy consumption by 5-6% and reduce carbon dioxide emissions by about 5%. However, on average, less than 1% of the national building stock is renovated each year [Member State rates vary from 0.4% to 1.2%]. To meet European climate and energy, current rates of renovations should at least double, according to the European Commission (4).

o około 5%. Tymczasem co roku remontuje się średnio poniżej 1% krajowych zasobów budowlanych - w poszczególnych państwach członkowskich waha się to od 0,4% do 1,2%. Według Komisji Europejskiej, aby zrealizować unijne cele klimatyczne i energetyczne, wskaźniki te powinny się co najmniej podwoić (4).

Szkolenia specjalistyczne i uatrakcyjnienie całego sektora

Już przed pandemią branża budowlana miała trudności z przyciągnięciem wystarczającej liczby wykwalifikowanych pracowników, by sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu. W perspektywie średnio- i długoterminowej, problem z wykwalifikowaną siłą roboczą na placach budowy może się jeszcze nasilić. Obecnie ponad jedna piąta pracowników w branży to osoby w wieku powyżej 55 lat, a zaledwie co dziesiąty nie ukończył jeszcze 25 lat. Odchodzenia na emeryturę starszych pracowników przewyższa zatrudnianie młodszych (5).

Według PwC (5) wpływ na rynek pracy będą też miały przemiany struktury pokoleniowej - tradycjoniści, powojenny wyż, pokolenie X, milleniarsi i międzypokoleniowe różnice w etyce pracy, postawach i światopoglądzie. Ponieważ dobrze wykształceni i doświadczeni tradycjoniści już niemal odeszli z rynku pracy, a pokolenie wyżu demograficznego przechodzi na emeryturę, przewiduje się, że wkrótce połowę globalnej siły roboczej będą stanowić milleniarsi. Niestety wielu z nich ma niewielkie, bądź zgoła żadne doświadczenie w branży budowlanej i nie interesuje się nią.

W przyciągnięciu młodszych pokoleń i zwiększeniu wydajności, przez zmniejszenie zapotrzebowania na siłę roboczą, może pomóc uprzemysłowienie procesu budowlanego i zastosowanie nowych technologii, zwłaszcza cyfrowych.

Aktywniejsze wdrażanie nowych technologii

Liczne badania i analizy wykazały, że w porównaniu z większością innych gałęzi przemysłu, budownictwo wolno wykorzystuje innowacje technologiczne - drony, rzeczywistość wirtualną, roboty, druk 3D, internet. Nowe technologie wywołują zaburzenia w branży, ale też stwarzają nowe możliwości, rozwiązując problemy niewystarczającej komunikacji, małej efektywności, niezrównoważonego rozwoju i niedoboru wykwalifikowanej siły roboczej. Cyfryzacja i mechanizacja robót budowlanych znajduje coraz więcej zastosowań w branży. Przykładowo znaczna część projektów jest realizowana w systemie „Projektuj i Buduj” - design-build, co wymaga komunikacji na wyższym poziomie pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego. Zarządzanie projektami wykorzystującymi BIM [z ang. Building Information Modeling] znacznie ułatwia budowanie w tym systemie. Jak się oczekuje, branżę będzie stopniowo zmieniać postęp technologiczny i upowszechnienie oprogramowania do zarządzania projektami, zwłaszcza Building Information Modeling. Wedle przewidywań rozwiązania BIM znajdą zastosowanie nie tylko przy projektowaniu architektonicznym i konstrukcyjnym, ale także w projektowaniu zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. W miarę upowszechniania się zrównoważonego budownictwa system BIM, umożliwiający gromadzenie ogromnych ilości danych na temat zastosowanych technologii i ich

Improving specialised training and making the sector more attractive

Already before the pandemic, the construction industry faced the problem of attracting enough skilled staff, to meet its growing demand. In the mid- and long term, the problem with the qualified personnel on the construction sites can even increase. Currently, more than a fifth of the industry employees are aged 55+. On the contrary, only one tenth of the employees is of age 25 or younger. The rate at which older employees are retiring outpaces, that of incoming younger ones (5).

Also the change of the structure of the generations - traditionalist, baby-boomers, Generation X, millennials and the differences to the work ethic, attitude, outlook between the generations will influence the labour market, according to PwC (5). While well-educated and experienced traditionalists almost left the workforce and baby boomers are going to retire, millennials are expected to represent half of the global workforce. Unfortunately, many of them have little to zero experience or interest in the construction industry.

Industrialisation of the construction process, incorporating new technologies, especially digital, can improve productivity - less need for workforce and attract younger generations.

More active uptake of new technologies

Numerous surveys and studies have shown that the construction industry is, in comparison to most other industries, slow in incorporating new technologies - drones, VR, robots, 3D printing and IoT. New technologies are disrupting the industry, but they provide new opportunities, solve the problems of inadequate communication, poor productivity, skilled labour shortage, and sustainability issues. Digitisation and industrialisation - mechanisation, finds more and more applications in construction industry. For example, significant part of projects is implemented in the “design-build” system, which requires higher-level communication, between participants of construction process. Project management using BIM, significantly facilitates the building erection in this system. Technological advancements and project management software, especially Building Information Modeling [BIM], are expected to change the industry gradually. BIM solutions are also predicted to be useful not only in structural and architectural design, but also will play an important role in the design of sustainable buildings. As sustainable building designs become more common, BIM’s capacity to gather and manage enormous volumes of data, relating to the used technologies and its influence for environment is likely to be a beneficial tool for the construction industry (6). After supplementing BIM models with environmental related data, it is possible to obtain reliable calculations of primary energy consumption and to evaluate and optimise the building impact on environment..

