http://www.diva-portal.org

This is the published version of a paper published in .

Citation for the original published paper (version of record):

Derkowski, W. (2021)
Prefabrykacja betonowa: zrównoważone rozwiązanie dla budownictwa
Materialy Budowlane, 591(11): 9-11
https://doi.org/10.15199/33.2021.11.02

Access to the published version may require subscription.

N.B. When citing this work, cite the original published paper.

Permanent link to this version:
http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-150653

56175, 2026-11-03 15:17:50, IP: 194.47.102.27, licencja open access

dr hab. inż. Wit Derkowski, prof. PK[1)]
ORCID: 0000-0001-6133-3624

Prefabrykacja betonowa – zrównoważone rozwiązanie dla budownictwa

Precast concrete – a sustainable solution for construction sector

DOI: 10.15199/33.2021.11.02

Streszczenie. Prefabrykacja betonowa przyczynia się do przyspieszenia procesu budowlanego, poprawy jakości obiektu, optymalnego wykorzystania właściwości poszczególnych materiałów, a także lepiej wpisuje się w ograniczenia związane z szeroko rozumianą ochroną środowiska. Budownictwo realizujące strategię zrównoważonego rozwoju powinno cechować się przede wszystkim zmniejszonym zużyciem zasobów naturalnych, materiałów i energii, możliwością ponownego wykorzystania obiektu lub jego elementów konstrukcyjnych, a także odzyskiwania materiałów i surowców. W artykule przedstawiono liczne zalety prefabrykacji w kontekście koncepcji budownictwa o obiegu zamkniętym, realizującej najważniejsze cele zrównoważonego rozwoju.
Słowa kluczowe: budownictwo; gospodarka o obiegu zamkniętym; ponowne użycie; prefabrykacja betonowa; zrównoważony rozwój.

Abstract. Precast concrete contributes to speeding up the construction process, improving the quality of the building, making optimum use of the properties of individual materials and better complying with the constraints of the wide-ranging environmental protection. Sustainable construction should be characterized primarily by reduced consumption of natural resources, materials and energy, the possibility of reusing a building or its structural elements, as well as recovering materials and raw materials. The numerous advantages of prefabrication in the context of the "circular building" concept, which realizes the most important sustainable development goals, are presented in the paper.
Keywords: construction; circular economy; precast concrete; reuse; sustainability.

Prefabrykacja betonowa zaczyna ponownie odgrywać ważną rolę w polskim budownictwie, w tym mieszkaniowym (fotografia 1) [3]. Przyczynia się do przyspieszenia procesu budowlanego, poprawy jakości obiektu, optymalnego wykorzystania właściwości poszczególnych materiałów, a także, co ważne, bardzo dobrze wpisuje się w ograniczenia związane z szeroko rozumianą ochroną środowiska.

Fot. 1. Prefabrykowany budynek biurowy
Photo 1. Precast office building

Rozważne korzystanie z zasobów naturalnych wraz z innymi aspektami ochrony środowiska stanowią obecnie nie lada wyzwanie dla sektora budowlanego. Wprowadzane są przepisy dotyczące emisyjności materiałów, ograniczania zużycia surowców, odzyskiwania lub utylizacji odpadów budowlanych, emisji hałasu, pyłu lub zanieczyszczenia gruntu [14], które w przyszłości będą jeszcze zaostrzane. Coraz częściej zaczyna się mówić, aby w pierwszej kolejności starać się ocalić istniejące budynki i ewentualnie przystosować je do nowej funkcji.

Ponadto gospodarka energetyczna w przypadku budownictwa zaczyna mieć decydujące znaczenie w Europie, szczególnie z punktu widzenia coraz bardziej rygorystycznego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych [12]. W związku z tym budownictwo zrównoważone powinno być traktowane nie jako fanaberia ekologów, ale szansa rozwoju tej branży gospodarki, dająca realne korzyści zainteresowanym stronom i całemu społeczeństwu. Idea „budownictwa o obiegu zamkniętym", przedstawiona na rysunku 1, jest swojego rodzaju przeciwieństwem tradycyjnego

Rys. 1. Idea budownicwa o obiegu zamkniętym
Fig. 1. The concept of circular building

„budownictwa liniowego", które scharakteryzować można słowami Olgi Tokarczuk z wykładu noblowskiego: *Chciwość, brak szacunku do natury, egoizm, brak wyobraźni, niekończące się współzawodnictwo, brak odpowiedzialności sprowadziły świat do statusu przedmiotu, który można ciąć na kawałki, używać i niszczyć*.

