

Po przejściowym okresie niechęci coraz częściej projektuje się obiekty przemysłowe i użyteczności publicznej jako konstrukcje prefabrykowane z elementów żelbetonowych. Powoduje to powrót do task zakładów zajmujących się produkcją prefabrykatów w tej technologii. W związku z zupełnie odmiennymi wymaganiami stawianymi przez projektantów i inwestorów firmy te stają jednak przed problemem produkcji elementów o wysokich parametrach wytrzymałości, szczelności i zwiększonej trwałości. Konieczne jest również wytwarzanie elementów o nietypowych, często bardzo skomplikowanych kształtach (patrz fot. nr 1). Wymagane coraz krótsze czasy realizacji kontraktów wymuszają na producencie prefabrykatów maksymalne skrócenie czasu trwania procesu produkcyjnego. Technologia produkcji prefabrykatów z użyciem naporzania, ze względu na rosnące ciągle koszty energii (węgiel, energia elektryczna, woda i obsługa kotłowni) w ogromnej większości przypadków jest nie do przyjęcia. Powoduje to oparcie większości produkcji na technologii betonu modyfikowanego domieszkami chemicznymi. Technologia ta pozwala na uzyskanie odpowiednio wysokiej wczesnej wytrzymałości umożliwiającej rozformowanie i podniesienie elementu lub zwolnienie naciągu strun (w przypadku prefabrykatów sprężanych).

Wymagania technologiczne konieczne do spełnienia przez producenta

Oprócz wymagań wytrzymałościowych i trwałościowych dobrej jakości prefabrykat powinien charakteryzować się również innymi cechami jak: estetyczna faktura zewnętrzna, minimalna ilość ewentualnie koniecznego szpachlowania, jednorodność barwy – szczególnie w przypadku elementów barwionych strukturalnie oraz dokładność wykonania.

Spełnienie tych warunków wymaga posiadania:

- nowoczesnej technologii formowania



Fot. 1 Prefabrykowane schody żelbetonowe

Beton w prefabrykacji – od mieszanek tradycyjnych do betonów samozagęszczalnych

(stoły metalowe, uchyłne, z możliwością nadbudowy burt i wykonywania elementów o zróżnicowanych, często skomplikowanych kształtach)

- właściwej technologii betonu (odpowiednio dobrane do wymagań rodzaj i ilość cementu oraz poszczególnych kruszyw; niska ilość wody – niski stosunek w/c umożliwiający rozformowanie i podniesienie elementu w określonym czasie; właściwie dobrane domieszki chemiczne modyfikujące parametry świeżej mieszanki lub betonu stwardniałego
- nowoczesnego „systemu” produkcji prefabrykatów (podawanie i układanie masy, wibracja, akcesoria do wbetonowania, środki antyadhezyjne, materiały do wykańczania, kosmetyki lub naprawy prefabrykatów.

Właściwy dobór składników mieszanki betonowej

Wybór odpowiedniej jakości materiałów do produkcji jest pierwszym, bardzo ważnym krokiem prowadzącym do uzyskania efektu w postaci właściwie wykonanego prefabrykatu. Najczęściej używanymi składnikami do produkcji są:

Cement: Ze względu na wysokie i reguły wymagane wczesne wytrzymałości i konieczność wczesnego rozformowania elementów należy stosować cementy o wysokim cieple hydratacji z grupy CEM I klasy 32,5 R lub 42,5 R. W przypadku prefabrykatów z betonów o specyficznych wymaganiach, np. o dużej szczelności i odporności na agresję chemiczną, należy stosować tzw. cementy specjalne. Ewentualne wolniejsze przyrosty wytrzymałości początkowych tych cementów należy uwzględnić w projektowaniu.

Woda: Nie ma żadnych specyficznych wymagań dotyczących wody dla produkcji betonu przeznaczonego dla prefabrykacji. Powinna być to woda wodociągowa odpowiadająca wymogom właściwych norm, nie zawierająca żadnych zanieczyszczeń mogących działać korozyjnie na beton.

