

Zielona prefabrykacja – czy to w ogóle możliwe?

Green precast concrete – is it even possible?

Tomasz Moskal^{1,*}

¹MC_Bauchemie Sp. z o.o.

*corresponding author: T. Moskal, e-mail: Tomasz.Moskal@mc-bauchemie.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości ograniczenia wpływu środowiskowego współczesnej prefabrykacji betonowej. Omówiono rozwój technologii prefabrykacji, znaczenie kontrolowanych warunków produkcji oraz modularności w kształtowaniu efektywnych rozwiązań konstrukcyjnych. Pokazano możliwości wykorzystania niskoemisyjnych cementów i spoiw, materiałów z recyklingu oraz cyfrowych metod projektowania, w tym BIM. Wskazano, że odpowiednie projektowanie, optymalizacja procesów produkcyjnych, trwałość oraz możliwość odzysku i recyklingu materiałów mogą istotnie poprawić efektywność środowiskową prefabrykacji betonowej.

Słowa kluczowe: prefabrykacja betonowa, zrównoważone budownictwo, recykling materiałów budowlanych, ocena cyklu życia

Summary

The paper presents opportunities for reducing the environmental impact of modern precast concrete construction. The development of precast construction technologies, the importance of controlled manufacturing conditions, and the role of modularity in developing efficient structural solutions are discussed. The potential use of low-carbon cements and binders, recycled materials, and digital design methods, including Building Information Modelling, is presented. It is demonstrated that appropriate design, optimisation of manufacturing processes, durability, and the potential for material recovery and recycling can significantly improve the environmental performance of precast concrete construction.

Keywords: precast concrete construction, sustainable construction, recycling of construction materials, life cycle assessment

1. Wprowadzenie

Prefabrykacja betonowa przez lata kojarzyła się przede wszystkim z szarymi blokowiskami z czasów PRL i technologią „wielkiej płyty”. Dziś jednak wraca do łask w zupełnie nowej odsłonie - jako nowoczesna, precyzyjna i coraz bardziej zrównoważona metoda budowania. Czy prefabrykacja może być naprawdę „zielona”? Aby odpowiedzieć na to pytanie, warto najpierw spojrzeć na jej historię.

2. Od cementu portlandzkiego do wielkiej płyty

Początki prefabrykacji sięgają XIX wieku. Przełomowym momentem było wynalezienie cementu portlandzkiego w 1824 roku. Kilkadziesiąt lat później Joseph Monier połączył beton ze stalą, tworząc podstawy żelbetu – technologii, która zrewolucjonizowała budownictwo. W 1867 roku opatentowano pierwsze donice zbrojone siatką, uznawane za jeden z pierwszych praktycznych przykładów wykorzystania żelbetu.

1. Introduction

For many years, precast concrete construction was primarily associated with the grey housing estates of the communist era and large-panel construction technology. Today, however, it is experiencing a revival in a completely new form, as a modern, precise, and increasingly sustainable construction method. Can precast concrete construction really be “green”? To answer this question, it is first worth looking at its history.

2. From Portland cement to large-panel construction

The origins of precast concrete construction date back to the 19th century. A major breakthrough came with the invention of Portland cement in 1824. Several decades later, Joseph Monier combined concrete with steel, laying the foundations for reinforced concrete – a technology that revolutionized the construction industry. In 1867, the first reinforced-concrete mesh planters were patented,



Rys. 1. Zielona elewacja.

Fig. 1. Green façade.

Na początku XX wieku rozpoczął się rozwój prefabrykacji wielkowskalarowej. W 1905 roku John Alexander Brodie w Liverpoolu zastosował prefabrykowane płyty do budowy mieszkań, pokazując, że część prac budowlanych można przenieść z placu budowy do fabryki.