Analiza każdego etapu cyklu życia konstrukcji wskazuje, że stosowanie technologii prefabrykacji betonowej daje ogromne możliwości wpisywania się w gospodarkę o obiegu zamkniętym.

[1)] Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Lądowej; Linnaeus University, Szwecja; Instytut Budownictwa; derkowski@gmail.com

56175, 2026-11-03 15:17:50, IP: 194.47.102.27, licencja open access

Produkcja materiałów

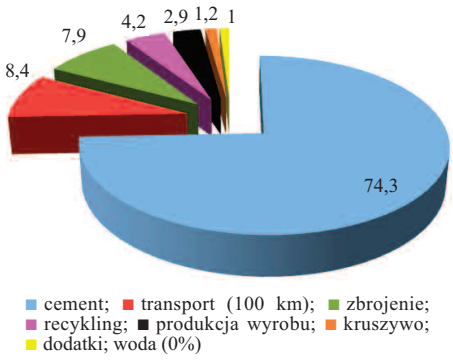
W związku z tym, że produkcja cementu jest procesem wysokoenergetycznym, dąży się do redukcji jej szkodliwości dla środowiska. W tym obszarze osiągnięto w Polsce duży postęp, a możliwość dalszej redukcji emisji CO_2 jest bardzo ograniczona. Na świecie, szczególnie w krajach skandynawskich, wdrażane są pomysły wyłapywania i składowania skondensowanego dwutlenku węgla np. w dnie morskim (CCS – *Carbon Capture and Storage*) [13], ale wydają się one rozwiązaniem nierealnym do stosowania w skali całego świata. Dobrym kierunkiem może być natomiast zmniejszanie ilości cementu w recepturze betonu i stosowanie dodatków w postaci popiołów lotnych, żużli i krzemionki. Zastąpienie cementu portlandzkiego tymi materiałami może obecnie wynosić nawet powyżej 20%.

Obiecującym rozwiązaniem, coraz częściej stosowanym w prefabrykacji, jest beton samozagęszczający się, wykorzystywany zazwyczaj w elementach cienkościennych lub mających silnie skoncentrowane zbrojenie. Jego stosowanie zmniejsza hałas w fabryce oraz przyspiesza proces betonowania.

Projektowanie

Już na etapie tworzenia koncepcji nowego obiektu należy rozważyć takie rozwiązania architektoniczno-konstrukcyjne, które umożliwią minimalizację szkodliwego wpływu na środowisko. Redukcji zużycia zasobów naturalnych i energii sprzyja ograniczanie ilości betonu i stali na skutek optymalizacji ich właściwości oraz minimalizacji przekrojów poprzecznych wymiarów elementów, co jest wyjątkowo łatwe w technologii prefabrykacji. Trwające badania nad konstrukcjami zbrojonymi włóknami węglowymi pokazują bardzo obiecujące rezultaty. Możliwe jest stosowanie bardzo smukłych przekrojów cienkościennych, chociaż ich projektowanie i realizacja wymaga dużej precyzji [8]. Stosowanie zoptymalizowanych kształtów, np. drążonych przekrojów poprzecznych, może dać nawet 50% oszczędności betonu i stali zbrojeniowej.

Już na etapie projektowania prefabrykatów należy zminimalizować udział substancji toksycznych (ich źródłem są najczęściej elementy wykończeniowe i akcesoria) oraz przyjmować rozwiązania konstrukcyjne umożliwiające demontowalność, rozumianą jako cecha konstrukcji i elementu, zapewniająca łatwy demontaż i ponowny montaż [1]. Zasady projektowania elementów, ze względu na demontowalność, wprowadzane są już w ramach systemu wielokryterialnej certyfikacji budynków BREEM. Przyjmują one wskaźnikową ocenę zastosowanych złączy w konstrukcji prefabrykowanej. Ocenie poddane są typy połączeń, dostępność do złącza oraz wzajemne zintegrowanie elementów konstrukcyjnych (tabela) i wyposażenia budynku [1].



Rys. 2. Wpływ poszczególnych składowych na emisję CO_2 [%] na podstawie EPD prefabrykowanej ściany betonowej
Fig. 2. Influence of individual components on CO_2 emissions [%] based on EPD for precast solid wall

Przykłady oceny rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na demontowalność
Examples of evaluation of structural design solutions for disassembly

Charakterystyka	Korzystne +	Pośrednie ~	Niekorzystne –
Typ połączenia	np. połączenia „na klik”, „na haczyk”, magnetyczne	np. połączenia śrubowe, dyblowane, nitowane, z wytykami	np. połączenia monolityczne, spawane, chemiczne
Dostępność do złącza	łatwo dostępne, np. złącze słupów w 1/3 wysokości kondygnacji	średnio dostępne, np. ukryte złącze belka – słup	trudno dostępne, np. złącze kielicha z podstawą fundamentu
Zintegrowanie elementów	np. swobodne podparcie elementów	np. uciąglenie elementów kablami sprężającymi	np. zintegrowanie instalacji ze stropem

