

Jeszcze niedawno beton wysokowartościowy (BWW) był uważany za tworzywo „ekstrawaganckie”, wymagające szczególnej uwagi oraz zaangażowania w fazie doboru surowców oraz projektowania. W dniu dzisiejszym problemy związane z BWW stają się coraz bardziej, odchodząc w zapomnienie. Sytuacja ta spowodowana jest pojawianiem się na rynku materiałów budowlanych coraz nowocześniejszych cementów, domieszek oraz kruszyw o wysokiej jakości. Ponadto motorem do uzyskiwania betonów o wysokich wytrzymałościach jest także norma europejska EN 206, która przewiduje poziom 100 MPa (klasa C100/115).

Beton wysokowartościowy określanym jest jeszcze często mianem betonu specjalnego, gdyż klasyfikowany ze względu na wytrzymałość na ściskanie wykracza poza ramy Polskiej Normy PN-88/B-06250 „Beton zwykły”, która górną granicę klasy betonu określa na poziomie B50. Umownie przyjęto, że klasa betonu wysokowartościowego powinna zawierać się w przedziale od B60 do B100. Wytrzymałość na ściskanie jest podstawowym, ale nie jedynym parametrem odróżniającym beton wysokowartościowy od betonów zwykłych. Można tu wymienić takie cechy mechaniczne jak wysoki moduł sprężystości czy niski skurcz. Należy także wspomnieć, że beton wysokowartościowy jest materiałem o wysokiej trwałości wynikającej z wielu korzystnych właściwości kształtowanych przez niskie wartości współczynnika wodno-cementowego.

Beton wysokowartościowy stanowi pewnego rodzaju modyfikację betonu tradycyjnego polegającą na zastosowaniu – oprócz podstawowych składników takich jak cement, piasek, frakcjonowany grys i woda – specjalnych dodatków i domieszek, które w odpowiedni sposób modyfikują mikrostrukturę oraz skład stwardniałego zaczynu cementowego.

Podstawowy wpływ na właściwości betonów wysokowartościowych mają następujące założenia:

- wysoka wytrzymałość mechaniczna stwardniałego zaczynu cementowego oraz zastosowanego kruszywa
- wysoka przyczepność zaczynu cementowego do kruszywa

Beton wysokowartościowy – kilka praktycznych uwag



Schody w budynku Radia Kraków wykonane z betonu klasy B100

- możliwie niska porowatość zaczynu cementowego (rozkład wielkości porów). Aby spełnić powyższe założenia, niezbędne jest więc:
- stosowanie cementów o wysokich parametrach wytrzymałościowych
- stosowanie kruszyw łamanych o wysokiej wytrzymałości oraz możliwie szorstkiej powierzchni zapewniającej dobrą przyczepność zaczynu
- wykorzystanie szczelnego stosu okrucowego (możliwie niski wskaźnik jamistości)
- stosowanie wysokoefektywnych domie-

szek plastyfikujących (wysoki wskaźnik redukcji wody zarobowej, wysoka dyspersja zaglomerowanego cementu)

- ewentualne wykorzystanie dodatków mineralnych jako mikrowypełniacza i/lub modyfikujących mikrostrukturę stwardniałego zaczynu cementowego.

„Przygoda” z betonem rozpoczyna się zwykle w fazie doboru składników oraz projektowania. Jak już wspomniano, zgromadzenie odpowiednich surowców nie powinno sprawić trudności. Jednak projektowanie betonów wyższych wytrzymałości wymaga nieco innego podej-

ścia niż na przykład powszechnie stosowana metoda trzech równań. Niestety, w przypadku równania wytrzymałości (równania Bolomeya) wartości w/c wykraczają poza obszar stosowania tegoż równania. Z kolei równanie konsystencji traci swą wagę przy stosowaniu wysokoefektywnych domieszek redukujących wodę. Wielu naukowców podejmuje próby opracowania zależności właściwych betonom wysokowartościowym, jednakże dotychczas nie uzyskano jednoznacznego rozwiązania (na skalę np. równania Bolomeya). W związku z powyższym projektowanie betonów wysokowartościowych powinno opierać się na metodzie „kolejnych przybliżeń” popartej doświadczeniem.

O ile uzyskanie korzystnych właściwości betonu stwardniałego, takich jak wytrzymałość w przedziale 60 do 100 MPa, nasiąkliwość poniżej 4% czy wodochłowność na poziomie znacznie powyżej W12, nie nastroją większych kłopotów, o tyle możemy napotkać problemy ze świeżą mieszanką betonową. Dotyczą one głównie urabialności oraz szybkiej utraty konsystencji w czasie. Urabialność mieszanki betonowej zależy przede wszystkim od krzywej uziarnienia oraz zawartości spoiwa łącznie z najdrobniejszymi frakcjami kruszywa. Niestety zawartość spoiwa na poziomie 400 kg/m³ i więcej oraz ciągłość granulometryczna stosu okruszowego niezbędne do uzyskania wysokich wytrzymałości stoją w sprzeczności z dobrą urabialnością. Często „świeże” betony wysokowartościowe zachowują się podobnie jak betony samozagęszczalne (wykazujące silną tiksotropię), stąd też mogą wystąpić trudności w pompowaniu. W związku z tym podczas pompowania tego rodzaju betonów należy zapewnić możliwie ciągłą pracę pompy (występowanie ciągłego naprężenia ścinającego). Szybką utratę konsystencji w czasie można wytłumaczyć niskim współczynnikiem w/c, a więc ograniczoną ilością wody w mieszance betonowej. Fakt ten wiąże się z zaburzeniem ilości jonów siarczanowych w roztworze, co z kolei wpływa na reakcję glinianu trójwapniowego. O ile poprawa urabialności jest zadaniem dość trudnym, to utrzymanie konsystencji w czasie zależy od rodzaju cementu i domieszki oraz ich kompatybilności. Tabela nr 1 przedstawia przykładowe receptury oraz wyniki badań betonów wysokowartościowych.

