

NOWOCZESNA  
PREFABRYKACJA

Nowy cykl artykułów, poświęconych współczesnej, nowoczesnej prefabrykacji, tworzony jest we współpracy ze Stowarzyszeniem Producentów Betonów. Cykliczna rubryka ma na celu promocję korzyści ze stosowania prefabrykacji betonowej, możliwości pod kątem budownictwa przemysłowego, mieszkaniowego i drogowo-mostowego oraz innych zastosowań, promocję innowacji w prefabrykacji, przybliżenie zasad projektowania konstrukcji prefabrykowanych i ich elementów, a także prezentację wybranych obiektów. Wprowadzenie do cyklu stanowi przedstawienie idei prefabrykacji betonowej w budownictwie.



STOWARZYSZENIE PRODUCENTÓW BETONÓW  
Rok założenia 1994  
[www.s-p-b.pl](http://www.s-p-b.pl)

## PARTNERZY TEMATU



# PREFABRYKACJA BETONOWA

## Część 5.

## Materiałowe aspekty produkcji

dr inż. Grzegorz Adamczewski  
dr hab. inż. Piotr Woyciechowski, prof. PW

Materiały i właściwy ich dobór determinują właściwości techniczne produkowanych elementów prefabrykowanych. Ma to kluczowe znaczenie w zapewnieniu trwałości i bezpieczeństwa użytkowania obiektu wykonanego z prefabrykatów.

Podstawowymi materiałami do wykonania prefabrykatu są beton cementowy, stal zbrojeniowa zwykła lub sprężająca. W elementach warstwowych dodatkowym materiałem jest termoizolacja (zwykle styropian lub wełna mineralna). Niezbędne są także wkładki dystansowe stabilizujące zbrojenie oraz środki antyadhezyjne zapobiegające przywieraniu betonu do powierzchni formy w procesie produkcji (rys. 1.). Materiałem o największym udziale masowym w elementach jest beton i w dalszej kolejności stal zbrojeniowa. Właśnie te materiały w największym stopniu determinują właściwości techniczne produkowanych elementów. Właściwy dobór składników betonu oraz prawidłowe zaprojektowanie zbrojenia i jego otuliny są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania obiektu oraz jego trwałości. Z tych dwóch materiałów szczególną wagę należy przypisać betonowi, ponieważ to właśnie ten materiał wykonywany jest w warunkach produkcyjnych w zakładzie prefabrykacji, podczas gdy stal zbrojeniowa dostarczana jest do wytwórni z zewnątrz jako półprodukt.

### Beton, cementy, domieszki

Wytwórnie prefabrykatów korzystają z własnych węzłów produkujących mieszanki betonowe, zlokalizowanych bezpośrednio przy hali produkcji głównej i posiadają własne zaplecza laboratoryjne, prowadzące zarówno projektowa-

nie betonów, jak i kontrolę bieżącą jakości produkcji. Dobór rodzaju betonu uzależniony jest od wymagań technicznych – zazwyczaj wytrzymałościowych oraz środowiskowych warunków eksploatacji. W warunkach przemysłowych możliwe jest bez większych trudności zastosowanie specjalnych odmian betonów, np. SCC, BWW. Przykładowo przy realizacji budowy Auchan Bronowice w Krakowie do wykonania głównych elementów konstrukcyjnych wykorzystano z powodzeniem beton klasy wytrzymałości na ściskanie C90/105, co byłoby znacznym wyzwaniem w przypadku technologii monolitycznej.

