

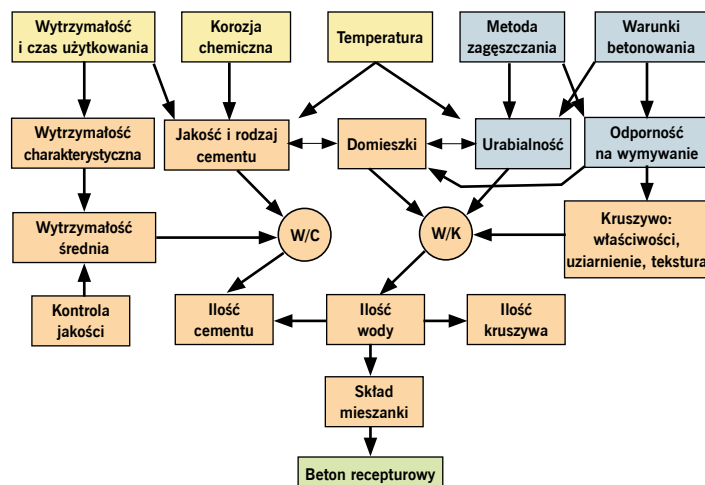
Domieszki do betonów układanych pod wodą

Współczesne betony układane pod wodą, zwane w literaturze technicznej betonami podwodnymi (ang. underwater concrete, UWC), z uwagi na specyfikę środowiska, w którym są stosowane, oraz technologię betonowania konstrukcji powinny posiadać cechy zbliżone do tych, jakie posiadają betony samozagęszczalne. Powinny również charakteryzować się dużą spójnością oraz odpornością na wyfukiwanie zaczynu cementowego podczas układania mieszanki betonowej pod wodą.

Betony podwodne nowej generacji to wieloskładnikowe betony cementowe o właściwościach samozagęszczalnych. Liczba składników mieszanki do betonowania podwodnego może sięgać nawet 10-12 składników. Dlatego najczęściej betony podwodne projektuje się metodą doświadczalną. Przy ustalaniu składu betonów podwodnych podstawę stanowią wymagania w zakresie właściwości reologicznych mieszanek UWC, które w znacznej części pokrywają się z zaleceniami stawianymi mieszankom samozagęszczalnym. Dodatkowe wymogi jakościowe i ilościowe stawiane składnikom betonów podwodnych uwarunkowane są czynnikami zewnętrznymi (prędkość, ciśnienie i temperatura wody) oraz technologią układania betonu (rys.1).

Domieszki stabilizujące

Podstawową domieszką stosowaną do betonów podwodnych jest domieszka stabilizująca. Domieszki stabilizujące (zwiększające więźliwość wody) nadają mieszance betonowej zwiększoną spoiłość. Zapobiegają one zarówno samoczynnemu wydzielaniu się wody z mieszanki betonowej, jak i wymywaniu cementu podczas betonowania pod wodą. Podstawowymi obszarami stosowania tego rodzaju domieszek były dotąd betony podwodne. Powstanie domieszek stabilizujących datuje się na początek lat 80. XX wieku i z uwagi na ich początkowe zastosowanie wyłączenie do betonów podwodnych, nazywane były domieszkami antyrozpyłowymi (ang. antiwashout admixtures – AWA). Korzystne właściwości modyfikowanych domieszkami stabilizującymi mieszanek oraz betonu stwardniałego powodują, że zakres ich zastosowań jest obecnie znacznie większy i obejmuje różnego rodzaju betony specjalne, takie jak samozagęszczalne, natryskowe, o zwiększonej pompowalności i inne. Najczęściej stosowanymi domieszkami stabilizującymi są rozpuszczalne w wodzie polimery, zwłaszcza polisacharydy – pochodne celulozy lub skrobi. Jako domieszki stabilizujące stosuje się również inne polimery, na przykład polialkohol winylowy i kopolimery styrenowo-karboksylowe, a także materiały nieorganiczne o dużej po-



Rys. 1. Zależności uwzględniane przy projektowaniu mieszanek UWC

wierzchni właściwej, takie jak bentonity lub pył krzemionkowy. Domieszka Unterwassercompound (ST) firmy BASF to domieszka do produkcji betonu układanego pod wodą i przeznaczona do produkcji mieszanki betonowej odpornej na erozję wodną. Domieszka umożliwia betonowanie podwodne bez narażania mieszanki na wyfukiwanie składników czy tworzenie się rozwarstwień.

