

Współczesne betony stosowane w mostownictwie

Produkcja betonu mostowego, traktowanego jako beton towarowy, W Polsce systematycznie wzrasta. Jest to spowodowane licznymi inwestycjami związanymi z budową i modernizacją infrastruktury drogowej i kolejowej W ramach środków pomocowych UE.

Tendencje rozwojowe powodują, że beton wykorzystywany jest do budowy ok. 85% konstrukcji obiektów mostowych. Dlatego też konieczne jest stosowanie nowoczesnych, modyfikowanych domieszkami chemicznymi betonów, w tym samozagęszczalnych (SCC), wysoko- i ultrawysokowartościowych (BWW, UBWW).

Wymagania stawiane betonom mostowym

Beton stosowany w mostownictwie powinien charakteryzować się nie tylko wysoką wytrzymałością, ale także mieć pełną odporność na równoczesne oddziaływanie znakozmiennych temperatur i środków odladzających.

Szczegółowe wymagania materiałowo-technologiczne stawiane betonom służącym do budowy drogowych obiektów inżynierskich zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej nr 735 z dnia 30 maja 2000 r. [1]. Niestety, wymagania w nim zawarte nie są zgodne z zapisami umieszczonymi w aktualnej normie PN-EN 206:2014-04 [2]. Szczególnie, w ocenie środowiska inżynierskiego, do aktualnego stanu wiedzy z zakresu technologii betonu nie odpowiada zapis o korelacji między klasą cementu a klasą wytrzymałości betonu (pkt. 164.1 [1]), jak również zapis o obligatoryjnym stosowaniu do produkcji betonów mostowych, w tym do wykonywania elementów masywnych, tylko cementów czystoklinkierowych CEM I o zawartości alkaliów $< 0,6\%$.

W obecnym czasie zapisy te straciły na swojej aktualności, ze względu na powszechne stosowanie do produkcji betonów domieszek reologicznych (plastyfikatorów i upłynniaczy), które pozwalają na znaczną redukcję wody zarobowej, bez utraty konsystencji mieszanki.



Fot. 1. Betonowanie w warunkach zimowych

Dyskusyjnym zapisem zawartym w Rozporządzeniu [1] jest wymóg stosowania do produkcji tylko kruszyw granitowych i bazaltowych. Praktycznie nie jest możliwe wykorzystanie materiału kamiennego innego pochodzenia, mimo jego wysokiej wytrzymałości i pełnej mrozoodporności. Skutkuje to znaczącym wzrostem ceny jednostkowej m^3 betonu mostowego ze względu na ograniczoną dostępność tych kruszyw

(występują na Dolnym Śląsku) i wysokie ceny transportu (w sprzedaży dostępne są również grysy granitowe importowane ze Szkocji i Skandynawii).

Z wyżej wymienionych powodów największy krajowy inwestor w sektorze budownictwa infrastrukturalnego - Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad w połowie 2014 r. opublikowała w swoim serwisie internetowym Ogólne Specyfikacje Techniczne Beton konstrukcyjny w drogowym obiekcie inżynierskim" [3]. Przedmiotowy dokument [3] opracowany został przez zespół specjalistów i zawiera szczegółowe wymagania dotyczące zasad prowadzenia i odbioru robót związanych z wykorzystaniem betonu konstrukcyjnego oraz ułożenia go w monolitycznych elementach drogowych obiektów inżynierskich.

Składniki mieszanki betonowej wg wymagań nowych OST GDDKiA

Nowe Ogólne Specyfikacje Techniczne GDDKiA [3] są dokumentem, w którym największy nacisk kładzie się na zapewnienie właściwej jakości betonu (wytrzymałość, trwałość w warunkach znakovmiennych temperatur i środków odladzających), ale także daje technologowi znaczącą swobodę w doborze składników mieszanki betonowej (cement, kruszywa, domieszki chemiczne, dodatki mineralne). Zgodnie z wymogami zawartymi w przywołanych OST [3], beton w konstrukcji mostowej powinien charakteryzować się wytrzymałością, określoną klasą na ściskanie wg PN-EN 206 [2], zgodną z wymaganiami ustalonymi dla klas ekspozycji wg [2] i PN-B-06265 [4] oraz odpowiadać w tym zakresie wymaganiom projektu.