Łatwość uzyskania szerokiego zakresu odmian betonów specjalnych w warunkach produkcji fabrycznej wynika ze stałych warunków produkcji, krótkiego wymaganego czasu utrzymania właściwości roboczych mieszanki betonowej oraz dogodnych warunków betonowania i dojrzenia betonu w formach, a także już po rozformowaniu w trakcie składowania. Najbardziej powszechnymi odmianami betonów specjalnych stosowanymi w nowoczesnej prefabrykacji są następujące odmiany nowoczesnych betonów:

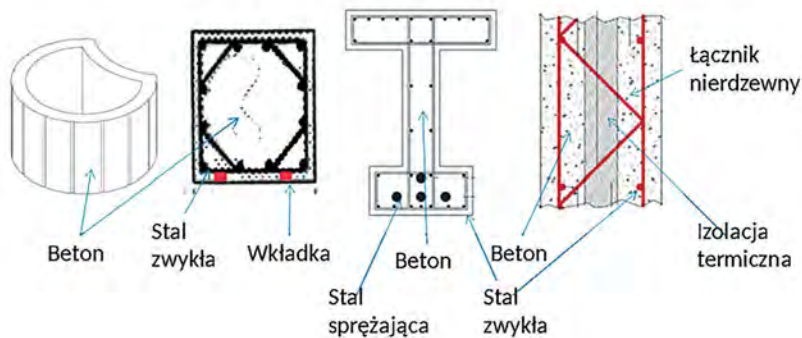
- **Samozagęszczalny** – samozagęszczalność mieszanki betonowej polega na samoistnym zagęszczeniu pod wpływem siły grawitacji dzięki silnemu upłynnieniu mieszanki, co powoduje prawie całkowite jej odpowietrzenie, zdolność do łatwego wypełniania wszystkich przestrzeni oraz szczelne otulenie zbrojenia

bez konieczności wibrowania, pod warunkiem zapewnienia odporności na segregację. Wyeliminowanie konieczności mechanicznego zagęszczania umożliwia betonowanie konstrukcji o znacznym stopniu zbrojenia oraz o nietypowych kształtach. Uzyskana powierzchnia jest gładka, wolna od pęcherzyków powietrza i „raków”. Beton samozagęszczalny ze względu na łatwość uzyskania gładkiej i estetycznej powierzchni jest także wykorzystywany do produkcji prefabrykatów z betonu licowego (rys. 2.).

- **Architektoniczny** – powierzchnia o bardzo wysokiej jakości, spełniająca nawet najbardziej wymagające standardy estetyczne. Zakłady prefabrykacji dzięki swoim możliwościom technologicznym, wysokiemu reżymowi produkcji, kontroli jakości gwarantują wykonanie wysokiej jakości produktu finalnego. Technologia prefabrykacji daje także możliwość uzyskania różnorodnych faktur dzięki zastosowaniu matryc z elastycznych tworzyw sztucznych lub drewna, płukania (usunięcia wierzchniej warstwy betonu/zaczynu poprzez splukanie i odsłonięcie dekoracyjnego kruszywa) czy też obróbki mechanicznej, jak np. szlifowanie lub piaskowanie. Beton barwiony w masie uzyskiwany jest przez zastosowanie nieorganicznych dodatków barwiących do mieszanki betonowej.
- **Ze zbrojeniem rozproszonym** – zbrojony włóknami syntetycznymi lub stalowymi, a obecnie coraz częściej włóknami szklanymi, stosowany najczęściej w elementach cienkościennych oraz w elementach eksploatowanych w środowisku agresywnym.
- **Wibroprasowany** – stosowany głównie do produkcji drobnowymiarowych elementów niezbrojonych, takich jak wyroby do nawierzchni drogowych, obrzeża i krawężniki, gazony, elementy murowe.

W prefabrykacji najczęściej stosowane są cementy portlandzkie CEM I, ale nie ma przeciwwskazań do stosowania cementów zawierających popiołowe dodatki nieklinkierowe lub cementów hutniczych. Zasady doboru cementu są takie same, jak w przypadku betonu przeznaczonego do konstrukcji monolitycznych, przy czym warto wziąć pod uwagę konieczność szybkiego uzyskania wytrzymałości rozformowania, a także ewentualne za-

Kierunkiem rozwoju materiałowego w prefabrykacji jest obniżanie śladu węglowego betonów (betony „zeroemisyjne”) oraz zastosowanie innowacyjnych spoiw, jak np. geopolimery, a także rozwój betonów ultrawysokiej wytrzymałości (betony BUWW), wykorzystujących np. proszki reaktywne (RPC).



