



Temat specjalny

TECHNOLOGIA PREFABRYKACJI

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

HABA-BETON
MONOLITHIC IDEAS WWW.HABA-BETON.EU

LIEBHERR

optemFROG

Konstrukcje prefabrykowane, stanowiąc przejaw postępu technologicznego w budownictwie, umożliwiają przeniesienie znaczącej części procesu technologicznego do zakładów prefabrykacji, co ogranicza prace na budowie zazwyczaj do montażu elementów. Ponieważ prefabrykaty mogą być wykonane z różnych materiałów, o dowolnych kształtach, różnym stopniu wykończenia i przeznaczenia, znajdują zastosowanie w wielu gałęziach budownictwa.



Fot. Yevgeniy Zolovchuk, sema_srinouljan, fotolia.com



Fot. below1409, fotolia.com

Prefabrykaty w budownictwie

Pod pojęciem prefabrykacji kryje się technika projektowania i wykonywania budowli, charakteryzująca się określonymi cechami, do których należą:

- podział budowli na części i elementy funkcjonalne specjalizowane,
- podział i specjalizacja wykonawstwa, obejmujące produkcję, transport i montaż elementów,
- specjalizacja zastosowania materiałów i mechanizacja robót w produkcji, transporcie i montażu,
- ograniczenie robót na budowie do montażu i łączenia części i elementów specjalizowanych [1].

W budownictwie od zawsze to właśnie materiał konstrukcyjny determinował wszelkie operacje technologiczne podczas wznoszenia, ale również charakterystykę użytkowania i utrzymania obiektu. Biorąc pod uwagę wykorzystany przy produkcji materiał, prefabrykaty dzieli się na stalowe, drewniane, żelbetowe, strunobetonowe, kablobetonowe itp. Porównanie charakterystyk wybranych rozwiązań materiałowych stosowanych w prefabrykacji przedstawiono w tabeli 1.

Przy wznoszeniu obiektów ze stali oprócz szybkiego tempa budowy zachowuje się bardzo dużą lekkość konstrukcji. Niemniej nie każdy obiekt może w takiej technologii powstać – stal wykorzystuje się zazwyczaj do budowy hal, mostów, masztów i wież oraz słupów trakcyjnych. Atutem budownictwa drewnianego jest z kolei atrakcyjność i oryginalność architektoniczna oraz wzbudzenie proekologicznych skojarzeń, przy czym produkcja elementów z drewna, zwłaszcza klejonego, jest dość skomplikowana i kosztowna. Ponadto z racji podatności na korozję tak drewniane (korozja biologiczna), jak i stalowe konstrukcje wymagają dodatkowych zabiegów ochronnych, które zapewnią im trwałość oraz bezpieczeństwo na wypadek pożaru. Z tą ostatnią kwestią związany jest również aspekt ekonomiczny utrzymania obiektu, a dokładnie wyższe koszty składek ubezpieczeniowych.

Z doborem koncepcji materiałowej inwestycji wiąże się m.in. oczekiwany czas realizacji obiektu, jej maksymalny akceptowalny koszt oraz przeznaczenie obiektu. W przypadku obiektów przemysłowych, centrów handlowych i logistycznych, gdzie zakłada się relatywnie krótki czas realizacji i eksploatacji, materiałem konstrukcyjnym jest najczęściej stal lub żelbet czy

Tab. 1. Porównanie charakterystyk różnych rozwiązań materiałowych w prefabrykacji [2]

Właściwość	Materiał			
	Żelbet	Beton sprężony	Stal	Drewno klejone
typowe zastosowania	bez ograniczeń	przemysłowe, mostowe	hale, maszty, trakcje, mosty	sportowe, widowiskowe, sakralne
koszt materiałowy	średni	średni	wysoki	wysoki
kosz realizacji	średni	średni	średni	wysoki
czas wznoszenia	krótki	krótki	bardzo krótki	krótki
czas produkcji elementu	średni	średni	krótki	długi
ciężar konstrukcji	duży	duży	mały	średni
atrakcyjność architektoniczna	duża	średnia	mała	duża
konieczność zabezpieczeń	ograniczona	korozja chemiczna	ogień, korozja chemiczna	ogień, zawilgocenie, korozja biologiczna
koszt ubezpieczenia	przeciętne	przeciętne	wysokie	wysokie

Doświadczyc postępu.