Efficiency and climate change

The overall pace of innovation in the construction industry is undermined by disappointing productivity of the construction sector, as a whole. Compared to other sectors, the global productivity

wpływu na środowisko oraz zarządzanie nimi, stanie się zapewne cennym narzędziem dla branży budowlanej (6). Wprowadzając dane środowiskowe produktów do modeli BIM, możliwe jest uzyskanie rzetelnych obliczeń zużycia energii pierwotnej oraz ocena i optymalizacja wpływu obiektu budowlanego na środowisko.

Energooszczędność i zmiany klimatyczne

Ogólne wprowadzenie innowacji w budownictwie spowalnia niezadowalającą produktywność całego tego sektora. Jej globalny wzrost od dawna pozostaje w tyle, w porównaniu z innymi branżami. W ciągu ostatniego stulecia metody stawiania nowych domów niewiele się zmieniły i poprawiły (7).

Co więcej, budynki odpowiadają obecnie za około 40% zużycia energii w UE i 35% emisji gazów cieplarnianych, pochodzących z produkcji energii (4). Budownictwo jest również największym globalnym konsumentem surowców. Zmiany klimatyczne, gospodarka wodna i zrównoważone wykorzystanie surowców to problemy środowiskowe, które stanowią coraz większe wyzwanie dla branży budowlanej. W dużym uogólnieniu można stwierdzić, że osiągnięcie przez nią globalnych celów w zakresie redukcji emisji dwutlenku węgla, będzie bardzo trudne.

Negatywne efekty cieplarniane pochodzące od budynków są kombinacją dwóch rodzajów emisji: użytkowej [ang. operational] i wbudowanej [ang. embodied]. Pierwsza to emisja dwutlenku węgla związana z codziennym funkcjonowaniem danego budynku, energią wykorzystywaną do oświetlenia, ogrzewania lub chłodzenia domu, mieszkania, biurowca czy galerii handlowej, w ramach ich użytkowania. Emisja wynikająca z eksploatacji budynków stanowi 26% całej rocznej emisji dwutlenku węgla (4). Drugi rodzaj emisji, wbudowanej, odnosi się do emisji związanych z wznoszeniem, bieżącym utrzymaniem i ewentualną rozbiórką obiektu budowlanego. Łącznie jest to około 10% całej emisji (4), choć jej wielkość zależy od rodzaju budynku i materiałów użytych do jego budowy. Obecnie użytkowa emisja dwutlenku węgla ma większy udział w emisji globalnej niż wbudowana. Przewidywane zmiany to, ponieważ budynki stają się bardziej energooszczędne. W wielu nowoczesnych budynkach proporcje emisji użytkowej i wbudowanej już się wyrównały (7). Zmiany te będą stanowiły wyzwanie, zwłaszcza dla producentów materiałów budowlanych.

3. Odpowiedź branży ABK na główne wyzwania dla budownictwa

Poprawa konkurencyjności

Podstawowe parametry bloczków z betonu komórkowego dostępnych na rynku są wystarczające dla większości zamierzeń budowlanych, a ich poprawa w niewielkim stopniu może zwiększyć udziały rynkowe ABK. Konkurencyjność można poprawić głównie dzięki zwiększeniu wydajności samego procesu budowy. Osiąga się to przez optymalizację wielkości siły roboczej - mniejszą ilość pracowników, skrócenie czasu budowy lub zwiększenie produkcji poprzez lepsze wykorzystanie tych samych zasobów, w tym samym czasie.

growth of the construction industry, is long lag behind. The building methods of new homes have barely changed and improved over a century (7).

Additionally, as of today, buildings are responsible for about 40% of the EU's energy consumption and 35% of greenhouse gas emissions from energy (4). Moreover, the construction industry is the largest global consumer of raw materials. Climate change, water management, and sustainable management of raw materials are environmental issues, that pose a growing challenge to the construction industry. Overall, we can say that achieving targets for global carbon dioxide emissions reduction will be a major challenge for the construction sector.

The negative greenhouse effects of buildings are the combination of two types of emissions: operational and embodied. The first are the carbon emissions produced in the daily operation of the building: energy used to light up, heat or cool the house, the flat, office bloc or shopping mall, thus named the operational. The carbon emissions produced during the building exploration phase are responsible for 26% of all annual carbon dioxide emissions (4). The second type of carbon emissions is embodied carbon dioxide, which refers to emissions tied to the building process, maintenance, and any demolition. Overall, embodied carbon emission accounts for around 10% of all emissions (4), although it will vary depending on the type of building and the type of the material used and applied in the construction. Today, operational carbon accounts for a larger share of global emissions than the embodied one. This situation is expected to change as buildings become more energy efficient. In many modern buildings, the proportion of operational and embodied emissions is already equal (7). This development will particularly challenge the producers of building materials.

3. How the AAC industry responds to the main challenges of the construction sector

Improving the competitiveness

The basic properties of aerated concrete blocks available on the market are sufficient for most construction projects, and their improvement may slightly increase the AAC market share. Competitiveness can be improved mainly by increasing the efficiency of the construction process itself. This is achieved by optimising the size of the workforce - fewer workers, reducing construction time or increasing production by making better use of the same resources, at the same time.

From the perspective of AAC industry, efficiency improvements which, due to the low density, ease of processing and larger dimensions of standard blocks than in other technologies, remains high, can be obtained by:

- large formats and modular AAC building panels,
- mechanisation and automation,
- digitalisation of the process / BIM,
- logistic improvements,

Z punktu widzenia branży ABK, poprawę efektywności, która z uwagi na małą gęstość, łatwość obróbki i większe niż w innych technologiach wymiary standardowych bloczków i tak pozostaje wysoka, można uzyskać przez:

- wielkoformatowe i modułowe produkty budowlane z betonu komórkowego: płyty, panele i elementy murowe o większych rozmiarach,
- mechanizację i automatyzację,
- digitalizację procesu budowy / BIM,
- usprawnienia logistyczne,
- tzw. rozwiązania jednowarstwowe, czyli przegrody o dużej izolacyjności termicznej, bez dodatkowej warstwy izolacji.