Rys. 1. Podstawowe materiałowe rozwiązania prefabrykatów z betonu



Rys. 2. Prefabrykowany element ścienny z betonu architektonicznego

Zajęta: archiwum SPB



chowanie się cementu w warunkach obróbki cieplnej wpływające na przebieg rozwoju wytrzymałości. Dobór kruszywa jest analogiczny jak w przypadku betonów monolitycznych, a najczęściej stosowane są kruszywa żwirowe (betony niższych klas wytrzymałościowych) oraz kruszywa łamane (granit, bazalt) stosowane do wytwarzania betonów o podwyższonych parametrach.

Szczególnie istotnym, a mało widocznym makroskopowo składnikiem nowoczesnych betonów stosowanych w prefabrykacji są domieszki chemiczne. W obecnych czasach we współczesnej technologii dowolnego betonu trudno jest sobie wyobrazić beton niezawierający modyfikatorów chemicznych – wobec czego domieszki do betonu to jedna z najszybciej rozwijających się grup materiałów budowlanych. W prefabrykacji betonowej najczęściej stosowane są domieszki:

- regulujące konsystencję,
- regulujące czas wiązania cementu,
- napowietrzające,
- barwiące.

Szczególnie szerokie zastosowanie mają domieszki regulujące konsystencję. Pozwalają one na uzyskanie mieszanek betonowych o wysokim stopniu ciekłości, wymaganych tam, gdzie stopień zbrojenia elementów jest wysoki lub kształt form jest skomplikowany. W takich przypadkach ciepla mieszanka umożliwiła prawidłowe wypełnienie oraz uzyskanie wysokiej jakości powierzchni. Ponadto zastosowanie domieszek upłynniających pozwala na obniżenie zawartości wody w składzie betonu (niski stosunek cementowo – wodny), a więc podwyższenie klasy wytrzymałości na ściskanie betonu. Innym efektem stosowania modyfikatorów upłynniających są korzyści ekonomiczne – związane z możliwością zmniejszenia zawartości zaczynu w składzie mieszanki, a co za tym idzie – zmniejszeniem zapotrzebowania na cement. W prefabrykacji stosowane są także betony polimerowo-cementowe, to znaczy betony zawierające polimer stosowany jako współspoiwo, oraz betony żywiczne – niezawierające spoiwa cementowego.

## Stal zbrojeniowa

W prefabrykatkach z betonu stosowana jest stal zbrojeniowa (rys. 3.) zwykła lub sprężająca.

Zachowanie się konstrukcji żelbetonowych zależy w dużej mierze od parametrów stali zbrojeniowej. Zwiększenie bezpieczeństwa konstrukcji uzyskuje się przez zastosowanie stali o dużej wytrzymałości na rozciąganie. Do elementów żelbetonowych stosowana jest stal atestowana o najwyższych parametrach wytrzymałościowych. Do elementów sprężonych stosowane są cięgna i druty ze stali sprężającej. Proste druty są rzadko wykorzystywane w sprężaniu konstrukcji, przeważająca część jest skręcana w spłoty o wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa.

## Wkładki dystansowe

Wkładki dystansowe (rys. 4.) mają na celu uzyskanie w elemencie prefabrykowanym odpowiedniej grubości otuliny poprzez odsunięcie prętów zbrojeniowych od powierzchni formy. Inną funkcją wkładek jest zapewnienie niezmienności rozstawu prętów zbrojeniowych. Wkładki dystansowe wykonywane są z polietyleny, polipropylenu lub betonu. Materiał wkładek powinien być obojętny wobec składników betonu. Wkładki dystansowe w ogólności powinny:

- umożliwiać odpowiednie obciążenie dopuszczalne i stabilność – w zależności od działających obciążeń i warunków pogodowych, zwłaszcza temperatury;
- nie powinny obniżać odporności ogniowej elementu;
- umożliwiać pewne montowanie na zbrojeniu;
- mieć możliwie niewielki stopień odprężania, aby po rozdeskowaniu nie dochodziło do odpryskiwania znajdującej się blisko powierzchni warstwy betonu;
- mieć taki kształt, aby beton mógł otoczyć je ze wszystkich stron i wskutek zainstalowania dystansu nie doszło do rozwarstwiania się betonu z dystansem;
- być odporne na korozję i alkaliczne środowisko betonu;
- nie powodować korozji zbrojenia.