Ponadto beton w elementach konstrukcyjnych narażonych na destrukcyjne zamrażanie rozmrażanie i/lub oddziaływanie środków odladzających powinien wykazywać stopień mrozoodporności wg PN-88/B-06250 [5]:

- F100 dla klasy ekspozycji XF1
- F150 dla klasy XF2 i XF3
- F200 dla klasy XF4.

Istotną zmianą, w odniesieniu od wymagań zawartych w Rozporządzeniu [1], w nowych OST GDDKiA [3] jest zapis dotyczący terminu badania mrozoodporności betonu, w zależności od rodzaju zastosowanego cementu - tablica 1.

Tablica 1. Terminy badania mrozoodporności betonu wg OST GDDKiA [3]

Rodzaj cementu	Czas równoważny [dni]
CEM I (R), CEM II A/S (R)	28
CEM I (N), CEM II A/S (N), CEM II B/S (N, R)	56
CEM III/A	90

Powyższy zapis spowodowany jest dopuszczeniem do produkcji betonów mostowych, za wyjątkiem elementów sprężonych, cementów innych niż czystoklinkierowe CEM I. Według wytycznych [3] można stosować cementy CEM I o zawartości alkaliów mniejszej niż 0,8%, cementy portlandzkie żuźlowe CEM II A/S (zawartość alkaliów poniżej 0,8%) i CEM II B/S (zawartość alkaliów mniejsza niż 0,9%). Do elementów masywnych za wyjątkiem klasy ekspozycji XF4 dopuszczalne jest wykorzystanie cementu hutniczego CEM III/A.

Beton w elementach konstrukcji narażonych na oddziaływanie agresywnego środowiska chemicznego powinien wykazywać odporność na penetrację wody pod ciśnieniem wg PN-EN 12390-8 [6], mierzoną maksymalnym wniknięciem wody w próbki:

- 60 mm dla klasy XA1
- 50 mm dla klasy XA2
- 40 mm dla klas XA3, XD3, XS3.

Nowe OST GDDKiA [3] odstąpiły od wymagania zawartego w Rozporządzeniu [1] dotyczącego nasiąkliwości wagowej betonu nie większej niż 4%. Jak wykazały zrealizowane badania i co zostało wielokrotnie zweryfikowane praktycznie, rezygnacja z obowiązkowego badania nasiąkliwości betonu jest słuszna i uzasadniona, albowiem nie jest ona wyznacznikiem jego trwałości.

Nowe OST rozszerzają także spektrum kruszyw dopuszczalnych do produkcji betonów mostowych. Rozporządzenie [1] praktycznie zawężyło rodzaj stosowanego kruszywa do grysów granitowych i bazaltowych. Natomiast nowo opracowane OST [3] wymagają stosowania kruszyw naturalnych, zgodnych z PN-EN 12620 [7]. Przedmiotowy dokument kładzie nacisk na stosowanie kruszywa o pełnej mrozoodporności, wysokiej wytrzymałości, które powinno charakteryzować się stopniem reaktywności alkaliczno-krzemionkowej „0” wg PN-B-06714-46. Nowe specyfikacje poszerzają możliwości zastosowania do produkcji kruszyw lokalnych, aczkolwiek z naciskiem na zapewnienie wysokiej jakości betonu - szczegółowe wymagania odnośnie ich jakości zestawiono w pkt. 3.2 [3], w tym także zalecane krzywe graniczne uziarnienia i maksymalne poziomy zawartości frakcji do 2 mm w stosie okrucowym.