Wielkoformatowe i modułowe elementy z betonu komórkowego

Z betonu komórkowego wytwarza się bardzo szeroką gamę produktów, od standardowych elementów murowych, przez bloki wielkoformatowe, po elementy modułowe: płyty, panele – co jest wyjątkowe, w porównaniu z innymi mineralnymi materiałami do budowy ścian. Warto podkreślić, że prefabrykaty z betonu komórkowego były produkowane w Polsce już w latach 50. ubiegłego wieku (8,9). Dzięki elementom wielkoformatowym czas budowy skraca się nawet o 25%, w porównaniu do drobnowymiarowych elementów z betonu komórkowego. Modułowe płyty ścienne z ABK do budowy ścian działowych pozwalają stawiać je cztery razy szybciej, niż w przypadku konwencjonalnych technologii murarskich. Gładkie panele nie wymagają tradycyjnego tynkowania, co dodatkowo poprawia efektywność budowy. Modułowe płyty z ABK umożliwiają też ekspresowy montaż ścian konstrukcyjnych zewnętrznych i wewnętrznych – około cztery razy szybciej niż z elementów murowych, o standardowych wymiarach. System ten



Rys. 1. Budowa z elementów wielkoformatowych z betonu komórkowego [fot. Xella Polska Sp. z o.o.]

Fig. 1. Construction of large-format masonry units made of AAC [photo by Xella Polska Sp. z o.o.]

- efficient monolithic solution - partitions with low thermal conductivity, which covers the requirements, without additional layer of insulation.

Large-scale and modular AAC building panels

The AAC product portfolio ranges from standard blocks, through large format blocks to modular panels, which is unique compared to other mineral wall building materials. It is worth noting that pre-fabricated aerated concrete products were produced in Poland as early as the 1950s (8,9). Due to the large dimensions of the blocks, construction time is reduced by up to 25%, with large blocks comparing to standard AAC blocks. With modular AAC panels for the construction of partition walls, the construction takes place up to 4 times faster than in the case of conventional masonry technologies. Smooth AAC surfaces do not require plastering, which also provides an additional improvement in efficiency. Modular AAC panels allow for also rapid assembly of structural walls - external and internal, 4 times faster, compared to traditional technologies. The system combines the advantages of prefabrication with excellent properties of AAC, including high thermal insulation of partitions, and the highest accuracy of elements.

Large-format and modular elements of autoclaved aerated concrete

The large format blocks and panels improve not only the construction time and reduce the number of craftsmen needed on the construction site, but also improve the costs of the assembling of the walls. The large format blocks and panel systems are well established in Western Europe, especially in the Netherlands, Germany, the UK and Scandinavia. The share of the labour costs out of the total costs of the square metre ready wall solution, ranges from around 60% in Germany to 75% in the Netherlands. In Central and Eastern Europe the market for large formats and panels is in early development stage. This is due to relatively low labour costs in the past decades. However, the situation in many Central and Eastern European countries has changed already before the pandemic, where the construction industry had experienced shortages in



Rys. 2. Budowa z płyt prefabrykowanych z betonu komórkowego [fot. H+H UK Ltd.]

Fig. 2. Construction of precast elements of AAC [photo by H+H UK Ltd.]

łączy zalety prefabrykacji z doskonałymi właściwościami betonu komórkowego, takimi jak wysoka izolacyjność termiczna przegród i precyzja wykonania elementów.

Bloki wielkoformatowe

Wielkoformatowe bloki i modułowe płyty z betonu komórkowego nie tylko skracają czas budowy i redukują liczbę pracowników potrzebnych na budowie, ale także zmniejszają koszty montażu ścian. Systemy te są popularne w Europie Zachodniej, zwłaszcza w Holandii, Niemczech, Wielkiej Brytanii i Danii. Udział kosztów robocizny w całkowitym koszcie metra kwadratowego gotowego rozwiązania ściennego, waha się od około 60% w Niemczech do 75% w Holandii. W Europie Środkowo-Wschodniej rynek wielkoformatowy znajduje się w początkowej fazie rozwoju. Wynika to ze stosunkowo niskich kosztów robocizny, w ostatnich kilkudziesięciu latach. Sytuacja w wielu z tych krajów zmieniła się jednak jeszcze przed pandemią, kiedy to w budownictwie nastąpił niedobór wykwalifikowanej siły roboczej i wzrost kosztów pracy. Na przykład w Polsce jeszcze dekadę temu stanowiły one zaledwie 20-25% kosztów całkowitych, podczas gdy obecnie sięgają już 50%, z tendencją wzrostową. Dynamika wzrostu kosztów prac fizycznych na przestrzeni ostatnich lat, jest większa niż ogólny wzrost wynagrodzeń.

Mechanizacja i automatyzacja robót budowlanych

Murowanie to jedna z najbardziej pracochłonnych prac budowlanych. Dla przykładu: średniej wielkości dom z bloczków silikatowych wymaga przeniesienia i wbudowania ok. 40-80 ton materiałów, co odpowiada ok. 8 tonom na trzyosobową brygadę, w trakcie jednej zmiany roboczej. Prace montażowe można zmechanizować dzięki zastosowaniu specjalnych żurawi i miniżurawi, co pozwala praktycznie znacznie ograniczyć wysiłek fizyczny pracowników budowlanych (Rys. 3).

Elementy wielkoformatowe i modułowe oraz wykorzystanie miniżurawi mają też ten pozytywny efekt uboczny, w postaci odpowiedzi na niedobór wykwalifikowanej siły roboczej. Zmniejszenie wysiłku fizycznego przyciąga młodsze pokolenie, a specjalistom w średnim wieku pozwoli dłużej utrzymać zatrudnienie. Szkolenie pracowników i podnoszenie ich kwalifikacji w zakresie obsługi żurawi budowlanych i miniżurawi, jest stosunkowo łatwe i niezbyt czasochłonne. Elementy wielkoformatowe i modułowe oraz mechanizacja i automatyzacja prac budowlanych sprawią, że dzisiejsi murarze przekwalifikują się w monterów rozwiązań ściennych.