Kruszywa: Stosowane kruszywo winno odpowiadać wymogom normy PN-86/B-06712. Maksymalne uziarnienie należy dobrać w zależności od wymiarów

elementu. Najczęściej nie przekracza ono 16 mm. W każdym przypadku zaleca się stosowanie kruszyw frakcjonowanych (piasku; żwirów 2-8 i 8-16). Wszelkiego typu mieszanki żwirowopiaskowe są z reguły bardzo niestabilne i stwarzają trudności w skomponowaniu właściwego stosu okrucowego. Zawartość poszczególnych frakcji kruszywa w krzywej uziarnienia do betonu winna odpowiadać wymogom krzywych granicznych. Przy elementach z betonu szczelnego bardzo ważna jest zawartość frakcji drobnej <0,25 mm, która powinna się wahać w granicach 4÷6%. W przypadku betonów o wysokiej wytrzymałości lub prefabrykatów z przeznaczeniem na obiekty drogowo-mostowe należy zastosować kruszywo grube łamane z różnych typów skał, np. granit, bazalt, amfibolit itp.

Dodatki mineralne: Przy zastosowaniu dodatków mineralnych należy zdawać sobie sprawę z wpływu ich zastosowania na parametry betonu. Zastosowanie najbardziej popularnych popiołów lotnych znacznie obniża przyrosty wytrzymałości wczesnych, co w przypadku prefabrykacji jest bardzo niekorzystne. Pyły krzemionkowe (mikrokrzemionka) w znakomity sposób poprawiają parametry szczelności i odporności betonu na agresję chemiczną. Mączka kwarcowa jest natomiast dodatkiem obojętnym, który może zastąpić część drobnych frakcji w piasku. Jako dodatki płynne można natomiast zakwalifikować emulsje polimerowe oraz emulsje organiczne.

Emulsje polimerowe są używane jako dodatek do betonów poprawiający przede wszystkim ich przyczepność do podłoża, plastyczność, mrozoodporność oraz elastyczność i zmniejszający niebezpieczeństwo powstawania zarysowań przy wysychaniu. W prefabrykacji mają zastosowanie przede wszystkim przy produkcji zapraw naprawczych oraz elementów cienkowarstwowych. Emulsje organiczne stosuje się jako dodatek do produkcji elementów o szczególnie wysokich wymaganiach szczelności i odporności chemicznej oraz całkowicie odpornych na oddziaływanie czynników ropopochodnych (benzyna,

oleje itp.) Poprawiają one także wytrzymałość na zginanie i działają stabilizująco.

Domieszki chemiczne: Dobór domieszki odpowiedniej do danej technologii, konsystencji, przy jakiej element jest zabudowywany, i oczekiwanych parametrów betonu stwardniałego nie jest rzeczą łatwą. Przy produkcji prefabrykatów stosuje się następujące grupy domieszek:

- plastyfikatory – grupa BV stosowane przy stosunkowo niskich wymaganiach wytrzymałościowych i wysokich stosunkach wodno-cementowych dla konsystencji plastycznych i półciekłych. Ze względu na coraz wyższe wymagania wytrzymałościowe w stosunku do elementów prefabrykowanych zastosowanie klasycznych plastyfikatorów w nowoczesnych zakładach prefabrykacji spada
- plastyfikatory dla betonów o konsystencji wilgotnej do produkcji elementów betonowych metodą wibroprasowania (kostka brukowa, płyty chodnikowe, krawężniki, obrzeża, rury). Są to plastyfikatory do produkcji prefabrykatów barwionych lub w kolorze betonu w technologii wibroprasowania
- plastyfikatory do betonów o konsystencji wilgotnej lub gęstoplastycznej zabudowywanych w technologii wibrowania. W prefabrykacji stosowany przy produkcji płyt stropowych kanałowych, bloczków betonowych, rur itp
- superplastyfikatory – grupa FM – najczęściej stosowana w prefabrykacji i najbardziej uniwersalna grupa domieszek możliwa do zastosowania w bardzo szerokiej gamie konsystencji (od plastycznej do ciekłej) i w produkcji bardzo szerokiego asortymentu betonów.
- superplastyfikatory najnowszej, tzw. czwartej generacji – domieszki na bazie polikarboksylateterów do produkcji betonów wysokowartościowych i betonów wysokiej wytrzymałości, charakteryzują się znakomitymi zdolnościami upłynniającymi. Szczególnie przydatne w przypadku betonów o bardzo dużej ilości materiału wiążącego i niewielkiej ilości wody. Dopuszczalne do betonów sprężonych. Umożliwiają wykonanie betonów prawie samozagęszczalnych (ASCC) i samozagęszczalnych (SCC)
- domieszki napowietrzające – grupa LP – środki wprowadzające do betonu małe, równomiernie rozmieszczone pory powietrzne przerywające ciągłość kapilar, poprawiające w ten sposób mrozoodporność i odporność na środki odładzające. W prefabryka-