## Środki antyadhezyjne

Podobnie jak w przypadku deskowań konstrukcji monolitycznej, w formach do wytwarzania prefabrykatów stosowane są środki antyadhezyjne zapobiegające przywieraniu betonu do powierzchni formy i umożliwiające rozformowanie elementu bez uszkodzeń powierzchni elementu. Stosowane są środki chemiczne aktywne lub biernie (niewchodzące w reakcję ze składnikami betonu), na bazie olejów mineralnych, roślinnych i rozpuszczalników. Stosowane są środki w postaci emulsji i dyspersji wodnych. Dobór środka uzależniony jest od materiału poszycia formy, rodzaju betonu, warunków wytwarzania, w tym przydatności środka w przypadku stosowania obróbki cieplnej oraz oczekiwań co do estetyki wyrobu.

## Kierunki materiałowe rozwoju prefabrykacji

Kierunki rozwoju materiałowego w prefabrykacji to obniżanie śladu węglowego betonów (betony „zeroemisyjne”) oraz zastosowanie innowacyjnych spoiw, jak np. geopolimery, a także rozwój betonów ultrawysokiej wytrzymałości (betony BUWW), wykorzystujących np. proszki reaktywne (RPC). Rośnie także wykorzystanie nowoczesnych betonów ze stalowym mikro-zbrojeniem rozproszonym (fibrobetony), niezawierających zbrojenia głównego, jak również betonów zawierających zbrojenie główne niestające (pręty z włókna szklanego, bazaltu, kevlaru). Wykorzystanie materiałów odpadkowych w prefabrykacji wpisuje się w zrównowa-



Rys. 3. Stal zbrojeniowa



Rys. 4. Wkładki dystansowe

Rośnie wykorzystanie nowoczesnych betonów ze stalowym mikro-zbrojeniem rozproszonym (fibrobetony), niezawierających zbrojenia głównego, jak również betonów zawierających zbrojenie główne niestające (pręty z włókna szklanego, bazaltu, kevlaru).

zony rozwój w budownictwie, obejmując zarówno wykorzystanie różnych przemysłowych produktów ubocznych, jak i recykling odpadów z procesu produkcji prefabrykatów. Warto także podkreślić rolę prefabrykacji betonowej w bilansie śladu węglowego betonu i jego składników, w tym potencjał sekwestracyny betonowych elementów, w przypadku prefabrykacji tym większy, że ich powierzchnia zwykle nie jest pokryta dodatkowym materiałem.

## Betony geopolimerowe

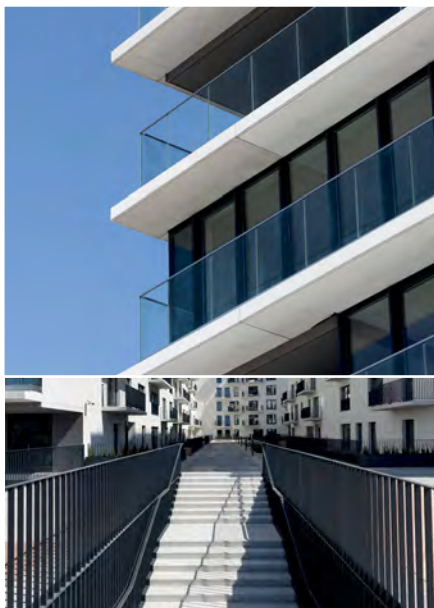
Kompozyty geopolimerowe dzięki dobrym właściwościom mechanicznym oraz zdolności do szczelnego wypełniania form mogą być szeroko stosowane w prefabrykacji. Geopolimerowy beton aktualnie jest wykorzystywany do wykonywania niewielkich, często dekoracyjnych elementów, jak również konstrukcyjnych fragmentów obiektów budowlanych. Geopolimery posiadają dużą wytrzymałość na ściskanie, zginanie i rozciąganie oraz są materiałem trwałszym od tradycyjnego betonu z cementu portlandzkiego. Wyjątkowa struktura zapewnia im lepszą odporność na korozję chemiczną, a tak-