Z przedstawionych badań wynika, że podstawowymi czynnikami kształtującymi beton wysokowartościowy zarówno w fazie świeżej mieszanki, jak i stanie stwardniałym są:

- rodzaj zastosowanego cementu – za-

Tabela 1. Przykładowe receptury oraz wyniki badań betonów wysokowartościowych

Oznaczenie	Beton 1	Beton 2	Beton 3	Beton 4	Beton 5
Składniki [kg/m ³]					
CEM I 42,5 MSR NA	390	420			
CEM I 52,5 R			430	480	
CEM III/A 32,5 NA					490
Piasek 0/2 A ¹⁾	670				
Piasek 0/2 B ²⁾		650	540	600	480
Grys 2/5				290	
Grys 5/8				220	
Grys 2/8	580	580	581		350
Grys 8/16	760	740	900	790	980
Woda	140	130	135	140	132
Superplastyfikator ³⁾ , % masy cementu	1,0	1,5	3,0	3,0	2,5
Opóźniacz, % masy cementu			0,5	0,5	
Pył krzemionkowy				40	
w/c ⁴⁾	0,36	0,31	0,31	0,28	0,27
Wyniki badań					
Opad stożka 0' [mm]	105	190	110	80	170
Opad stożka 60' [mm]	45	185	0	55	165
Zawartość powietrza [% obj.]	3,7	1,5	2,1	2,0	1,2
Nasiąkliwość [% wag.]	4,4	4,0	3,7	2,8	3,4
Wytrzymałość na ściskanie 3 dni [MPa]	39,1	56,7	76,8	80,2	42,9
Wytrzymałość na ściskanie 28 dni [MPa]	65,2	82,8	90,9	102,3	90,1
Współczynnik zmienności v _{R28} [%]	3,2	3,3	3,9	3,8	3,2

1) Piaski "drobne" do betonów o przeciętnej wytrzymałości.

2) Piaski "grube" do betonów wyższych wytrzymałości.

3) Superplastyfikator na bazie polikarboxylowej.

4) w/c nie uwzględnia wody zawartej w domieszkach.

stosowanie cementów portlandzkich o niskiej zawartości C₃A lub cementów hutniczych pozwala na utrzymanie konsystencji w czasie, nie wpływając niekorzystnie na cechy wytrzymałościowe

- w celu utrzymania konsystencji w czasie przy zastosowaniu cementu o przeciętnej zawartości C₃A niezbędna jest dodatkowo domieszka opóźniająca
- zastosowanie „grubych” piasków znacznie poprawia urabialność mieszanki betonowych oraz ogranicza zawartość powietrza, powodując zwiększenie wytrzymałości na ściskanie
- dodatkowy podział frakcji 2/8 (2/5 i 5/8) pozwala na uzyskanie szerszego stosu okruszowego, a co za tym idzie wyższej wytrzymałości
- aby uzyskać wytrzymałości na poziomie 70 do 90 MPa, nie ma konieczności stosowania mikrowypełniaczy (np. pyłu krzemionkowego).

W świetle aktualnej wiedzy popartej licznymi wynikami badań zastosowanie betonów wysokowartościowych jest uzasadnione (lub nawet wskazane) przede wszystkim w aspekcie ekonomicznym. Po pierwsze, pozwalają na „odchudzenie” konstrukcji, powodując oszczędności materiałowe bez zmiany parametrów

technicznych, po drugie, ze względu na wysoką trwałość, pozwalają na zwiększenie żywotności konstrukcji.

Na świecie obserwuje się trendy coraz szerszego zastosowania betonów wysokowartościowych. Świadczy o tym coraz więcej realizacji oraz rosnące zainteresowanie tematem, który jest przedmiotem licznych badań oraz światowych kongresów i konferencji.

Bartosz Kopia

Literatura:

A.M. Neville „Właściwości betonu”, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2000.

J. Śliwiński „Beton zwykły – projektowanie i podstawowe właściwości”, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 1999.

W. Kurdowski „Chemia cementu”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.

Materiały konferencyjne, XIII FIP Challenges for Concrete in the Next Millennium, Tom 1, Wydawnictwo A.A. Balkema, Rotterdam 1998.

Materiały konferencyjne, Kurdowski Symposium – Science of Cement and Concrete, Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków 2001.