Cyfryzacja procesu / BIM

BIM [ang. Building Information Modeling], czyli modelowanie informacji o budynku, na przestrzeni dwóch dekad rozwinął się w potężne narzędzie. W ciągu ostatnich kilku lat rozwiązania BIM zyskały sporą popularność wśród architektów, inżynierów i konsultantów. Po te nowe i innowacyjne rozwiązania cyfrowe, coraz chętniej sięgają też firmy budowlane (10). Dzięki częstym aktualizacjom oprogramowanie BIM służy generalnym wykonawcom, nie tylko do wykrywania kolizji. Należy jednak zauważyć, że

the skilled labour and increase of the labour costs. In Poland, for example, a decade ago, the share of the labour costs represented only 20-25% of total costs, whereas currently the share of labour amounts to already 50%, with upward trend. The dynamics of the increase in the cost of physical labour in recent years, is higher than the overall increase in wages and salaries.

Mechanisation and automation of the construction works

Bricklaying is one of the most labour-intensive construction works. For example: a medium-sized house made of sand-lime blocks is approx. 40 to 80 tonnes of material that must be carried from the pallet to the place of installation, which corresponds to approx. 8 tons for three-person brigade, during one shift. The assembly works are mechanised thanks to the use of a special cranes and mini-cranes (Fig. 3), which allows the physical effort of the contractors to be limited, to the necessary minimum.

The deployment of large formats and mini-cranes has also a positive "side effect", that are the possible answer to the shortage of skilled labour. Reduction of the manual workload intensity will attract the younger generation, whereas the middle-aged professionals can extend the plans for being employed, beyond current plans. Training and upgrading of the skills to use cranes and mini-cranes are relatively easy and the not time-consuming. With the large formats and panels together with the mechanisation and automation of the construction work, future bricklayers will become the future installers of wall solutions.

Digitalisation of the process / BIM

BIM [Building Information Modeling] has developed in two decades, to a powerful tool. In the past few years, BIM tools and solutions have grown in popularity in the community of architects, engineers, and consultants. Currently construction companies are beginning to accept and use these new and innovative environments (10). General contractors have been recognised to increase their usage of BIM beyond preconstruction model clash detection with frequent software updates. Although there is acceptance, the use and



Rys. 3. Wykorzystanie miniżurawia na budowie z betonu komórkowego [fot. Xella Polska sp. z o.o.]

Fig. 3. Minicrane use on construction from AAC [photo by Xella Polska sp. z o.o.]

firmy budowlane na ogół dopiero zaczynają wdrażać technologię BIM i wykorzystywać jej możliwości – w różnych krajach w różnym stopniu.

Następnym krokiem będzie wspólne dla wszystkich uczestników procesu budowlanego: inwestorów, inspektorów, kierowników budów, projektantów, generalnych wykonawców, firmy budowlane i producentów, aż po twórców oprogramowania, stosowanie rozwiązań BIM, w codziennych działaniach na placu budowy.

Branża ABK jest pionierem we wdrażaniu rozwiązań ściennych BIM, wdrażając narzędzia do optymalizacji modeli 3D ścian, wykrywania kolizji i automatycznych zestawień materiałów na podstawie modelu, tworzeniu harmonogramów dostaw i planowaniu budowy. Narzędzia BIM są także wykorzystywane do automatycznego rozmieszczania elementów wielkoformatowych i modułowych, przy projektowaniu ścian m.in. w Polsce i Czechach.

Nasilił się trend integracji BIM z systemami AR [rzeczywistość rozszerzona, z ang. Augmented Reality], w których użytkownicy mogą oglądać świat wirtualny i wchodzić z nim w interakcje. Rosnąca popularność tego rodzaju rozwiązań sprzyja rozwojowi rynku, ponieważ poprawia komunikację między uczestnikami procesu budowlanego i zapewnia lepszą wizualizację projektantom, inżynierom i innym osobom zainteresowanym w realistyczne wrażenia, obcowania z projektowanym budynkiem.

Branża ABK jest też pionierem w dziedzinie integracji BIM z systemami AR/VR, zwłaszcza jeśli chodzi o rozwiązania budowy ścian. Istnieją już systemy umożliwiające wykorzystanie rzeczywistości

utilisation of the possibilities are mostly in the early stage among construction companies and vary from country to country.

The next step will be to bring all the actors of the construction process together, from general contractors, architects to engineers, construction companies, manufacturers, software developers and to start using the BIM solutions in daily operations on the construction sites.

The AAC industry is pioneering the process of deployment BIM wall solutions, with already first optimization 3D models of walls, detection of the collisions of walls and other materials, automated list of materials based on the model, creating delivery schedules, and planning construction. BIM tools are also used for the automatic placement of large-format and modular elements in the design of walls, including in Poland and the Czech Republic.

The trend of BIM integration with AR/VR, in which users view and interact with a virtual world, has grown. The growing popularity of BIM integration with AR/VR is beneficial for market growth because it improves communication among stakeholders and provides better visualisation for designers, engineers, and other stakeholders, allowing for one-to-one completely immersive experiences one-to-one.

Also with respect to the BIM integration with AR/VR, the AAC manufacturers pioneered the industry, especially the wall building solutions. There are already existing practices, which enable using augmented reality [AR] on construction sites with assembly plans as a 3D model in AR, coordination on virtual models in the



Rys. 4. Przykład modelu wykorzystującego rozszerzoną rzeczywistość [AR] [fot. Xella Polska sp. z o.o.]