Prawdziwy rozkwit technologii nastąpił jednak po II wojnie światowej. Europa potrzebowała milionów nowych mieszkań, a prefabrykacja pozwalała budować szybko i stosunkowo tanio. W Polsce technologia „wielkiej płyty” zdominowała budownictwo mieszkaniowe w latach 70. i 80. XX wieku. Pierwszy blok z wielkiej płyty powstał w 1957 roku na warszawskich Jelonkach. W 1963 roku podjęto decyzję o masowej budowie osiedli prefabrykowanych, co doprowadziło do powstania całych dzielnic mieszkaniowych w największych miastach kraju.

Choć technologia pozwoliła ograniczyć ogromny deficyt mieszkań w PRL, szybko ujawniły się jej słabe strony. Problemy z jakością produkcji, błędy montażowe, słaba izolacja termiczna i akustyczna oraz monotonna architektura sprawiły, że „wielka płyta” zaczęła być postrzegana negatywnie. W latach 90. prefabrykacja betonowa ustąpiła miejsca innym rozwiązaniom.

3. Nowoczesna prefabrykacja – zupełnie inna technologia

Dzisiejsza prefabrykacja ma jednak niewiele wspólnego z rozwiązaniami sprzed kilkudziesięciu lat. Współczesne zakłady produkcyjne wykorzystują zaawansowane technologie, automatyzację i rygorystyczną kontrolę jakości. Elementy konstrukcyjne - ściany,

representing one of the earliest practical applications of reinforced concrete.

The development of large-scale precast construction began in the early 20th century. In 1905, John Alexander Brodie used precast concrete panels for housing construction in Liverpool, demonstrating that part of the construction process could be transferred from the construction site to a production facility.

The technology experienced its greatest expansion, however, after the Second World War. Europe needed millions of new dwellings, and prefabrication made it possible to construct buildings rapidly and at relatively low cost. In Poland, large-panel construction became the dominant technology in residential building during the 1970s and 1980s. The first large-panel apartment building was completed in 1957 in Warsaw's Jelonki district. In 1963, a decision was made to undertake the mass construction of prefabricated housing estates, leading to the development of entire residential districts in the country's largest cities.

Although the technology helped alleviate the severe housing shortage in the Polish People's Republic, its shortcomings soon became apparent. Problems related to production quality, assembly errors, inadequate thermal and acoustic insulation, and monotonous architectural design [Fig. 2] contributed to the increasingly negative perception of large-panel construction. In the 1990s, precast concrete construction declined in favour of other construction technologies.

3. Modern precast construction – a completely different technology

Today's precast construction, however, has little in common with the solutions used several decades ago. Modern production plants employ advanced technologies, automation, and rigorous quality control. Structural elements, including walls, floor slabs, columns, and beams, are manufactured under controlled factory conditions. This ensures a high degree of consistency in their properties and eliminates the influence of weather conditions such as rain and



Rys. 2. Przykłady monotonnej architektury budynków prefabrykowanych z okresu PRL.

Fig. 2. Examples of monotonous architecture in prefabricated buildings from the Polish People's Republic era.

stropy, słupy czy belki - powstają w kontrolowanych warunkach fabrycznych. Dzięki temu możliwe jest zachowanie wysokiej powtarzalności właściwości oraz eliminacja wpływu czynników atmosferycznych, takich jak deszcz czy mróz. Produkcja może odbywać się przez cały rok, niezależnie od pogody.

Nowoczesne prefabrykaty wykonywane są z wykorzystaniem zaawansowanych mieszanek betonowych, w tym betonu samozagęszczalnego [SCC]. Technologia ta pozwala uzyskać bardzo dobrą trwałość i wytrzymałość elementów przy jednoczesnym zachowaniu estetycznej powierzchni, często niewymagającej dodatkowego tynkowania.

4. Modularność i większa swoboda projektowania

Jednym z największych atutów współczesnej prefabrykacji jest modularność. Dzisiejsze systemy prefabrykowane umożliwiają dużą elastyczność projektową i pozwalają architektom odchodzić od schematów kojarzonych z dawną „wielką płytą”. Nowoczesne technologie umożliwiają realizację zarówno projektów powtarzalnych, jak i indywidualnych inwestycji o zróżnicowanej formie architektonicznej. Prefabrykacja nie oznacza już monotonicznych osiedli - przeciwnie, daje możliwość tworzenia nowoczesnych budynków mieszkalnych, biurowych czy użyteczności publicznej o wysokich walorach estetycznych i funkcjonalnych.