cji stosowane do produkcji elementów budownictwa drogowego

- domieszki uszczelniające – hydrofobuje kapilary betonu – do zastosowania w prefabrykacjach o bardzo dużych wymaganiach szczelności; w elementach narażonych na oddziaływanie wody przesiąkającej i spływającej oraz w elementach wibroprasowanych narażonych na oddziaływanie soli rozmrzających o wysokich wymaganiach odnośnie nasiąkliwości, np. krawężniki, obrzeża itp.
- przyspieszacze – grupa BE – ze względu na możliwe zakłócenia przebiegu procesu hydratacji nie zalecane do prefabrykacji. Wytrzymałości wczesne należy raczej uzyskiwać poprzez odpowiednio niski stosunek w/c i odpowiednią ilość cementu o wysokim cieple hydratacji. Natomiast w przypadku produkcji poligonomowej zimą lub przy spadku temperatury na hali poniżej +10°C należy stosować domieszki do betonowania w niskich temperaturach, tzw. „przeciwmrozowe”
- domieszki specjalne: spęczniające – do produkcji zapraw ekspansywnych do naprawy lub iniekcji prefabrykatów. Stabilizatory – stosowane w przypadku bardzo niestabilnych kruszyw lub małej dokładności dozowania składników.

Mieszanki tradycyjne betonów przeznaczonych do prefabrykacji

Przy produkcji nowoczesnych prefabrykatów nieodzowne wydają się być:

- węzeł betoniarski – z betoniarką przeciwbieżną wyposażoną w wagowe dozowanie składników i dozatory do domieszek. Przy produkcji elementów z odpowiednich betonów o wysokich wymaganiach jakościowych konieczna wydaje się być automatyczna kontrola wilgotności kruszyw i redukcja ilości dozowanej wody. W przeciwnym wypadku węzeł jest narażony na stałe sprawdzanie zawartości wody w kruszywie i wprowadzanie korekt w recepturach roboczych
- odpowiedni system transportu betonu pozwalający na szybkie przemieszczanie do miejsca wbudowania i łatwy rozładunek do formy. Ważny jest tutaj czas pozwalający na wykorzystanie stosunkowo krótkiego czasu oddziaływania upłynniaczy bez konieczności dozowania opóźniaczy
- urządzenia do układania i zagęszczania betonu w formie – wibratory stacjonarne lub węgłone o odpowiedniej częstotliwości wibrowania i zasięgu oddziaływania właściwym dla produkowa-



Fot. 2: Pomiar konsystencji mieszanki betonowej ASCC na stanowisku formowania

nych elementów

- system formowania burt prefabrykatów zapewniający łatwość przestawień i właściwą tolerancję geometrii elementu formowanego.

Przy projektowaniu mieszanek betonowych przeznaczonych do prefabrykacji decydującym parametrem jest tzw. wytrzymałość wczesna potrzebna do rozformowania. Wytrzymałość tę powinien określić projektant konstrukcji, uwzględniając gabaryty elementu, system podnoszenia itp. Ponieważ z reguły produkcja elementów jest ustawiona w cyklu 24-godzinny (lub nawet krótszym) ze względu na maksymalne wykorzystanie form, wymaganą wytrzymałość rozformowania należy uzyskać po 16-18 h ze względu na możliwość wyczyszczenia formy, zazbrojenia elementu, zalania i zagęszczenia. Wiąże się to ze z reguły znacznym przekroczeniem wymaganej wytrzymałości docelowej na ściszenie, co w prefabrykacji jest zjawiskiem normalnym i często spotykanym. Projektowana konsystencja musi być dostosowana do systemu transportu masy betonowej i sposobu zagęszczania. Ze względu na łatwiejszą zabudowę mieszanek o rzadszych konsystencjach stanowią one obecnie większość betonu wbudowywanego w elementy prefabrykowane. Dodatkowe wymagania stawiane elementom, jak wodoszczelność, mrozoodporność czy odporność na działanie czynników agresywnych trzeba również uwzględnić na etapie projektowania. Masa betonowa jest podawana do formy z reguły pojemnikami za pośrednictwem suwnic, system zagęszczania zależy od rodzaju wykonywanych elementów. Najczęściej spotyka się stoły wibracyjne lub wibratory przyczepne (w przypadku ścian betonowanych w pozycji pionowej) rzadko wspomagane wibratorami pogrążalnymi. Bardzo ważnym punktem wykonania elementów jest ich właściwa