Dźwigi gąsienicowe Liebherr – Seria LR

- Doskonałe udźwigi, obliczanie obciążenia on-line
- Duża różnorodność konfiguracji wysięgnika
- Szybki i łatwy montaż
- Łatwy i ekonomiczny transport

Liebherr-Polska Sp. z o. o.
ul. Hansa Liebherra 8
41-710 Ruda Śląska
Tel.: +48 32 342 69 50
E-mail: info.lpl@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.pl

LIEBHERR

beton sprężony. W budownictwie mieszkaniowym lub obiektów użyteczności publicznej dominującym materiałem jest beton, podobnie jak w budownictwie infrastrukturalnym (mosty, drogi, instalacje wodno-kanalizacyjne itp.). Najbardziej predestynowanymi materiałami dla obiektów specjalnych, takich jak np. obiekty sportowe, sakralne i inne obiekty użyteczności publicznej, są beton (zwłaszcza architektoniczny) lub drewno klejone, często stosowane jednocześnie.

Jak wynika z praktyki, dominującym materiałem konstrukcyjnym we współczesnej prefabrykacji jest jednak beton, a zastosowania drewna i stali można w skali ogólnej produkcji budowlanej uznać za niewielkie. Beton jako materiał konstrukcyjny ma więc przed sobą doskonałe perspektywy zarówno od strony inżynierii materiałowej, jak i technologii oraz techniki budowania. Stąd właśnie prefabrykatom betonowym została poświęcona dalsza część artykułu [2].

Produkcja, transport, montaż

Podstawową cechą prefabrykacji elementów jest ich wytwarzanie w wydzielonych zakładach typu fabrycznego, które dzielą się na stałe, polowe i przyobiektowe. Wytwórnice stałe charakteryzują się bardzo dużym stopniem automatyzacji wytwarzania. Produkują w nich duże serie prefabrykatów. Inaczej jest w wytwórnicach polowych, określanych także jako poligonowe, które są przeznaczone do produkcji prefabrykatów na potrzeby jednego obiektu przemysłowego czy osiedla mieszkaniowego. Do produkcji prefabrykatów stosuje się urzą-

żenia przenośne, a transport gotowych elementów z wytwórni poligonowych odbywa się za pomocą samochodów. Trzeci typ, wytwórnice przyobiektowe, organizuje się przy placu budowy, gdzie wykonuje się nietypowe prefabrykaty potrzebne do wybudowania danego obiektu. Tego typu wytwórnice powinny być zlokalizowane tak, by przenoszenie gotowych prefabrykatów na miejsce wbudowania było możliwe za pomocą żurawia montażowego [3].

Wśród metod produkcji prefabrykatów wyróżnia się trzy – stendową, potokową i taśmową. Pierwsza z nich to metoda najstarsza, w której urządzenie formujące ustawiane jest w hali lub na placu budowy w jednym miejscu (forma jest nieruchoma – *standing*). Metodę stendową obecnie stosuje się przy produkcji dźwigarów mostowych. Kolejna metoda, potokowa, jest stosowana m.in. przy produkcji kostki brukowej. Wykorzystuje się w niej ciąg przesuwających się ze stanowiska na stanowisko podkładów. Ten tzw. układ z wymuszeniem polega na tym, że każda brygada musi wykonać swoją pracę w czasie postoju podkładu na danym stanowisku. Podkłady z elementami układane są w komorze naparzalniczej. W przypadku metody taśmowej cykl produkcyjny odbywa się na taśmie, przesuwanej regularnie od 15 do 30 minut o jedno stanowisko robocze.

Każda z tych metod składa się z następujących procesów:

- rozformowania, czyli wyjęcia prefabrykatu z formy po osiągnięciu tzw. wytrzymałości rozformowania,
- czyszczenia, składania i pokrywania formy preparatem antyadhezyjnym,
- układania zbrojenia w formie i profili kształtujących obrzeża i otwory w elemencie,
- układania mieszanki betonowej,
- poddania prefabrykatu obróbce termicznej [4].