Modułowy charakter rozwiązań pozwala także łatwiej dostosowywać budynki do zmieniających się potrzeb użytkowników, co wpisuje się w ideę zrównoważonego i trwałego budownictwa.

5. Skrócenie czasu realizacji i zwiększenie efektywności

Prefabrykacja znacząco skraca również czas realizacji inwestycji. Gotowe elementy są transportowane na plac budowy i montowane przy użyciu specjalistycznego sprzętu, takiego jak dźwigi. Dzięki temu proces budowy może być krótszy nawet o kilkadziesiąt procent w porównaniu z tradycyjną technologią monolityczną. Krótszy czas realizacji oznacza nie tylko szybsze oddanie budynku do użytkowania, ale również ograniczenie kosztów związanych z prowadzeniem inwestycji. Mniejsze jest także ryzyko opóźnień wynikających z niekorzystnych warunków atmosferycznych czy

frost. Production can therefore continue throughout the year, regardless of weather conditions.

Modern precast elements are manufactured using advanced concrete mixtures, including self-compacting concrete [SCC]. This technology enables high durability and strength of the elements while maintaining an aesthetically pleasing surface, often without the need for additional plastering.

4. Modularity and greater design freedom

One of the principal advantages of contemporary precast construction is its modular character. Modern precast systems offer a high degree of design flexibility, enabling architects to move beyond the standardised architectural patterns traditionally associated with large-panel construction. Current manufacturing technologies allow for the efficient realisation of both repetitive, standardised schemes and bespoke projects characterized by diverse architectural forms. Consequently, precast construction is no longer limited to monotonous residential developments but can be effectively applied to the construction of contemporary residential, office, and public buildings with high aesthetic and functional standards.

The modularity of precast systems also facilitates the adaptation of buildings to changing functional and user requirements throughout their service life. This characteristic supports the principles of sustainable and durable construction by enhancing the adaptability and long-term usability of buildings.

5. Faster, more cost-effective and efficient construction

Precast construction can also significantly reduce project completion times. Finished precast elements are transported to the construction site and erected using specialized equipment, such as cranes. As a result, the construction process may be shortened by several tens of percent compared with conventional cast-in-situ technology. A shorter construction period not only enables buildings to be brought into use earlier but also reduces costs associated with project execution. It also decreases the risk of delays resulting from adverse weather conditions or organisational difficulties on site.



Rys. 3. Prefabrykowana ściana elewacji [po lewej], montaż prefabrykatów na budowie [po prawej].

Fig. 3. Prefabricated façade wall [left], installation of precast elements on site [right].

problemów organizacyjnych na budowie. Dla inwestorów oznacza to większą przewidywalność harmonogramu oraz lepszą kontrolę kosztów, co ma istotne znaczenie w obecnych warunkach rynkowych.

6. Ekologia zaczyna się w fabryce

Ekologiczna prefabrykacja betonowa koncentruje się dziś na minimalizowaniu śladu węglowego oraz ograniczaniu zużycia zasobów na każdym etapie życia produktu – od produkcji, przez transport, aż po eksploatację budynku.

Kluczowym celem jest redukcja emisji CO₂, która w przypadku tradycyjnego budownictwa betonowego stanowi jedno z największych wyzwań środowiskowych. Współczesne zakłady prefabrykacji osiągają to dzięki innowacyjnym zmianom w składzie mieszanek betonowych, stosowaniu dodatków mineralnych oraz wykorzystywaniu materiałów pochodzących z recyklingu.

Produkcja w kontrolowanych warunkach fabrycznych pozwala bardzo precyzyjnie dozować surowce, co ogranicza ilość odpadów i zmniejsza straty materiałowe. Coraz częściej możliwe jest również ponowne wykorzystanie wody technologicznej oraz odzyskiwanie niewykorzystanych składników produkcyjnych.