Unterwassercompound (ST) to syntetyczne polimery znacznie zwiększające spójność mieszanki betonowej, co zapobiega wyfukiwaniu zaczynu cementowego pod wodą.

Domieszkę stabilizującą Unterwassercompound (ST) dodaje się do suchych składników mieszanki, najczęściej w ilości od 0,7 do 1,5% masy cementu. Minimalna ilość stosowanej domieszki stabilizującej to 0,3% masy cementu. Ilość domieszki stabilizującej do betonu należy dobrać w taki sposób, aby ograniczyć do minimum straty wyfukania mieszanki w trakcie betonowania przy zachowaniu właściwości reologicznych mieszanki umożliwiających układanie betonu (np. za pomocą pomp). Według wytycznych amerykańskich straty wyfukania mieszanki UWC (oznaczone wg CRD-C61-89A) nie powinny przekraczać 12% masy całkowitej – dla betonów zwykłych i 8% – dla betonów wysokowartościowych.

Na rys. 2 przedstawiono tuby po badaniach wyfukalności zaczynu z mieszanek betonowych z UWC i bez domieszki stabilizującej.

Inną metodą kontroli spójności składników mieszanki UWC jest tzw. bleeding test (wg ASTM C232-07). Dla zwykłych mieszanek UWC, ilość odsączonej wody (wynik uzyskany metodą A wg ASTM C232) powinna być mniejsza od 2%, a w przypadku mieszanek wysokowartościowych poniżej 0,5%. Wytyczne europejskie dopuszczają straty wyfukania mieszanki w wysokości

Rys. 2. Tuby po badaniach wyfukalności zaczynu z mieszanek betonowych: 1) z domieszką UWC; 2) bez domieszki stabilizującej



15% (oznaczenie strat wyfukania wg załącznika A normy BS 8443:2005).

Na rys. 3 przedstawiono wygląd dwóch próbek mieszanki betonowej z 0,7-% zawartością domieszki podwodnej i bez domieszki podwodnej, po badaniu strat wyfukania metodą amerykańską wg instrukcji CRD-C61-89A.

Podstawowe wymogi w zakresie projektowania mieszanek układanych pod wodą obowiązujące w USA, Japonii i wybranych krajach UE przedstawiono w tabeli 1.

Wraz ze wzrostem domieszki stabilizującej w mieszanke pogarszają się jej właściwości samozagęszczalne: zmniejsza się rozplyw i spada dynamika przepływu. W celu utrzymania wymaganych właściwości reologicznych mieszanek UWC należy stosować domieszki redukujące ilość wody w mieszanke. Zastosowanie domieszki stabilizującej do betonów podwodnych powoduje wzrost 28-dniowej wytrzymałości na ściskanie w stosunku do betonu niemodyfikowanego. Obserwuje się również wzrost wytrzymałości na rozciąganie i modułu sprężystości oraz nasiąkliwości wagowej, jednak zmiany te nie są tak znaczne, jak w przypadku wytrzymałości na ściskanie. W przypadku wczesnych wytrzymałości betonu obserwuje się nieznaczny spadek wytrzymałości

Domieszki upłynniające

W celu uzyskania betonu podwodnego zwykłego, odpornego na segregację i wyfukanie składników w trakcie układania mieszanki i po wbudowaniu, wystarczy zastosowanie domieszek uplastyczniających, tzw. plastyfikatorów. Jednak aby beton posiadał właściwości samozagęszczalne, konieczne jest zastosowanie domieszek upłynniających (silnie redukujących ilość wody w mieszanke), tzw. superplastyfikatorów. Domieszki upłynniające są niezbędnym składnikiem betonów podwodnych wysokich wytrzymałości, bowiem przy niskim wskaźniku woda-spoivo ($w/s=0,35-0,40$) uzyskanie wymaganej płynności mieszanki przy konieczności stosowania domieszki stabilizującej jest niezwykle trudne. Ze względu na efektywność działania oraz na wymagany długi okres utrzymania płynności mieszanki w czasie (czas utrzymania konsystencji z uwagi na dużą odległość miejsca wbudowania betonu od wytwórni może dochodzić nawet do 10 godzin) stosowane są głównie superplastyfikatory trzeciej generacji na bazie: polikarboksyalanów, sieciowanych żywic akrylowych i kopolimerów