Domieszki do betonu

Produkcja nowoczesnych betonów mostowych wymaga stosowania do ich modyfikacji wysokosprawnych domieszek chemicznych:

- domieszki reologiczne (plastyfikatory i upłynniacze) - mają za zadanie zapewnić właściwą urabialność i konsystencję mieszanki betonowej, której wskaźnik w/c często jest niższy niż 0,40. Dodatkowo umożliwiają one pompowanie betonu i jego zagęszczanie przy użyciu wibracji, a w szczególnych przypadkach (betony SCC) gwarantują samozagęszczalność mieszanki pod ciężarem własnym. Stosowanie domieszek reologicznych wpływa na polepszenie właściwości stwardniałego betonu, poprzez jego lepsze zagęszczenie, co w konsekwencji przekłada się na zwiększoną wytrzymałość, poprawę szczelności i mrozoodporności
- domieszki napowietrzające - stosowane obligatoryjnie w elementach narażonych na oddziaływanie znakozmiennych temperatur i środków odładzających, w klasach ekspozycji XF2, XF3 i XF4. Domieszki napowietrzające pozwalają na wytworzenie w mieszance betonowej mikroporów w ilości 4,0-6,0% objętości. Nowe OST GDDKiA [3] w sposób szczegółowy regulują wymagane poziomy napowietrzenia betonu - tablica 2.

Tablica 2. Wymagana zawartość powietrza w mieszance betonowej wg OST GDDKiA [3]

Wymiar kruszywa D [mm]	Etap wykonywania badań		Tolerancja pomiarowa [%]
	Projektowanie składu mieszanki betonowej [%]	Zatwierdzanie recepty, próba technologiczna, kontrola jakości robót [%]	
16,0	4,5-6,0	4,5-6,5	-0,5 +1,0
22,4	4,0-5,5	4,0-6,0	
31,5	4,0-5,5	4,0-6,0	

Co ważne, nowa Specyfikacja [3] zaostroża tolerancje zawartości powietrza w mieszance betonowej w stosunku do wymagań zawartych w normie PN-EN 206:2014-04. Jest to o tyle istotne, że zbyt mała zawartość wytworzonych mikroporów nie zapewni odpowiedniej ochrony strukturalnej zamrażanego betonu, a zbyt duża ilość wprowadzonego powietrza wywoła nadmierne spadki jego wytrzymałości.

- domieszki opóźniające wiązanie - powodują wydłużenie czasu urabialności mieszanki betonowej, co jest niezwykle istotne w okresie podwyższonych temperatur, przy dalekim transporcie, jak również w przypadku betonowania elementów masywnych (zapewnienie połączenia warstw układanego betonu, właściwe zagęszczenie mieszanki, możliwość kontroli wydzielania się ciepła w elemencie).

Dodatki mineralne

Najbardziej pożądanym dodatkiem mineralnym do produkcji betonu mostowego jest pył krzemionkowy (mikrokrzemionka), stosowany w ilości do 10% masy cementu. Zastosowanie tego dodatku zmienia właściwości reologiczne mieszanki - powoduje zwiększenie jej spoistości i zmniejszenie plastyczności. Z tych też względów równolegle ze stosowaniem tego dodatku, konieczne jest wykorzystanie wysokoefektywnych domieszek upłynniających o wydłużonym czasie działania. Dodatek pyłu krzemionkowego ogranicza segregację składników mieszanki i redukuje do minimum możliwość bleedingu

(oddawanie wody). Także, istotnej poprawie ulega stabilność struktury napowietrzenia, którą znacznie trudniej jest uszkodzić w niezbędnych procesach technologicznych, takich jak pompowanie a zwłaszcza zagęszczanie mieszanki.

Pył krzemionkowy bardzo korzystnie wpływa na właściwości wytrzymałościowe betonu. Wzrostowi wytrzymałości towarzyszy proporcjonalny przyrost wartości modułu Younga. Zastosowanie pyłu krzemionkowego ma szczególny wpływ na kształtowanie trwałości betonu, który po aplikacji tego dodatku cechuje się dużą szczelnością i zwiększoną odpornością na agresję chemiczną. Niewątpliwą wadą stosowania dodatku pyłu krzemionkowego jest jego cena, ponad 12-krotnie wyższa niż cementu. Z tego powodu jego stosowanie, we współczesnych realiach, jest ekonomicznie uzasadnione przy produkcji betonów wysokiej- i bardzo wysokiej wytrzymałości (powyżej 80 N/mm²).