Prefabrykacja oznacza także bardziej uporządkowany proces logistyczny. Ograniczenie liczby dostaw na plac budowy, mniejsze zużycie ciężkiego sprzętu oraz krótszy czas realizacji inwestycji przekładają się na zmniejszenie emisji związanych z transportem i organizacją budowy.

7. Ekologiczne materiały przyszłości

Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju ekologicznej prefabrykacji betonowej jest stosowanie nowoczesnych domieszek i dodatków mineralnych, które pozwalają ograniczyć ilość cementu w mieszance. To właśnie produkcja cementu odpowiada za znaczną część emisji CO₂ w budownictwie, dlatego jego częściowe zastępowanie bardziej ekologicznymi materiałami ma ogromne znaczenie dla środowiska.

Współczesne technologie wykorzystują m.in. popioły lotne powstające przy spalaniu węgla, żużel wielkopiecowy będący produktem ubocznym przemysłu hutniczego czy pyły krzemionkowe. Materiały te poprawiają właściwości betonu, zwiększają jego trwałość i jednocześnie pozwalają zagospodarować odpady przemysłowe, które w innym przypadku wymagałyby składowania.

Coraz większą popularność zdobywają także domieszki chemiczne umożliwiające zmniejszenie ilości wody potrzebnej do produkcji mieszanki betonowej. Superplastyfikatory nowej generacji poprawiają urabialność betonu, zwiększają jego wytrzymałość oraz pozwalają ograniczyć zużycie cementu.

Kluczową rolę w ograniczaniu śladu węglowego odgrywają również cementy niskoemisyjne. W przeciwieństwie do tradycyjnego

For investors, this translates into greater schedule predictability and improved cost control, both of which are particularly important under current market conditions.

6. Environmental sustainability begins at the production plant

Environmental performance in precast concrete construction increasingly focuses on reducing the carbon footprint and minimizing the consumption of raw materials and energy throughout the product life cycle - from the manufacture of concrete and precast elements, through transportation and erection, to the service life of the building.

A key objective is to reduce CO₂ emissions, which constitute one of the principal environmental challenges associated with cement- and concrete-based construction. Modern precast concrete plants address this challenge through optimized concrete mix designs, the incorporation of supplementary cementitious materials and the use of recycled raw materials and aggregates.

Manufacturing under controlled factory conditions enables accurate batching and dosing of constituents, thereby reducing production waste and material losses. Process water can increasingly be recovered and reused, while unused or off-specification production materials may be recovered and reintroduced into the manufacturing process, where technically feasible.

Precast construction also enables more efficient logistics and site operations. A reduction in the number of deliveries to the construction site, lower demand for heavy construction equipment and shorter erection periods can contribute to reduced emissions associated with transportation and construction-site activities.

7. Sustainable materials for the future

One of the key directions in the development of sustainable precast concrete construction is the use of advanced chemical admixtures and supplementary cementitious materials [SCMs], which make it possible to reduce the cement content of concrete mixtures. Cement production accounts for a significant proportion of CO₂ emissions associated with the construction sector; therefore, partially replacing clinker-based cement with lower-carbon constituents is of considerable environmental importance.

Current technologies make use of materials such as fly ash from coal combustion, ground granulated blast-furnace slag [GGBFS], a by-product of the iron and steel industry, and silica fume. These materials can improve selected concrete properties and enhance durability while enabling the beneficial utilization of industrial by-products that would otherwise require disposal.

Increasing use is also being made of chemical admixtures that reduce the amount of water required to achieve the desired workability of fresh concrete. Modern superplasticizers improve concrete

cementu portlandzkiego zawierają one mniejszą ilość klinkieru - najbardziej emisyjnego składnika cementu - zastępowanego dodatkami mineralnymi, takimi jak żużel wielkopiecowy, popioły lotne czy wapienie.