Fig. 4. An example of a model using augmented reality [AR] [photo by Xella Polska sp. z o.o.]

rozszerzonej na placu budowy – plany montażowe mają tam postać wirtualnych modeli 3D, na których można koordynować prace w środowisku budowlanym i kontrolować ich wykonanie, a także szkolić nowych monterów (11).

Logistyczne usprawnienia na placu budowy

Wszystkie wymienione wyżej zalety betonu komórkowego, od dostępności wielkoformatowych elementów i płyt modułowych, przez mechanizację i automatyzację prac budowlanych - wykorzystanie robotów do wznoszenia ścian, po zastosowanie oprogramowania BIM i cyfrowego planowania oraz procesów z rzeczywistością wirtualną i rozszerzoną. Można je wzmocnić przez integrację ich wykorzystania z dronami, które poprawią wydajność i mogą radykalnie przeobrazić budownictwo (12).

Efektywne rozwiązania jednowarstwowe z ABK

Obecnie głównymi rynkami europejskimi, o stosunkowo dużym udziale rozwiązań jednowarstwowych - ścian, które spełniają wymagania termiczne bez dodatkowej izolacji, są Niemcy, Czechy, Polska i kraje skandynawskie. Dzięki dużej izolacyjności termicznej i możliwości uzyskania ujemnej emisji CO₂ netto, ABK ma najlepsze warunki do utrzymania, a nawet zwiększenia swojej pozycji, w rozwiązaniach do budowy ścian jednowarstwowych. Wykorzystując środowiskową analizę cyklu życia budynku [LCA, z ang. Life Cycle Assessment] można wykazać, że rozwiązania monolityczne - jednowarstwowe, z ABK przyczynią się do ograniczenia zużycia energii, także na potrzeby chłodzenia, i obniżenia emisji gazów cieplarnianych przez budynki, zarówno wbudowanej, jak i użytkowej. Analizę LCA wykonuje się w oparciu o deklarację środowiskową produktów [ang. Environment Product Declaration, EPD]. Uwzględnia ona całkowitą emisję od etapu wydobycia surowców i wytworzenia produktów z ABK, przez transport, prace budowlane i użytkowanie gotowego budynku, po jego rozbiórkę po zakończeniu eksploatacji, przetworzenie odpadów i ich utylizację.

Efektywne wykorzystanie zasobów – gospodarka obiegu zamkniętego

Utylizacja i ponowne wykorzystanie ABK w obiegu zamkniętym, może początkowo zmniejszyć emisję, nawet o 15%. Po dekarbonizacji surowców cementowo-wapiennych do 2050 roku, emisja zmniejszy się do poziomu 1% obecnej wartości. W przypadku produktów z ABK do 20% surowców można zastąpić przez wykorzystanie:

- szlamu powstającego przy produkcji bloczków i odpadów produkcyjnych - niepełnowartościowych bloczków,
- produktów z ABK, które powstają przy docinaniu elementów na placach budowy,
- ABK pozyskiwanego przy rozbiórce obiektów (13).

Ponieważ przewiduje się, że po 2040 roku roczna ilość odpadów z betonu komórkowego w Europie, będzie przekraczać wielkość jego produkcji, istnieje spory potencjał dla stworzenia ogólnobranżowego obiegu zamkniętego, produktów z ABK.

construction environment, work execution control, assistance in training new installers (11).

Logistic improvements on the construction site

By integrating the elements mentioned above altogether, from large formats and panels, mechanisation and automation- robots, of construction works for the deployment of BIM and digital planning software and processes with virtual and augmented reality, drones will improve the efficiency and will change dramatically the construction industry (12).

Efficient monolithic solutions with AAC

Currently, the major European markets with relatively high market share of the monolithic solutions are Germany, Czech Republic, Poland, and Scandinavian countries. With its excellent thermal performance and the potential to achieve net negative CO₂ emissions, AAC has the best prerequisites to maintain or even increase its position in the single layer wall solution. Using the Life Cycle Analysis might be proved, that AAC monolithic AAC solutions will significantly reduce the energy consumption and greenhouse gas emissions of buildings both embodied and operational carbon emissions, based on the Life-Cycle Analysis [LCA] approach. The LCA is based on an Environmental Product Declaration [EPD] and covers the full cradle-to-grave emissions, from the production of the raw materials and manufacture of the AAC product, to transport, building site construction and the use stage of the completed building, through to end-of-life demolition, waste processing and disposal.

Resource efficiency – circularity

Adopting circular processes for the recycling and reuse of AAC, has the potential to initially reduce emissions by up to 15%. Once the raw materials: cement and lime are decarbonized by 2050, the emissions will then declining to 1%. For AAC production, up to 20% of cement and lime raw materials, can be replaced through the use of:

- AAC scrap and leftovers occurring from production,
- leftover AAC off-cuts from construction sites,
- AAC recovered from building demolition rubble (13).

With annual waste volumes of AAC expected to exceed production volumes in Europe from 2040 onwards, there is significant potential to establish an industry-wide circular economy process, for AAC.

4. Closed-loop material cycle of AAC

As already stated above, responding to climate change, especially achieving targets for global carbon dioxide emissions reduction, will be a major challenge for the construction sector.