Zgodnie z zapisami PN-EN 206:2014-04 ilość zastosowanego pyłu krzemionkowego można wyliczyć do wyznaczenia wartości w/c, zakładając wielkość współczynnika aktywności pucolanowej „k” równej 1 lub 2 (w zależności od klasy ekspozycji środowiska i w/c).



Fot. 2. Taiwan High Speed Railway – przykład wykorzystania betonu SCC wysokiej wytrzymałości

Wytwarzanie i transport mieszanki betonowej

Produkcja betonów mostowych powinna odbywać się w profesjonalnych wytwórniach, na podstawie zatwierdzonej receptury, z uwzględnieniem wilgotności kruszywa. Urządzenia produkcyjne muszą spełniać wymagania określone w punkcie 3 [3], co do dokładności dozowania składników oraz czasu mieszania.

Wykorzystywane środki transportu mieszanki betonowej powinny zapewniać:

- zachowanie jednorodności betonu (nie dopuszczenie do segregacji składników)
- niezmiennosc początkowego składu mieszanki (zanieczyszczenie betonu obcym materiałem, opady atmosferyczne, wycieki zaprawy)
- zabezpieczenie przed zmianami temperatury mieszanki przekraczającymi ustalone wymagania technicznymi granice od +5°C do +35°C.

Zgodnie z wymaganiami nowych OST [3] czas transportu mieszanki betonowej, od momentu załadunku betonowozu do jego rozładowania, w temperaturze +20°C, jeżeli nie stosowano domieszki opóźniającej, nie powinien przekraczać 90 minut.

W celu zachowania wysokich walorów estetycznych, a także odpowiedniej trwałości należy przyjmować, że beton mostowy powinien mieć cechy betonu architektonicznego, tj. bez konieczności szpachlowania i malowania powierzchnia elementu powinna być pozbawiona rys, spękań, raków i kawern, których występowanie zazwyczaj spowodowane jest błędami popełnionymi w czasie wbudowania mieszanki

betonowej.

Zgodnie z pkt. 3.4 nowych OST [3] betonowanie konstrukcji mostowych możliwe jest w temperaturze nie niższej niż +5°C, zachowując warunki umożliwiające uzyskanie przez beton wytrzymałości co najmniej 15 N/mm² przed pierwszym zamarznięciem.

W wyjątkowych sytuacjach, za zgodą inżyniera, możliwe jest betonowanie w temperaturze do -5°C. Jednak w takim przypadku konieczne jest prowadzenie skutecznej pielęgnacji, której celem jest zabezpieczenie wykonanego elementu przed utratą ciepła w czasie co najmniej 7 dni, do uzyskania przez beton wytrzymałości 15 N/mm². W tym czasie temperatura betonu nie może być niższa niż +5°C.

Ponadto, zgodnie z nowymi OST GDDKiA [3] niedopuszczalne jest betonowanie w czasie deszczu bez stosowania odpowiednich zabezpieczeń.

Pielęgnacja betonu

Prawidłowa pielęgnacja jest warunkiem koniecznym do uzyskania odpowiedniej wytrzymałości, a zwłaszcza trwałości betonu w obiekcie mostowym. Dlatego należy ją rozpoczynać niezwłocznie po zakończeniu prac związanych z wykańczaniem powierzchni, zachowując minimalne okresy podane w PN-EN 13670 [8] - tablica 3. Zgodnie z pkt. 3.5 nowych OST GDDKiA dla betonów mostowych zaleca się prowadzenie co najmniej klasy pielęgnacji 3 wg [8]. Czas pielęgnacji betonu musi być uzależniony od warunków atmosferycznych, szybkości przyrostu wytrzymałości betonu oraz rodzaju zastosowanego cementu. W trakcie procesu pielęgnacji należy:

- chronić powierzchnię elementów przed szkodliwym działaniem wiatru, promieni słonecznych, a w okresie zimowym mrozu
 - utrzymywać powierzchnie betonu w stanie wilgotnym przez co najmniej:
 - 7 dni dla cementów portlandzkich
 - 14 dni przy stosowaniu cementów z dodatkami mineralnymi i hutniczymi.