Dzięki temu możliwe jest znaczące ograniczenie emisji CO₂ już na etapie produkcji materiału, bez utraty wymaganych właściwości mechanicznych. Coraz częściej rozwijane są także spoiwa geopolimerowe oraz mieszanki wykorzystujące materiały odpadowe z innych gałęzi przemysłu, co dodatkowo wspiera ideę gospodarki obiegu zamkniętego.

Ekspert podkreśla, że rozwój cementów niskoemisyjnych może w najbliższych latach stać się jednym z kluczowych elementów transformacji całego sektora budowlanego. To właśnie połączenie prefabrykacji, recyklingu materiałów oraz nowych generacji cementu daje największą szansę na stworzenie bardziej zrównoważonego budownictwa przyszłości.

8. Kruszywo z recyklingu – drugie życie materiałów

Coraz częściej w prefabrykacji wykorzystuje się również kruszywa pochodzące z recyklingu. Są to materiały powstające z przetworzenia odpadów budowlanych, takich jak beton, cegła czy asfalt, które ponownie trafiają do obiegu zamiast na składowiska.

Takie rozwiązanie przynosi wiele korzyści środowiskowych. Ogranicza wydobycie naturalnych surowców, takich jak żwir czy piasek, zmniejsza ilość odpadów budowlanych oraz redukuje emisję CO₂ związaną z transportem i produkcją materiałów pierwotnych. Recykling materiałów budowlanych często wymaga również mniejszego zużycia energii niż produkcja nowych kruszyw naturalnych.

W praktyce oznacza to, że budownictwo może stopniowo przechodzić z modelu liniowego – „wyprodukuj, użyj, wyrzuć” – do gospodarki o obiegu zamkniętym.

9. BIM – cyfrowe wsparcie ekologicznego budownictwa

Ważnym elementem nowoczesnej prefabrykacji staje się także technologia BIM [ang. Building Information Modelling, Modelowanie Informacji o Budynku]. Cyfrowe modele budynków pozwalają projektować obiekty w sposób bardziej zrównoważony i efektywny.

Dzięki BIM możliwe jest przeprowadzanie analiz energetycznych, optymalizacja zużycia materiałów oraz wykrywanie potencjalnych błędów jeszcze przed rozpoczęciem budowy. Ogranicza to ilość odpadów i zmniejsza ryzyko kosztownych pomyłek na placu budowy.

Technologia BIM umożliwia również analizę cyklu życia budynku [LCA i LCC], pomagając ocenić wpływ materiałów na środowisko od momentu produkcji aż po rozbiórkę obiektu. Projektanci mogą dzięki temu wybierać rozwiązania o niższym śladzie węglowym i lepszych parametrach ekologicznych.

workability, enable higher strength levels and, under appropriate mix-design conditions, allow the cement content to be reduced.

Low-carbon cements also play a key role in reducing the carbon footprint of concrete. Compared with conventional Portland cement, these binders contain a lower proportion of clinker, the most carbon-intensive constituent of cement, which is partially replaced by supplementary cementitious materials such as GGBFS, fly ash or limestone.

This approach can significantly reduce CO₂ emissions at the material production stage without compromising the required mechanical performance, provided that the mix design and curing conditions are appropriately controlled. Geopolymer binders and concrete mixtures incorporating waste-derived materials from other industrial sectors are also being increasingly developed, further supporting the principles of the circular economy.

Experts emphasize that the development of low-carbon cement and binder technologies may become one of the key elements of the transformation of the construction sector in the coming years. The combination of precast construction, material recycling and next-generation low-carbon binders offers considerable potential for developing more sustainable construction practices.

8. Recycled aggregates – giving materials a second life

Recycled aggregates are also increasingly used in precast concrete production. These materials are obtained by processing construction and demolition waste, such as concrete, brick and asphalt, allowing them to be returned to the material cycle rather than being disposed of in landfills.