In 2022, the European Autoclaved Aerated Concrete Association [EAACA] and its members committed to a roadmap which aligns with the objectives of the Paris Agreement to limit global warming to 1.5°C and supports policies to the de-carbonise Europe's built

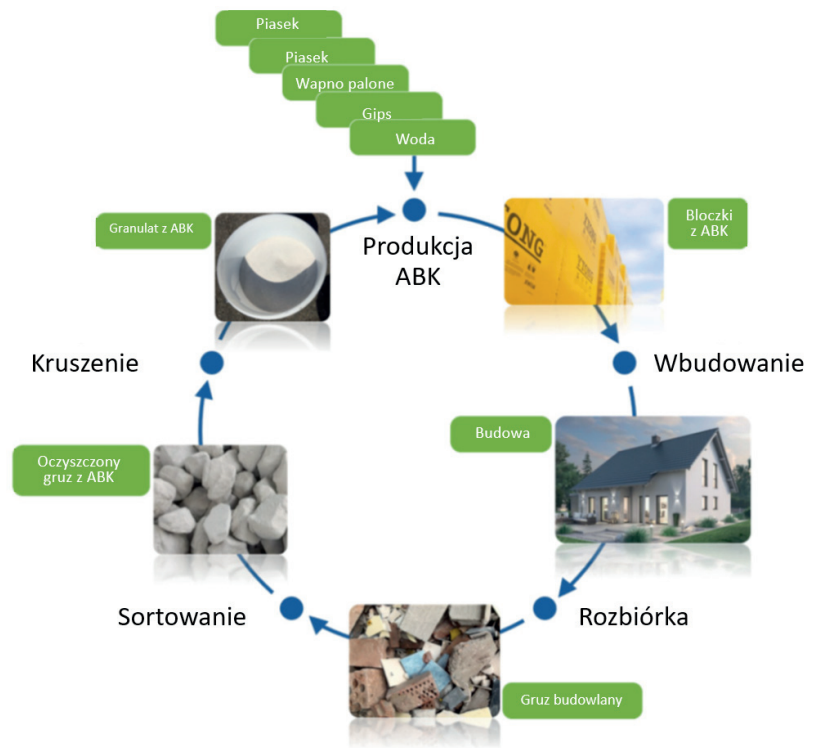
4. Obieg zamknięty w produkcji betonu komórkowego

Jak już wyżej wspomniano, reagowanie na zmiany klimatyczne, a zwłaszcza osiągnięcie celów w zakresie globalnej redukcji emisji dwutlenku węgla, będzie dużym wyzwaniem dla sektora budowlanego.

W 2022 roku członkowie Europejskiego Stowarzyszenia Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (EAACA) zobowiązali się do opracowania harmonogramu zadań, zgodnego z celami Porozumienia Paryskiego w zakresie ograniczenia globalnego ocieplenia do 1,5°C i wspierającego politykę dekarbonizacji budynków w Europie oraz poszczególnych sektorów budownictwa. Harmonogram ten zobowiązuje członków EAACA do osiągnięcia do 2050 roku zerowej emisji netto w produktach z ABK i wspierania rozwoju Europy, neutralnej klimatycznie.

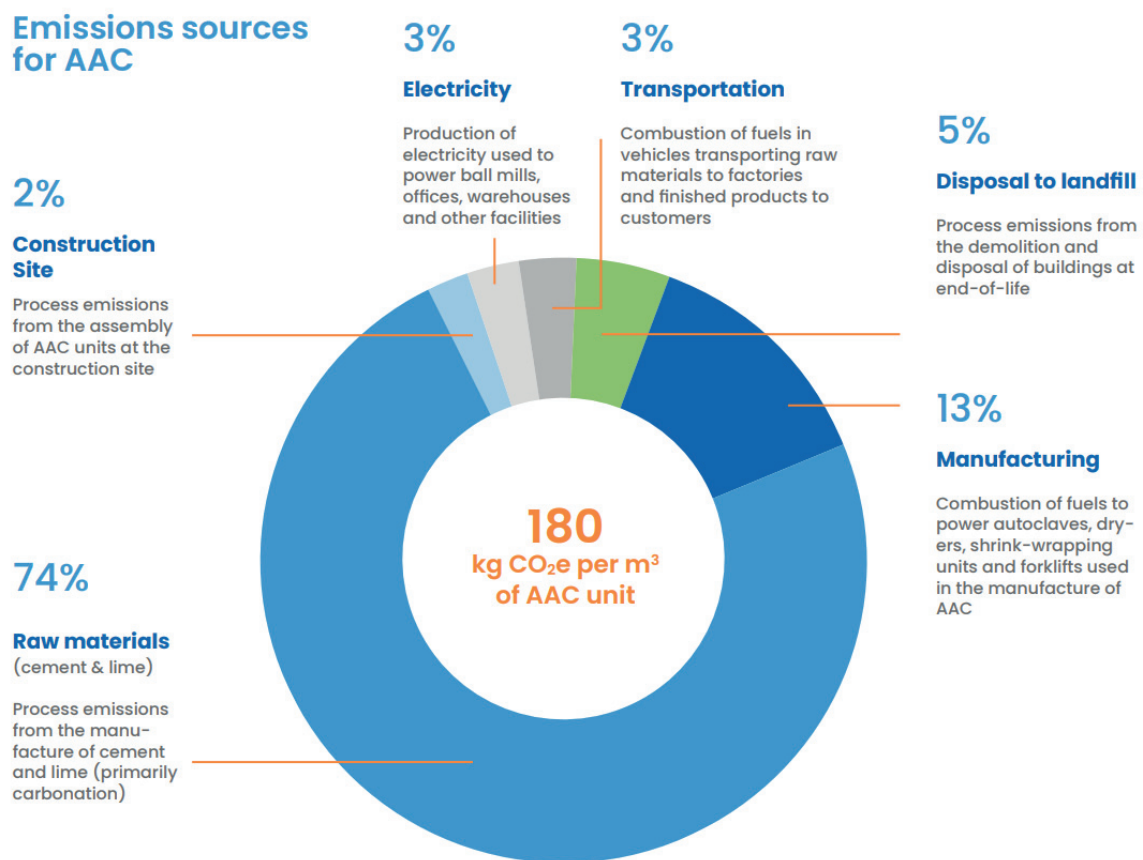
4.1. Emisje dwutlenku węgla z ABK

Analiza cyklu życia wykazała (14), że większość emisji – około 74%, pochodzi z produkcji cementu i wapna [zakres 3, inne pośrednie emisje]. Sama produkcja ABK odpowiada za około 13% emisji, w większości z zakresu 1 i 2, emisje bezpośrednie i pośrednie