W większości przypadków prefabrykaty dowozi się na plac budowy, korzystając z transportu drogowego. Ponieważ przepisy drogowe określają maksymalnie dozwolone gabaryty oraz masę całkowitą w transporcie drogowym, wpływają także poniekąd na projektowanie wymiarów prefabrykatów, ponieważ prefabrykaty mieszczące się w gabarytach transportowych przewozi się transportem ogólnego przeznaczenia, bez konieczności uzyskiwania specjalnych zezwoleń. Transport prefabrykatów, oprócz pojazdów ogólnego przeznaczenia, odbywa się także na pojazdach specjalnych, przeznaczonych wyłącznie do określonego rodzaju ładunku. Np. dłużyce (rozciągi) są dedykowane poziomemu transportowi słupów, belek i płyt stropowych o długości przekraczającej długość typowej skrzyni ładunkowej. Z kolei wanny umożliwiają transport pionowy ścian o wysokości do 4 m, bez przekroczenia skrajni transportowej. Elementy o znacznych wymiarach, wykraczających poza standardowe wymiary transportowe, są przewożone przez wyspecjalizowane firmy, co umożliwia dostawy elementów o gabarytach do 200 t oraz o długości 50 m. Podczas transportu elementów prefabrykowanych ogromne znaczenie mają rodzaj, liczba i rozmieszczenie kotew transportowych, które stosuje się do podnoszenia i transportowania prefabrykatów.

Całość procesu produkcyjnego odbywa się najczęściej w fabryce, dlatego na placu budowy wymaga się zazwyczaj jedynie prac montażowych. Tym samym prefabrykacja jest znacznie mniej podatna na zakłócenia prac budowlanych spowodowanych działaniem wilgoci, zimna czy gorąca. Jeśli wystąpi

LIEBHERR

LIEBHERR-POLSKA Sp. z o.o., ul. Hansa Liebherra 8, 41-710 Ruda Śląska
tel.: 32 342 69 50, fax: 32 326 29 70, e-mail: info.pl@liebherr.com



www.liebherr.com

WIERTNICE OBROTOWE LIEBHERR SERIA LB

LB 24 należy do serii LB obrotowych wiertnic Liebherr. Maszyna o całkowitej masie 76 t jest wyposażona w silnik diesla o mocy 270 kW. Szczególną zaletą techniczną LB 24 jest jej system linowy z siłą pchającą i ciągnącą na poziomie 20 t. Dzięki temu użytkownik zyskuje maksymalną wydajność i niezawodność, nawet w trudnych warunkach gruntowych i eksploatacyjnych. Wysięgnik o dużym przekroju i solidna kinematyka LB 24 to unikalne cechy techniczne. Ponadto, obrotowa wiertnica wyposażona jest w głowicę obrotową BAT produkcji firmy Liebherr, oferującą moment obrotowy 270 kNm.

którykolwiek z tych czynników, to roboty montażowe mogą być kontynuowane.

Budowę obiektów prefabrykowanych cechuje wysokie tempo realizacji, więc szczególnie istotną kwestią jest stateczność elementów i całej konstrukcji podczas każdej fazy montażu, począwszy od wyboru układu statycznego, zwłaszcza w etapowej realizacji konstrukcji. Powinno się ściśle określić niezbędny zakres i czas wykonania robót monolitycznych (zalewanie węzłów), koniecznych do usztywnienia budynku na każdym etapie montażu, ale także uwzględnić czas osiągania wymaganych wytrzymałości przez betony i zaprawy monolityczne. Wszystkie te zależności trzeba uwzględnić w planowaniu kolejności i tempa montażu oraz dostaw elementów. Wytyczne, bazujące na analizie stateczności konstrukcji w różnych fazach montażowych, muszą określać wszelkie uwarunkowania zapewniające stateczność konstrukcji w każdej fazie montażu i gwarantować bezpieczne połączenie prefabrykatów w odpowiedniej kolejności [1].

Zalety i wady

Oczywistą zaletą stosowania prefabrykatów jest krótszy okres budowy obiektu prefabrykowanego w porównaniu z okresem wznoszenia budowli tradycyjnymi metodami. Składa się na to wiele czynników, począwszy od mechanizacji produkcji prefabrykatów, krótkiego czasu montażu, przez ciągłość produkcji prefabrykatów i w efekcie ograniczenia do minimum przerw technologicznych, po eliminację bądź ograniczenie robót wy-

kończeniowych na budowie i możliwość prowadzenia robót budowlanych w ciągu całego roku, podczas gdy w budownictwie tradycyjnym roboty prowadzone są zwykle sezonowo (średnio przez siedem, osiem miesięcy).