This approach offers several environmental benefits. It reduces the extraction of natural resources, such as gravel and sand, decreases the volume of construction waste, and can reduce CO₂ emissions associated with the transportation and production of primary raw materials. The recycling of construction materials may also require less energy than the production of new natural aggregates.

In practical terms, this enables the construction sector to gradually transition from a linear model – “produce, use, dispose” – towards a circular economy.

9. BIM – digital support for sustainable construction

Building Information Modelling [BIM] is becoming an important component of modern precast construction. Digital building information models enable buildings to be designed and managed in a more sustainable and efficient manner.

BIM enables energy analyses, optimization of material use, and the detection of potential design clashes before construction begins.

Dodatkową zaletą jest możliwość monitorowania zużycia energii i mediów podczas eksploatacji budynku, co pozwala efektywniej zarządzać obiektem przez wiele lat.

10. EPD – deklaracje środowiskowe prefabrykatów

Coraz większą rolę w branży prefabrykacji odgrywają także deklaracje środowiskowe EPD [ang. Environmental Product Declaration]. Są to zweryfikowane dokumenty przedstawiające wpływ danego produktu na środowisko w całym jego cyklu życia – od wydobycia surowców, przez produkcję i transport, aż po utylizację.

Dla producentów prefabrykatów EPD staje się ważnym narzędziem dokumentowania i komunikowania charakterystyki środowiskowej wyrobów. Dokumenty te są coraz częściej wymagane w nowoczesnych inwestycjach oraz systemach certyfikacji budynków, takich jak LEED czy BREEAM.

Posiadanie deklaracji EPD zwiększa transparentność procesu produkcyjnego i pozwala inwestorom świadomie wybierać rozwiązania o mniejszym wpływie na środowisko.

11. Czy prefabrykacja może być ekologiczna?

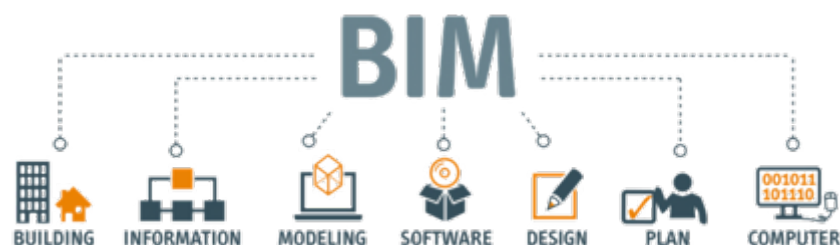
Choć beton nadal pozostaje materiałem energochłonnym, nowoczesna prefabrykacja pokazuje, że możliwe jest znaczące ograniczenie jego wpływu na środowisko. Coraz większe znaczenie mają materiały niskoemisyjne, wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych w zakładach produkcyjnych oraz rozwój technologii recyklingu betonu.

Prefabrykacja sprzyja także energooszczędności samych budynków. Precyzyjnie wykonane elementy pozwalają ograniczyć mostki termiczne i poprawić szczelność konstrukcji, co przekłada się na niższe zużycie energii podczas wieloletniej eksploatacji obiektów.

Istotne jest również to, że współczesne prefabrykaty projektowane są z myślą o trwałości i możliwości ponownego wykorzystania materiałów w przyszłości. Coraz częściej mówi się o gospodarce obiegu zamkniętego, w której elementy konstrukcyjne po zakończeniu cyklu życia budynku mogą zostać poddane recyklingowi lub wykorzystane ponownie.

12. Wnioski – rola prefabrykacji w zrównoważonym budownictwie

Prefabrykacja betonowa może stanowić rozwiązanie zrównoważone i przyjazne środowisku pod warunkiem spełnienia określonych wymagań technologicznych i organizacyjnych. Dzięki nowoczesnym procesom produkcji możliwe jest ograniczenie ilości odpadów, zmniejszenie zużycia surowców oraz redukcja emisji CO₂.



Rys. 4. Schemat idei modelowania informacji o budynku [BIM].

Fig. 4. Conceptual diagram of Building Information Modelling [BIM].