ciąg dalszy na stronie 33

Tab. 3. Wyniki badań mieszanki betonowej i betonu uzyskane na próbkach pobieranych w czasie układania nawierzchni w październiku

Data pobrania próbki	Klasa betonu	Rodzaj badania		
		Nasiąkliwość wagowa średnia [%]	Stopień wodoszczelności	Stopień mrozoodporności
09.10.2000	B35	3,9	W 8	F 150
11.10.2000	B40	3,9		
13.10.2000	B35	3,6		
20.10.2000	B35	3,9		
24.10.2000	B40	3,9		
25.10.2000	B40	3,9		
30.10.2000	B35	3,9	oznaczony dla partii betonu 09.10+30.10.00	oznaczony dla partii betonu 09.10+30.10.00

zimowym. Wyniki badań mieszanki betonowej i betonu uzyskane na próbkach pobieranych w czasie układania nawierzchni w październiku przedstawiają tabele numer 2 i 3.

Poza badaniami betonu przeprowadzonymi na próbkach pobranych w czasie układania nawierzchni, wykonano również badania na próbkach odwierconych po 28 dniach z nawierzchni już ułożonej. Badania wykonano w zakresie oceny makroskopowej betonu w przekrojach, wytrzymałości na ściskanie i nasiąkliwości. Sprawdzeniu podlegała grubość nawierzchni i zagęszczenie betonu. Wyniki

badan wytrzymałości na ściskanie i nasiąkliwości przedstawia tabela nr 4. W wyniku oceny makroskopowej stwierdzono równomierne zagęszczenie betonu w badanych przekrojach. Uzyskane parametry betonu wskazują na wysoką trwałość nawierzchni w okresie eksploatacji i świadczą o prawidłowo przeprowadzonym procesie technologicznym.

Wnioski

Wyniki badań betonu zarówno na próbkach pobranych w czasie wbudowania mieszanki betonowej, jak i na próbkach wyciętych z nawierzchni potwierdzają spełnienie założonych wymagań, a ponadto są podstawą do pozytywnej oceny zaproponowanej przez wykonawcę technologii ręcznego układania nawierzchni betonowych.

Okazało się, że możliwa jest budowa dróg o nawierzchni betonowej sposobem ręcznym także w przypadku większych obciążeń ruchem. Metoda ta znacznie obniża koszty realizacji budowy dróg, w których poważną pozycję zajmują koszty sprzętu drogowego.

Należy jednak podkreślić, że uzyskanie pozytywnych efektów przedstawionej technologii uwarunkowane jest spełnieniem podstawowych wymagań w zakresie dokumentacji konstrukcji drogi i jej reali-

zacji. Wymagania te dotyczą:

- prawidłowego zaprojektowania i wykonania podbudowy
- opracowania optymalnego składu mieszanki betonowej
- zapewnienia odpowiedniej jakości produkcji, wbudowania i zagęszczenia mieszanki betonowej wraz z nadaniem wymaganej faktury
- właściwej pielęgnacji betonu
- prawidłowego zaprojektowania, wycięcia i wypełnienia szczelin
- stałej kontroli jakości mieszanki betonowej podczas produkcji i wbudowania.

mgr inż. Małgorzata Faleńska

inż. Witold Gajger

IBDiM – Zakład Betonu

mgr inż. Zenon Więcek

Inwest-Bet Torzym

Tab. 4. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i nasiąkliwości

Nr próbki	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Nasiąkliwość [%]
1	42,9	3,7
2	43,8	3,8
3	44,3	3,7
4	44,3	3,9
5	45,7	3,8

ciąg dalszy ze strony 31
pielęgnacja. Niewłaściwa pielęgnacja, lub jej brak może powodować zbyt szybką utratę wody z betonu, a przy niskiej temperaturze zewnętrznej pojawienie się rys termicznych spowodowanych różnicą temperatur powietrza zewnętrznego i w elemencie.