Rys. 5. Gospodarka obiegu zamkniętego dla betonu komórkowego (3)

Fig. 5. Circular economy for AAC (3)



Rys. 6. Źródła emisji CO₂ przy produkcji betonu komórkowego (3)

Fig. 6. Sources of CO₂ emissions during AAC production (3)

energetycznie emisje. Głównym źródłem tych emisji produkcyjnych są paliwa kopalne, takie jak węgiel i gaz ziemny, wykorzystywane do zasilania kotłów dostarczających parę do autoklawów. Emisja z energii elektrycznej generowanej do zasilania młynów kulowych, biur, magazynów i innych obiektów wynosi około 3%. Pozostałe emisje przypadają na inne firmy w łańcuchu wartości i wiążą się z takimi działaniami jak transport surowców i przewóz produktów z ABK na plac budowy [około 3%], emisje występujące na placu budowy [2%] oraz usuwanie ABK na składowisko odpadów, po zakończeniu eksploatacji [5%] (3).

4.2. Rekarbonizacja

Środowiskowa ocena cyklu życia [LCA] opisuje wszystkie emisje związane z cyklem życia produktu i pokazuje jego potencjał tworzenia efektu cieplarnianego [GWP, z ang. , Global Warming Potential]. Analiza LCA uwzględnia zatem także eksploatację, rozbiórkę oraz recykling, podczas których następuje zjawisko rekarbonizacji. Składniki betonu komórkowego reagują z atmosferycznym dwutlenkiem węgla (15). W wyniku tych reakcji dwutlenek węgla zostaje związany w strukturze betonu komórkowego w postaci węglanu wapnia, który przy standardowych warunkach karbonizacji i betonie komórkowym dobrej jakości, dodatkowo poprawia właściwości materiału (16,17).

Obecnie przyjmuje się, że beton komórkowy może pochłaniać 77 kg CO₂ na m³, przy czym 80% rekarbonizacji osiąga się po 50 latach, a 95% w ciągu 80 lat (3).

4.3. Kluczowe metody zmniejszenia emisji z ABK

Dwie główne ścieżki prowadzące do zerowej emisji netto betonu komórkowego to zastosowanie niskoemisyjnych surowców cementowo-wapiennych [poprawa o 69%] oraz przejście na odnawialne źródła energii, wraz z poprawą efektywności procesów w zakładach produkujących beton komórkowy - poprawa o 13% (14). Procesy te mogą być poprawione przez wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do zasilania autoklawów, suszarek, urządzeń do pakowania w folię termokurczliwą i wózków widłowych. Emisje w głównym stopniu mogą być zmniejszone dzięki:

- poprawie kontroli procesów produkcyjnych i modernizacji wyposażenia zakładów,
- zastąpieniu takich paliw jak węgiel brunatny i kamienny, olej opałowy i olej napędowy paliwami o niższej emisji CO₂, takimi jak gaz ziemny i biodiesel,
- w miarę dostępności przejściu z gazu ziemnego na odnawialną energię elektryczną lub na wodór.

Dwie dodatkowe ścieżki – obieg zamknięty i rekarbonizacja – mogą sprawić, że produkty z ABK uzyskają negatywny poziom emisji dwutlenku węgla.

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę aktualne tendencje, można powiedzieć, że budownictwo, a zatem również produkcja betonu komórkowego,

dings and construction sectors. Through this roadmap, the EAACA and its members are committed to achieving net-zero emissions in AAC products by 2050 and supporting the development of a climate neutral Europe.

4.1. Carbon dioxide emissions associated with AAC

Based on a life-cycle analysis (14), the majority of emissions – around 74% – come from the manufacture of cement and lime [scope 3, indirect emissions – not owned]. The manufacture of AAC itself accounts for around 13% of emissions [most of scope 1 and 2 emissions, direct emissions and indirect emissions - owned]. The main source of these production emissions are fossil fuels such as coal and natural gas that are used to supply the boilers that provide steam to the autoclaves. Emissions from electricity generated to supply ball mills, offices, warehouses, and other facilities, amount to approximately 3%. The remaining emissions lie with other companies in the value chain for activities that include transportation of raw materials and distribution of the AAC product to the construction site [around 3%], emissions that occur on the construction site [2%] and the end-of-life disposal of AAC to the landfill [5%] (3).

4.2. Recarbonisation

The LCA covers the full cradle-to-grave emissions and shows the Global Warming Potential [GWP] impact of AAC. The LCA also includes recarbonation. Recarbonation is basically a process in the components of AAC react with atmospheric carbon dioxide (15). As a result of these reactions, carbon dioxide is bound in the structure of AAC in the form of calcium carbonate, which, under standard carbonization conditions and good quality AAC, additionally improves the properties of the material (16,17). Currently it is assumed that AAC products can absorb 77 kg of CO₂ per m³, with 80% of recarbonation achieved after 50 years and 95% within 80 years (3).

4.3. Key methods to reduce the AAC emissions

The two main methods to achieve net zero are the use of low carbon cement and lime raw materials [improvement by 69%] and switching to renewable energy sources together with efficiency improvements within AAC manufacturing factories - improvement by 13% (14). Production efficiency can be improved due to renewable energy sources for supply autoclaves, dryers, shrink-wrapping units, and forklifts. Emissions can be reduced mainly through the following steps:

- improvements in process control and modernisation of plant equipment,
- replacing fuels such as lignite, coal, heating oil and diesel with fuels with lower CO₂ emissions, such as natural gas and biodiesel,
- passing from natural gas to renewable electricity or to hydrogen, when available.