Tablica 3. Klasy pielęgnacji betonu wg PN-EN 13670

	Klasy pielęgnacji			
	1	2	3	4
Czas [godziny]	12	NA	NA	NA
Procent wymaganej wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie po 28 dniach	NA	35	50	70

NA – nie stosuje się

Elementy masywne w konstrukcji mostowej muszą być pielęgnowane wg specjalnych instrukcji.

Dopuszczalne jest również stosowanie do pielęgnacji preparatów błono-twórczych, nanoszonych na powierzchnię świeżego betonu, które powinny spełniać następujące wymagania (wg [3]):

- utworzenie szczelnej powłoki nie powinno nastąpić później niż 24 godziny od naniesienia preparatu
- powstała powłoka powinna być elastyczna i mieć dobrą przyczepność do betonu i nie ulegać zmyciu pod wpływem deszczu
- środek powłokowy nie może wnikać w powierzchnię betonu głębiej niż 1 mm i nie powinien powodować korozji betonu i zbrojenia.

W czasie dojrzewania betonu elementy powinny być chronione przed uderzeniami i drganiami przynajmniej do chwili uzyskania wytrzymałości na ściskanie co najmniej 15 N/mm².



Fot. 3. Bandra-Worli Sea Link, Bombaj

Podsumowanie

Beton stosowany w mostownictwie jest „elitą” betonu towarowego, ze względu na wysokie wymagania w zakresie wytrzymałości i odporności na szkodliwe oddziaływanie środowiska. Dlatego też niezwykle cenna jest inicjatywa zespołu technologicznego GDDKiA, dzięki któremu powstały Ogólne Specyfikacje Techniczne „Beton konstrukcyjny w drogowym obiekcie inżynierskim” [3]. Pierwszoplanowym celem, jaki przyświecał autorom tego dokumentu jest zapewnienie trwałości obiektów i konstrukcji inżynierskich, która w dużym stopniu zależy od składu, właściwości zastosowanego betonu. Nowe Specyfikacje opracowane przez GDDKiA są dokumentem nowoczesnym, który odzwierciedla aktualną wiedzę z zakresu technologii betonu.

Podsumowując należy dodać, że beton stosowany w mostownictwie jest materiałem wysoce specjalistycznym. Postęp, który obserwuje się w technologii jego produkcji - powszechne stosowanie betonu wysokiej wytrzymałości, o dużej szczelności i odpor-ności na oddziaływanie środowiska - de-terminuje rozwój chemicznych domieszek i dodatków mineralnych.

Co niezmiernie ważne w dobie zrównoważonego rozwoju technologie betonowe są najbardziej predysponowane do spełnienia założeń idei, albowiem beton w całości podlega recyklingowi, a prawidłowo zaprojektowany, wykonany i eksploatowany obiekt betonowy jest trwały, tani, a także ekologiczny.

dr inż. Maciej Gruszczyński
Politechnika Krakowska;

Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej nr 735 z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.
2. PN-EN 206:2014-04 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
3. Ogólne Specyfikacje Techniczne Beton konstrukcyjny w drogowym obiekcie inżynierskim, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad 2014.
4. PN-B-06265:2004. Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 Beton - Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
5. PN-88/B-06250. Beton zwykły.
6. PN-EN 12390-8:2011. Badania betonu - Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.

7. PN-EN 12620+A1:2010. Kruszywa do betonu.
8. PN-EN 13670:2011. Wykonywanie konstrukcji z betonu.
9. Z. Giergiczny, W. Świerczyński, S. Heng, Trwałość betonu w konstrukcjach mostowych, Wrocławskie Dni Mostowe, Wrocław 2012.
10. W. Radomski, *Aktualne zagadnienia budownictwa komunikacyjnego*, Seminarium Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, Augustów, styczeń 2011.