W przypadku prefabrykacji można mówić o optymalnym zużyciu materiałów, wynikającym m.in. z wysokich parametrów eksploatacyjnych i jakościowych prefabrykatów uzyskiwanych w dobrze opanowanym procesie produkcyjnym, obejmującym także produkcję półfabrykatów, tj. mieszankę betonową i zbrojenie. Elementy prefabrykowane są poddawane systematycznej i wysoko specjalizowanej kontroli jakości na poszczególnych etapach produkcji, a do ich wyrobu stosuje się lepszej jakości materiały, takie jak stal, cement czy kruszywo. Ich optymalne zużycie to także rezultat bardziej efektywnych pod względem zużycia materiału kształtów i przekrojów w porównaniu z powszechnie stosowanym w konstrukcjach monolitycznych przekrojem prostokątnym.

Kolejną zaletą elementów prefabrykowanych jest trwałość, wynikająca z mniejszego odchylenia wymiarowego w stosunku do konstrukcji monolitycznych, stosowania betonu o wyższych klasach niż na budowie oraz szczegółowej kontroli procesu produkcyjnego, która gwarantuje m.in. jednolitość i poprawność otuliny prętów zbrojeniowych. W przypadku prefabrykacji można uzyskać wszechstronność wykończenia dzięki różnorodności wykończenia powierzchni (faktury, beton architektoniczny) oraz wyposażeniu prefabrykatów w przewody instalacyjne, stolarkę itp. Ponieważ prefabrykaty nie

Tab. 2. Analiza SWOT – technologie prefabrykowane w budownictwie mieszkaniowym [7]

Mocne strony	Słabe strony
możliwość typizacji elementów	ograniczenia architektoniczne – projekty takich budynków są wyzwaniem dla architekta
przygotowanie prefabrykatów w zakładzie produkcyjnym, co umożliwia uzyskanie odpowiedniej jakości elementów, a tym samym i budynków, niezależnie od warunków atmosferycznych	wysokie koszty i duże ograniczenia techniczne w zmianie układu wewnętrznego budynku
stała doświadczona załoga gwarantująca: – kontrolę zastosowanych materiałów, – wysoką jakość prefabrykatów na każdym etapie ich produkcji	konieczność stosowania dźwigu lub innych środków transportu pionowego do montażu budynku
krótki czas realizacji, a przez to obniżenie kosztów budowy	ograniczony zasięg optymalnego transportu elementów prefabrykowanych
powtarzalność rozwiązań konstrukcyjnych sprzyjająca ich właściwemu wykonaniu	
łatwość połączenia systemu prefabrykowanego z monolitycznym	
mniejsze koszty utrzymania i konserwacji obiektów	
zwiększona nośność i trwałość konstrukcji (mniejsze ugięcia) przez stosowanie betonów wyższych klas	
Szanse	Zagrożenia
Narodowy Program Mieszkaniowy – Mieszkanie Plus	problemy z finansowaniem przedsięwzięć budowlanych
nowoczesne technologie i materiały	rozproszone lokalizacje budów, co wpływa negatywnie na koszty transportu i logistykę
cyfryzacja budownictwa (BIM)	brak odpowiednich materiałów i rozwiązań technologicznych
	zależność od zagranicznych centrów decyzyjnych przedsiębiorstw działających na polskim rynku budowlanym



Fot. Pink Badger, fotolia.com



Fot. fefufoto, fotolia.com

ulegają procesowi korozyjnemu, mogą być w pełni stosowane w środowisku agresywnym. Cechuje je także mała relaksacja naprężeniowa, co oznacza, że prefabrykaty betonowe zachowują kształt elementów, wymiary oraz wykazują stabilność cech. Dzięki zastosowaniu prefabrykacji zyskuje się możliwość formowania konstrukcji o wyrafinowanych kształtach i wymaganej precyzji, nieosiągalnych w przypadku zbrojenia tradycyjnego. Dzięki masywności i połączeniom elementów prefabrykaty tłumią drgania, co ma niebagatelne znaczenie zwłaszcza dla np. obiektów sportowych.

Warto także zwrócić uwagę na aspekt ekologiczny. Dzięki stosowaniu prefabrykacji przy wznoszeniu obiektu jest do niego wprowadzana stosunkowo niewielka ilość wody, przez co mniejsze jest ryzyko niezdrowych warunków we wnętrzu oraz błędów przy pracach wykończeniowych, wpływających na zdrowotność wnętrza. Nie bez znaczenia dla środowiska jest możliwość wysokiej powtarzalności użycia form do produkcji prefabrykatów oraz możliwość ponownego użycia lub poddania recyklingowi elementów prefabrykowanych. Obiekt wykonany przy użyciu prefabrykatów jest w zasadzie gotowy do użytku po ukończeniu prac budowlanych, co wynika m.in. z braku konieczności wysuszenia wykonanych elementów.