Rys. 3. Zdjęcia próbek mieszanki betonowej po badaniu strat wyfukania metodą CRD-C61-89A: z lewej próbka mieszanki z domieszką podwodną, z prawej próbka mieszanki bez domieszki podwodnej

w kwasu akrylowego. W przypadku betonów podwodnych niezwykle istotna jest zależność pomiędzy upłynnieniem mieszanki superplastyfikatorem od temperatury mieszanki, oraz zmiany czasów wiązania. Z uwagi na stosowanie domieszek stabilizujących należy bezwzględnie zweryfikować doświadczalnie kompatybilność z zastosowanym superplastyfikatorem. Ocenę współdziałania obu domieszek należy przeprowadzać na zaprawach normowych lub mieszankach (wg PN-EN 480-1 i PN-EN 934-2), bowiem badania na zaczynach nie dają miarodajnych wyników.

Domieszki napowietrzające i opóźniające czas wiązania

Stosowanie domieszek napowietrzających jest dopuszczone wówczas, gdy beton ma być mrozoodporny. Dobór ilościowy domieszki napowietrzającej oraz superplastyfikatora i domieszki AWA jest zadaniem dość trudnym, z uwagi na współdziałanie wszystkich domieszek oraz negatywny wpływ domieszki napowietrzającej na urabialność mieszanki i wytrzymałość stwardniałego betonu. Domieszki opóźniające czas wiązania stosowane są do betonów podwodnych najczęściej, gdy betonowany obiekt jest konstrukcją maszyną. W przypadku konstrukcji średniomasywnych wykonywanych w normalnych warunkach, przy niewielkiej prędkości wody, czas wiązania waha się w granicach od 2 do 7 godzin. Zastosowanie domieszki opóźniającej czas wiązania wymaga bezwzględnie sprawdzenia doświadczalnego z uwagi na współistniejące domieszki.

dr hab. inż. Elżbieta Horszczaruk

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

inż. Konrad Grzesiak

BASF Polska Sp. z o.o.

Tablica 1. Podstawowe wytyczne projektowania betonów podwodnych w różnych krajach

KRAJ	USA ¹⁾		Japonia ²⁾	Austria ³⁾	Niemcy ⁴⁾	Anglia ⁵⁾
	BZ	BWW				
Składniki i właściwości						
Spoivo [kg] (C+PL+PK)	390-450	420-500		≥ 350	≥ 350	
W/S (woda/spoivo)	0,4-0,5	0,35-0,40	0,50-0,55 (BZ) 0,38-0,42 (BWW)	≤ 0,6	≤ 0,6	
W/P (woda/piasek)	0,12-0,14	0,14-0,17				
Objętościowy udział kruszywa w mieszanke	0,37-0,50	0,37-0,50				
Piasek/kruszywo [%]	45-50	45-50				
d _{max} [mm]	≤ 37,5 10-19 betony konstrukcyjne 19-25 betony maszynowe		≤ 32	≤ 32	≤ 32	
Opad stożka [mm]	> 180	> 255				≥ 170 ^{a)}
Opad stożka po czasie t [mm]	po czasie t=60 min > 125	po czasie t=90 min > 125				
Rozplyw [mm]	> 255	> 405	500-600	> 500	≥ 400	
	Konstrukcje silnie zbrojone		550-650	550-600	450-550	
Straty wyfukania [%]	< 12	< 8				< 15
Popioły lotne (PL) [%]	≤ 20	≤ 20	≤ 20			
Pyły krzem. (PK) [%]		≤ 6				
Wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dniach			≥ 80% wytrzymałości betonu kontrolnego			≥ 75% wytrzymałości betonu kontrolnego

¹⁾ TR INPSI-1. Sept. 1999, US Army Corps of Engineers; ²⁾ JSCE, Recommendations for design and construction of anti-washout underwater concrete, Vol. 19, 1992, ³⁾ DIN 1045-2; ⁴⁾ ÖNORM B 4200-10; ⁵⁾ BS 8443; ^{a)} zawartość cementu w betonie kontrolnym (450 ± 20) kg/m³