Prefabrykowane słupy, belki i ściany w budowie elektrowni Opolo



Płyty audytoryjne, stopnie komunikacyjne, stropy filigran, słupy i belki, Wrocław Stadion Olimpijski



Prefabrykowane biegi schodowe i balkony w kompleksie apartamentowo-biurowym we Wrocławiu



Ekranu akustyczne przy drodze S8



Prefabrykowane płyty elewacyjne w hali produkcyjnej, Długołęka

że wpływa na dłuższe zachowanie właściwości użytkowych w warunkach pożaru i podwyższonej temperatury. Wszystkie powyższe zalety predestynują spoiwa geopolimerowe do szerokich zastosowań we współczesnej prefabrykacji.

W 2013 roku w Brisbane (Australia) wzniesiono pierwszy budynek użyteczności publicznej, do budowy którego wykorzystano prefabrykowane elementy stropu wykonane z konstrukcyjnego betonu geopolimerowego, gdzie komercyjny beton geopolimerowy został zastosowany do wykonania 33 prefabrykowanych belek stropowych.

### Betony zawierające materiały odpadowe

Rozwiązaniem powszechnie stosowanym w celu obniżenia śladu węglowego betonu jest zmniejszenie ilości klinkieru stosowanego w cementzie i zastąpienie go materiałami mineralnymi o znacznie niższym wskaźniku emisji. Wiele takich zamienników jest stosowanych zarówno jako zamienniki klinkieru, jak i cementu, zgodnie z PN-EN197-1 i PN-EN 206. W realiach

krajowych zamiennikiem powszechnie stosowanym jest popiół lotny. Ze względu na odpadowe pochodzenie emisja CO<sub>2</sub> wynikająca z jego użytkowania jest niemal zerowa. Ważne jest, aby stosowany zamiennik wykazywał takie cechy, żeby uzyskany cement miał odpowiednie właściwości, a zawierający go beton charakteryzował się odpowiednią trwałością, rozumianą jako zdolność do spełniania wymagań użytkownika w określonych warunkach przez określony czas, w warunkach użytkowania danego obiektu. Stosowany jest także szereg innych odpadów mineralnych (żużel wielkopiecowy, mikrokrzemionka i inne sztuczne pucolony). Tego rodzaju modyfikacje zazwyczaj nie są jednak rozwiązaniem idealnym w prefabrykacji, ponieważ ograniczają w pewnym zakresie wydajność produkcji z uwagi na inną charakterystykę rozwoju wytrzymałości substitutów spoiwa.

Ograniczenia co do stosowalności materiałów odpadowych są podyktowane również wymaganiami stawianymi przez klasy ekspozycji betonu, a użyteczność materiału po-

winna być każdorazowo weryfikowana w kontekście jego trwałości. Rosnące znaczenie zagadnień zrównoważonego rozwoju w budownictwie sprawia, że problematyka stosowania odpadów w prefabrykacji jest w dużym stopniu nieunikniona i będzie rozwijana w perspektywie najbliższych lat, również w zakresie prób wykorzystania odpadów innych niż wymienione.

Duży potencjał rozwoju kryje się w metodach produkcji prefabrykatów techniką druku 3D z mieszanki betonowej. Wytwarzanie prefabrykatów z wykorzystaniem techniki druku 3D zdaje się być wręcz stworzone dla potrzeb współczesnej prefabrykacji, umożliwiając wytwarzanie elementów o skomplikowanym kształcie – w tradycyjnych technikach formowania niemożliwych lub nieoptyczalnych do wykonania. Ograniczenia technologii wynikają jednak z konieczności posiadania specjalistycznych urządzeń przeznaczonych do drukowania z betonu, a także dostosowania właściwości mieszanek betonowych w zakresie reologii sprzyjającej drukowaniu w tej technologii. ■