Jednym z ważnych wyzwań staje się zapewnienie dostępności do informacji, gdyż bez kompleksowej wiedzy o budynku i jego komponentach, np. dotyczącej materiałów składowych, technologii realizacji, trudno będzie optymalnie wykorzystać w przyszłości możliwości demontowanych elementów [4]. Rozwiązaniem może być tworzenie inteligentnych prefabrykatów z wbudowanymi czujnikami, umożliwiającymi ciągły monitoring ich pracy. Tego typu informacje dodatkowo zwiększają możliwość najefektywniejszego ponownego użycia prefabrykatów.

Wykonawstwo

Ocena zrównoważonego wykorzystania zasobów i wpływu wyrobów lub obiektów budowlanych na środowisko dokonywana jest na podstawie deklaracji środowiskowych produktów (EPD – *Environmental Product Declaration*) [6], np. z EPD prefabrykowanej wewnętrznej ściany nośnej produkowanej w Szwecji [10] wynika, jaki udział mają poszczególne składowe w całym cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assessment*) na emisję gazów cieplarnianych (rysunek 2).

Warto podkreślić, że zakłady prefabrykacji zapewniają utrzymanie systemów zarządzania środowiskiem zgodnych z obowiązującymi przepisami, np. z Systemem Zarządzania Środowiskowego ISO 14001. Skuteczne systemy recyklingu umożliwiają odzyskanie praktycznie całej wody technologicznej, szlamu, kruszyw, cementu i ponowne wykorzystanie ich w produkcji (np. w procesach wykończeniowych, takich jak polerowanie i gładzenie, można wykorzystywać odzyskiwaną wodę). Minimalizacji ilości odpadów sprzyja też stosowanie nowoczesnych szalunków, np. wykonanych z włókien szklanych, które mogą być znacznie dłużej wykorzystywane. Dane z Wielkiej Brytanii pokazują, że w ostatniej dekadzie ilość odpadów w zakładach prefabrykacji zmniejszyła się o ok. 20% i tylko 1% z nich, tj. ok. 3 kg/tonę wyrobów, trafiło na wysypisko [15].

Należy podkreślić, że wznoszenie budynków z prefabrykatów, w porównaniu z technologią tradycyjną, zmniejsza zanieczyszczenie powietrza oraz redukuje hałas na miejscu budowy. Deskowania na budowie są zredukowane lub

56175, 2026-11-03 15:17:50, IP: 194.47.102.27, licencja open access

wyeliminowane, a ilość prac wykończeniowych zmniejszona. Dzięki temu znacznie zwiększa się tempo realizacji obiektu, przy jednoczesnej minimalizacji zużycia energii.

Użytkowanie

Eksploatacja budynku jest o wiele bardziej energochłonna niż jego budowa. Większość emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia obiektu budowlanego powstaje w trakcie jego użytkowania. W przypadku betonowych konstrukcji prefabrykowanych, emisja dwutlenku węgla, który powstaje głównie podczas produkcji cementu, jest częściowo równoważona przez minimalizację kosztów utrzymania w porównaniu z konstrukcjami stalowymi czy drewnianymi. Duża pojemność termiczna konstrukcji betonowych, szczególnie stropów, pozwala na powolne pochłanianie i uwalnianie ciepła z otoczenia, co jest wykorzystywane w niektórych rozwiązaniach stropowych [5]. Dzięki temu zmniejsza się zapotrzebowanie na energię niezbędną do ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Dodatkowo, konstrukcje z betonu cechuje pewne pochłanianie dwutlenku węgla w wyniku karbonatyzacji, zachodzącej przez cały okres użytkowania konstrukcji.

Modernizacja

W związku z tym, że rozbiórka budynków wiąże się z dużymi kosztami finansowymi i społecznymi, będzie się zwiększać zainteresowanie możliwością modernizacji obiektu i wydłużeniem okresu jego użytkowania. Już na etapie projektu należy uwzględniać możliwość późniejszego przeprowadzania różnego rodzaju zmian. Pożądana jest też możliwość swobodnego kształtowania powierzchni użytkowej, w tym zmiany lokalizacji ścian działowych oraz łączenia czy dzielenia lokali. Najbardziej odpowiednim rozwiązaniem jest stworzenie przestrzeni wewnętrznych, nieposiadających elementów konstrukcyjnych ograniczających możliwość przyszłej zmiany. Współczesne rozwiązania stropów prefabrykowanych bardzo często bazują na technologii strunobetonu, która oprócz możliwości znacznego zwiększenia rozpiętości elementów, skutkuje również poprawą trwałości i estetyki konstrukcji.