This helps reduce material waste and minimizes the risk of costly errors during construction.

BIM also facilitates the integration of Life Cycle Assessment [LCA] and Life Cycle Costing [LCC], enabling the environmental impacts and life-cycle costs of building materials and solutions to be assessed from production through to demolition. This allows designers to select solutions with a lower carbon footprint and more favourable environmental performance.

An additional advantage is the possibility of monitoring energy and utility consumption during the operational phase of a building, supporting more efficient building management throughout its service life.

10. EPD – environmental product declarations for precast elements

Environmental Product Declarations [EPDs] are playing an increasingly important role in the precast concrete industry. EPDs are independently verified documents that provide quantified information on the environmental impacts of a specific product throughout its defined life cycle—from raw material extraction and manufacturing through transportation and use to end-of-life processing.

For precast concrete manufacturers, EPDs are becoming an important tool for documenting and communicating the environmental performance of their products. Such declarations are increasingly required in contemporary construction projects and are used within building assessment and certification systems such as LEED and BREEAM.

The availability of an EPD increases transparency regarding the environmental performance of construction products and enables investors and designers to make informed decisions when selecting solutions with lower environmental impacts.

11. Can precast construction be sustainable?

Although concrete remains an energy- and carbon-intensive construction material, modern precast construction demonstrates that its environmental impact can be significantly reduced. Increasing importance is being attached to low-carbon materials, the use of renewable energy sources in manufacturing plants, and the development of concrete recycling technologies.

Wykorzystanie materiałów z recyklingu, cementów niskoemisyjnych oraz cyfrowych technologii projektowania, takich jak BIM, sprawia, że prefabrykacja coraz lepiej wpisuje się w ideę nowoczesnego, odpowiedzialnego budownictwa.

Nowoczesna prefabrykacja betonowa przeszła ogromną transformację. To już nie technologia kojarzona wyłącznie z monotonnymi osiedlami z czasów PRL, lecz zaawansowany system budowania odpowiadający na współczesne wyzwania rynku budowlanego.

Choć całkowicie „zielony beton” nadal pozostaje wyzwaniem, rozwój technologii pokazuje, że możliwe jest znaczące ograniczenie śladu węglowego i bardziej odpowiedzialne gospodarowanie zasobami. Wszystko wskazuje na to, że przyszłość nowoczesnego i zrównoważonego budownictwa będzie w dużej mierze opierać się właśnie na prefabrykacji.

Precast construction can also contribute to improving the energy performance of buildings. Precisely manufactured and assembled precast elements can reduce thermal bridging and improve the airtightness of building envelopes, thereby lowering energy consumption during the long-term operation of buildings.

Another important aspect is that contemporary precast elements are increasingly designed with durability and future material recovery and reuse in mind. The principles of the circular economy are therefore gaining importance, with structural elements at the end of a building's service life potentially being recycled or, where technically feasible, reused in other applications.

Jasne. Wersja bardziej akademicka powinna ograniczać publicystyczne sformułowania, takie jak „przyszłość budownictwa” czy „zielony beton”, i mocniej akcentować uwarunkowania, potencjał oraz ograniczenia technologii.

12. Conclusions – the role of precast construction in sustainable building

Precast concrete construction can provide a sustainable and environmentally responsible solution, provided that appropriate technological and organisational requirements are met. Modern manufacturing processes enable reductions in material waste, consumption of primary raw materials, and CO₂ emissions.

The use of recycled materials, low-carbon cements and binders, and digital design technologies increasingly supports the integration of precast construction into the principles of modern, environmentally responsible construction.

Contemporary precast concrete construction has undergone a substantial transformation. It is no longer a technology associated primarily with the monotonous housing developments of the former Eastern Bloc, but an advanced construction system capable of addressing current challenges faced by the building sector.

Although the development of fully “green” concrete remains a significant challenge, technological advances demonstrate considerable potential for reducing the carbon footprint and improving resource efficiency. These developments indicate that precast construction is likely to play an increasingly important role in the transition towards more sustainable construction.