Beton prawie samozagęszczalny ASCC – pośredni krok w drodze do eliminacji wibrowania

Omówiona powyżej tradycyjna technologia wytwarzania prefabrykatów żelbetowych okazuje się być mało przydatna w przypadku konieczności produkcji elementów z betonów BWW lub BBWW, gdzie niezbędne jest skuteczne upłynnienie betonów o bardzo niskich stosunkach wodno-cementowych i dużej zawartości materiału wiążącego. Równie duże problemy stwarza uzyskanie właściwego zagęszczenia mieszanki betonowej w konstrukcjach o bardzo dużym zagęszczeniu zbrojenia. Trudności te stały się motorem prób i działań w kierunku uzyskania mieszanki betonowej dobrej jakości, gwarantującej właściwe parametry, nie uzależnionej od jakości zagęszczenia. Pierwsze testy nad takimi mieszankami przeprowadzono ok. roku 1990 w Japonii.

Beton prawie samozagęszczalny (ASCC – Almost Self Compacting Concrete – ang.)

powinien wykazywać bardzo wysoką cieplotę (fot. 2), ale do odpowietrzenia się potrzebuje wzbudzenia i wibracji przez okres zdecydowanie krótszy niż w przypadku tradycyjnych betonów.

Ze względu na mniej skomplikowany proces projektowania oraz łatwiejszą aplikację technologia ASCC jest łatwiejsza do wdrożenia przez firmy rozpoczynające badania nad tego typu nowymi mieszankami. Nieodłącznym składnikiem są tutaj najnowszej generacji superplastyfikatory na bazie polikarboksylateteru (patrz pkt właściwy dobór składników mieszanki betonowej).

Mieszanka betonowa, którą można zakwalifikować jako prawie samozagęszczalną musi posiadać konsystencję ciekłą (opad stożka 16-22 cm) bez skłonności do segregacji lub wydzielania wody. Beton z przeznaczeniem na prefabrykaty musi zapewniać uzyskanie wymaganych parametrów wytrzymałości wczesnej i końcowej, i ewentualnie spełnienie innych wymagań.

Proces projektowania przebiega podobnie jak w przypadku betonów zwykłych. Zaprojektowana mieszanka betonowa może spełnić wszystkie wymagane parametry tylko w przypadku bardzo dokładnego dozowania każdego ze składników. Szczególnie ważna jest kontrola ilości wprowadzonej do mieszanki wody po-

przez bieżące sprawdzanie wilgotności kruszyw. Zakłócenia w planowanej ilości wody mogą zachwiać zaprojektowany stosunek w/c, a co za tym idzie odbić się negatywnie na wczesnej wytrzymałości i zakłócić cały rytm cyklu produkcyjnego. Dozowanie domieszki upłynniającej także musi przebiegać pod ścisłą kontrolą, gdyż przedozowanie może spowodować zmianę planowanej konsystencji, w następstwie segregację mieszanki i wydzielanie wody (bleeding). Jedną z możliwości łagodzenia występowania tych skutków może być stosowanie wypełniaczy mineralnych. Brak kontroli konsystencji mieszanki jest z reguły zauważalny na powierzchni rozformowanego elementu w postaci zacieków, smug, kawern i problemów z uzyskaniem wymaganej wytrzymałości na rozformowanie.

W związku z innym sposobem działania domieszki upłynniającej nowej generacji konieczne wydaje się być wydłużenie procesu mieszania.

Zastosowanie technologii ASCC skraca wymagany czas wibracji betonu, a zatem umożliwia skrócenie procesu produkcyjnego, wprowadzając tym samym oszczędności robocizny i pracy sprzętu.

Robert Czołgośz

ADDIMENT Polska Sp. z o.o., Biuro Poznań

Przemysław Grabarczyk

PEKABEX SA Poznań