Rozbiórka

W przypadku możliwego demontażu konstrukcji należy rozważyć ponowne użycie prefabrykatów. W badaniach realizowanych w TU Delft w Holandii wykazano, że ponowne użycie zdemontowanych kanałowych płyt stropowych może zmniejszyć emisję dwutlenku węgla do atmosfery o 60 – 85% w stosunku do emisji związanej z wyprodukowaniem nowych elementów stropowych o tych samych parametrach [11]. Zdemontowane prefabrykaty, których nie da się ponownie wykorzystać zgodnie z pierwotną ich funkcją, mogą znaleźć inne, różne od pierwotnego, zastosowanie, np. wykorzystanie starych płyt stropowych jako płyt drogowych lub do produkcji kruszywa. Różne badania [2, 7, 9, 10] wykazały, że możliwe jest wyprodukowanie betonu o wysokiej wytrzymałości i dużej trwałości na bazie kruszywa pochodzącego z recyklingu (uzyskano zadowalające wyniki nawet przy 100-proc. jego udziale). W zachodnioeuropejskiej prefabrykacji kruszywa wtórne stanowią obecnie już ok. 20% używanych kruszyw.

Podsumowanie

Nowoczesna prefabrykacja betonowa (fotografia 2) może wnieść znaczny wkład w strategię zrównoważonej gospodarki, znakomicie wpisując się w wymagania budownictwa o obiegu zamkniętym. Wymaga to jednak przede wszystkim zmiany sposobu myślenia o budynku i jego roli, a także częściowego odejścia od osiągnięć ostatnich lat (np. pełnego zintegrowania prefabrykatów konstrukcyjnych z instalacjami) tak, aby cechy budynków zrównoważonych stały się nadrzędne w stosunku do chęci zaspokajania najbardziej wygórowanych potrzeb inwestorów.

Fot. 2. Betonowe elementy prefabrykowane
Photo 2. Precast concrete elements

Literatura

[1] *A framework for circular buildings*. 2018. Dutch Green Building Council.

[2] Ajdukiewicz A., A. Kliszczewicz. 2009. „Recykling betonu konstrukcyjnego – cz. II". *Inżynier Budownictwa* 60 (3): 61 – 64.

[3] Derkowski W. 2017. „Large panels buildings – the possibilities of modern precast industry". *Cement, Wapno, Beton* (5): 414 – 425.

[4] Derkowski W. 2021. „Prefabrykacja betonowa krokiem w kierunku budownictwa o obiegu zamkniętym." *Beton: niskoemisyjny materiał budowlany, SPC*: 36 – 46.

[5] Derkowski W. 2019. „New solutions for prefabricated floor slabs". *Cement, Wapno, Beton* 24 (5): 372 – 382.

[6] EPD. *Prefabricated solid wall elements Abetong AB*. Heidelberg Cement Group, 2021.

[7] Fiol F. et al. 2020. „Influence of Recycled Precast Concrete Aggregate on Durability of Concrete's Physical Processes". *Appl. Sci.* 10: 7348.

[8] Flaga K., W. Derkowski, M. Surma. 2016. „Concrete strength and elasticity of precast thin-walled elements,". *Cement, Wapno, Beton* (5): 310 – 317.

[9] Katz A. 2003. „Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete". *Cement and Concrete Research* 33 (5): 703 – 711.

[10] Łój G. 2016. *Możliwości stosowania kruszyw z recyklingu budowlanego do wytwarzania betonów wibroprasowanych.* Monografie technologii betonu. IX Konferencja Dni Betonu: tradycja i nowoczesność, Wisła.

[11] Naber N. R. 2012. *Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings*. Master's thesis, TU Delft.

[12] Neutralność klimatyczna do 2050 r. Strategiczna długoterminowa wizja zamożnej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki UE, Komisja Europejska, 2018.

[13] Plaza M. G., S. Martínez, F. Rubiera. 2020. „CO_2 Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectations". *Energies* 13: 5692. DOI: 10.3390/en13215692.

[14] Skupień P., M. Niesyczyński, W. Derkowski. 2017. „Ściany warstwowe – efektywne rozwiązanie nowoczesnej prefabrykacji". *Materiały Budowlane* (536) 4: 30 – 32.

[15] *Sustainability Matters reports*. British Precast, 2018 – 2020.

Przyjęto do druku: 05.10.2021 r.