Za obszar problematyczny można uznać przewóz prefabrykatów, który wymaga specjalistycznych środków transportu ze względu na masę, kształt, wymiary i wykończenie prefabrykatów. Konieczny jest także odpowiedni sprzęt do rozładunku i montażu. Przeszkodę mogą również stanowić ograniczona odległość transportu lub konieczność budowy dróg transportowych. Wziąwszy pod uwagę aspekt ekonomiczny, gotowe elementy są stosunkowo drogie, a nakładów finansowych na realizację projektu nie można rozłożyć w czasie [5]. W tabeli 2 przedstawiono analizę SWOT dla technologii prefabrykowanych w budownictwie.

Kierunki rozwoju

Rozwój materiałowy w prefabrykacji zmierza do obniżenia śladu węglowego betonów (betony zeroemisyjne) oraz zastosowania innowacyjnych spoiw, jak np. geopolimery. Obserwuje się także rozwój betonów ultrawysokiej wytrzymałości (betony BUWW), w których wykorzystuje się np. proszki reaktywne (RPC). Rośnie także wykorzystanie nowoczesnych betonów ze stalowym mikrozbrojeniem rozproszonym (fibrobetony), niezawierających zbrojenia głównego, oraz betonów zawierających zbrojenie, główne niestalowe – pręty z włókna szklanego, bazaltu, kevlaru.

W prefabrykacji wykorzystuje się materiały odpadowe, co wpisuje się w zrównoważony rozwój w budownictwie i obej-

muje zarówno wykorzystanie różnego typu przemysłowych produktów ubocznych, jak również recykling odpadów z procesu produkcji prefabrykatów. Na uwagę zasługuje rola prefabrykacji betonowej w bilansie śladu węglowego betonu i jego składników, w tym potencjał sekwestracji betonowych elementów, który w przypadku prefabrykacji jest tym większy, że ich powierzchnia zwykle nie jest pokryta dodatkowym materiałem.

Szczególnie istotny, chociaż mało widoczny makroskopowo składnik nowoczesnych betonów stosowanych w prefabrykacji stanowią domieszki chemiczne. Przy dzisiejszej technologii produkcji dowolnego betonu trudno jest sobie wyobrazić beton, który nie zawierałby modyfikatorów chemicznych. Nic więc dziwnego, że domieszki do betonu to jedna z najszybciej rozwijających się grup materiałów budowlanych.

Duży potencjał rozwoju prefabrykatów kryje się w metodach ich produkcji przy wykorzystaniu techniki druku 3D z mieszanki betonowej. Wytwarzanie prefabrykatów tym sposobem wydaje się wręcz stworzone dla potrzeb współczesnej prefabrykacji, ponieważ umożliwia wytwarzanie elementów o skomplikowanym kształcie, co w tradycyjnych technikach formowania byłoby niemożliwe lub nieoptymalne do wykonania [6].

Literatura

- [1] Adamczewski G., Woyciechowski P.: *Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność* (online). Stowarzyszenie Producentów Betonów, Warszawa, październik 2014, z. 1. Dostępny w Internecie: http://www.s-p-b.pl/sources/Zeszyt_1_PREFABRYKACJA_Jakosc.pdf (dostęp 15 kwietnia 2018).
- [2] Adamczewski G., Woyciechowski P.: *Prefabrykacja w XXI wieku*. „Inżynier Budownictwa” 2015, nr 4, s. 54–58.
- [3] Pośpiech G.: *Wykonywanie elementów prefabrykowanych*. Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2006.
- [4] Jasiczak J.: *Technologie budowlane II*. Poznań 2003.
- [5] Borowiecki H.: *Zalety i wady stosowania prefabrykacji w budownictwie* (online). Prezi, 27 stycznia 2014. Dostępny w Internecie: <https://prezi.com/y3dsxmhdmf0z/zalety-i-wady-stosowania-prefabrykacji-w-budownictwie/> (dostęp 15 kwietnia 2018).
- [6] Adamczewski G., Woyciechowski P.: *Prefabrykacja betonów*. Cz. 5. *Materiałowe aspekty produkcji*. „Builder” 2017, nr 7, s. 70–74.
- [7] Fangrat J., Sieczkowski J.: *Budownictwo innowacyjne. Technologie prefabrykowane i modułowe w budownictwie mieszkaniowym*. „Builder” 2017, nr 12, s. 58–61.