Two additional methods – circularity and recarbonation – have the potential to make AAC products carbon negative.

The AAC roadmap: From 180 kg to -70 kg of CO₂e per m³ by 2050



Rys. 7. Mapa drogowa do osiągnięcia zeroemisyjnej produkcji ABK (14)

Fig. 7. Roadmap to achieve AAC zero-emission production (14)

znajduje się na rozdrożu. Mimo to branża ABK wydaje się dobrze przygotowana na nadchodzące wyzwania.

Główne kierunki jej rozwoju w najbliższych latach, jeśli nie dekadach, będą się koncentrować na odpowiedzi na ogólne wyzwania stojące przed budownictwem.

Postępujące usprawnianie procesu budowy dzięki zastosowaniu bloczków i elementów wielkoformatowych oraz mechanizacji i automatyzacji prac zwiększy konkurencyjność rozwiązań ABK.

ABK jako mineralny materiał budowlany dla zrównoważonego budownictwa, może być w pełni utylizowany i wykorzystywany ponownie na wszystkich etapach: od produkcji [brak odpadów w zakładach], przez budowę [recykling gruzu z betonu komórkowego, pochodzącego z docinania elementów na budowie], po rozbiórkę [recykling materiału pochodzącego z rozbiórki obiektów]. Obieg zamknięty produktów z ABK ogromnie uwiarygodni tę branżę.

Harmonogram dochodzenia do zeroemisyjności wskazuje drogę pozwalającą produktom z ABK osiągnąć do 2050 roku zerową emisję netto, a potencjalnie – dzięki rekarbonizacji uzyskać wręcz ujemny poziom emisji dwutlenku węgla. Oznacza to, że produkty te będą go więcej pochłaniać z atmosfery, niż generować w cyklu życia. Doskonałe właściwości cieplne i możliwa do osiągnięcia ujemna emisja CO₂ sprawiają, że ABK ma do odegrania ważną rolę jako zrównoważony materiał budowlany, przyczyniający się do zmniejszenia emisji zarówno użytkowej jak i wbudowanej, w cyklu życia europejskich budynków.

5. Summary

Looking at the challenges and trends, the construction industry and therefore the AAC industry seems to be on the crossroad. However, the AAC industry seems to be well prepared for the upcoming challenges.

The main directions and development of the AAC industry in the coming years, if not decades, will focus on responding to the general challenges of the construction industry.

The increase in improvements in the construction process thanks to the deployment of large blocks and modular elements together with mechanisation and automation on the construction will increase the competitiveness of the AAC solutions.

AAC as a mineral building material for climate-friendly construction, can be fully recycled and re-used in all the phases: from the production process - no waste generation, through construction [utilising the AAC leftovers from the construction site] to demolition - recycling of the AAC recovered from the demolition rubble. Circularity of the AAC products will give a huge credentials to the AAC industry.

The net-zero roadmap sets out a pathway for AAC products to reach net-zero emissions by 2050 and the potential to make AAC products carbon negative through recarbonation, thereby absorbing more carbon dioxide from the atmosphere, than they produce. With its excellent thermal performance and the potential to achieve net negative CO₂ emissions, AAC has a role to play as a building material in helping to reduce the life-cycle emissions - operational and embodied, of Europe's buildings.

Literatura / References

1. PN-EN 1745:2020-12. Mury i wyroby murowe -- Metody określania właściwości cieplnych
2. Klasyfikacja ITB w zakresie odporności ogniowej nr 03032.2/18/Z00NZZ, 04.2019
3. https://eaaca.org/wp-content/uploads/2022/05/EAACA_Net-Zero-Roadmap-for-AAC.pdf, accessed 14.07.2022
4. https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction_en, dostęp 14.07.2022
5. <https://www.futureofconstruction.org/blog/top-4-challenges-facing-the-construction-industry/>, accessed 14.07.2022
6. https://www.factmr.com/report/4658/building-information-modeling-market?utm_source=adwords&utm_medium=ppc&gclid=EAlaIqobChMlneC4n5nd-AIVGgfmCh28oAeSEAMYAiAAEgKkVvD_BwE, accessed 14.07.2022
7. A tall order, The construction industry remains horribly climate-unfriendly. *The Economist*, 15.06.2022.
8. J. Pogorzelski, L. Urban, *Gazobeton w budownictwie*. Wydawnictwo Arkady, Kraków, 1958.
9. G. Zapotoczna-Sytek, *Historia Autoklawizowanego Betonu Komórkowego w Polsce*. PWNWarszawa, 2019.
10. H.-J. Bargstädt, Challenges of BIM for Construction Site Operations. *Proc. Eng.* **117**, 52-59 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2015.08.123>
11. <https://www.xella.pl>, dostęp 14.07.2022
12. <https://skysnap.pl/drony-w-budownictwie-kubaturowym/>, dostęp 14.07.2022
13. O. Kreft, Circular economy potential for autoclaved aerated concrete, *CE/Papers.* **2**, 465-470. (2018), <https://doi.org/10.1002/cepa.893>
14. O. Kreft, C. Fudge, P. Walczak Paweł, Roadmap für eine treibhausgasneutrale Porenbetonindustrie in Europa, *Mauerwerk* **26**(2), 77-84 (2022). <https://doi.org/10.1002/dama.202200004>
15. H. B. Walther, CO₂ absorption during the use phase of autoclaved aerated concrete by recarbonation, *AAC Worldwide*, **2022**(1), 18-29 (2022).
16. T. Schoch, B. Straube, A. Stumm, Dauerhaftigkeit von Porenbeton bei hoher CO₂-Beaufschlagung, *Bauphysik* **33**, 318-322 (2011). <https://doi.org/10.1002/bapi.201110797>
17. K. Kroboth, *Zement / Herstellung - Eigenschaften – Hydratation Gesundes Wohnen*. Beton-Verlag, 336-348 (1986).