

Zbigniew GIERGICZNY<sup>1</sup>  
Wojciech ŚWIERCZYŃSKI<sup>2</sup>  
Sambath HENG<sup>3</sup>

## TRWAŁOŚĆ BETONU W KONSTRUKCJACH MOSTOWYCH

### 1. Wprowadzenie

Beton stosowany w budowie obiektów inżynierii komunikacyjnej (drogi, mosty, wiadukty) musi charakteryzować się wysoką jakością, z uwagi na fakt, że poddawany jest on dużym obciążeniom mechanicznym oraz działaniu zmiennych temperatur i środków odladzających. Wymaga to odpowiedniej staranności przy jego projektowaniu, wykonywaniu, transporcie i zabudowie. Beton mostowy wymaga także odpowiedniej i starannej pielęgnacji.

W budownictwie mostowym trwałość może być definiowana jako zdolność konstrukcji betonowej do spełniania swojej funkcji przez okres planowanego użytkowania w projektowanych warunkach, bez ponoszenia nadmiernych kosztów napraw i konserwacji [1-3]. Oznacza spełnianie swojej funkcji, a zatem jego jakość, jest fundamentalnym wymogiem osiągnięcia celowości wybudowania obiektu mostowego. Przy projektowaniu betonów w konstrukcjach mostowych należy uwzględnić, zarówno czynniki technologiczne związane z kształtowaniem odpowiedniego poziomu wytrzymałości, jak i trwałością betonu.

Wysokiej jakości beton stosowany w budownictwie mostowym powinien charakteryzować się następującymi właściwościami [3]:

- dobrą urabialnością mieszanki betonowej (przez co najmniej 60-90 minut),
- odpowiednio wysoką wytrzymałością na ściskanie w okresie normowym (po 28 dniach dojrzewania),
- wysoką trwałością związaną ze szczelnością.

Można to osiągnąć poprzez zastosowanie w praktycznym użyciu ostatnich osiągnięć z zakresu technologii betonu, a mianowicie:

- obniżenie wielkości stosunku woda/cement (w/c) w mieszance betonowej do 0,45 i niżej,
- odpowiednią ciekłość mieszanki betonowej należy osiągnąć poprzez stosowanie domieszek chemicznych silnie upłynniających (opartych na polimerach),

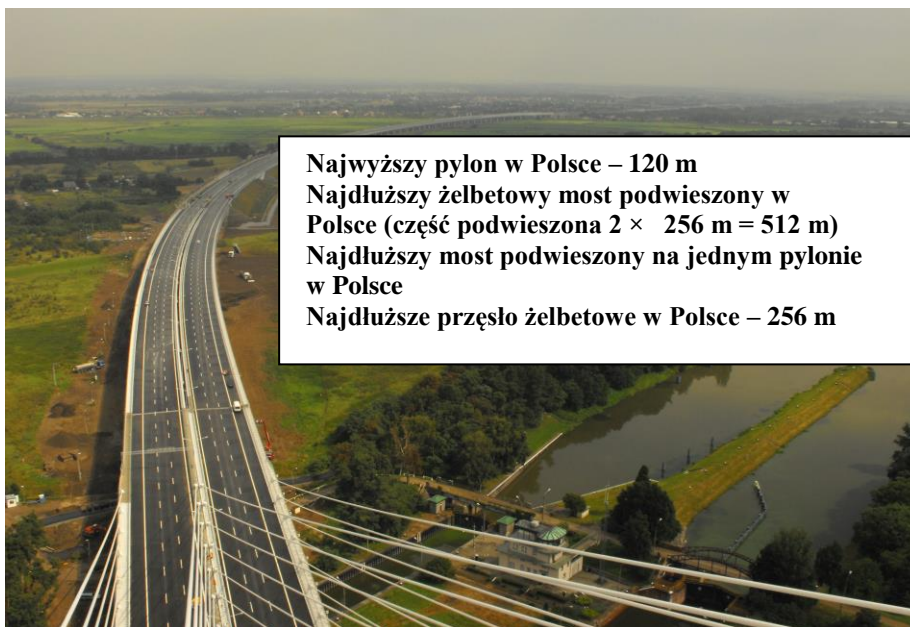
<sup>1</sup>prof. ndzw. dr hab. inż. Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o. w Dąbrowie Górniczej

<sup>2</sup>mgr inż. Sika Poland

<sup>3</sup>dr inż. P.P.M.B. Bosta Beton Sp. z o.o. Warszawa

- zaprojektowanie szczelnego stosu okruszowego pozwalającego na uzyskanie szczelnej struktury stwardniałego betonu; działaniem wspomagającym jest stosowanie wysokiej jakości mikrowypełniaczy, np. pyłu krzemionkowego, czy popiołu lotnego. Są to też dodatki o aktywności pucolanowej, co jest istotne z punktu widzenia kształtowania trwałości stwardniałego betonu,
- stosowanie domieszek napowietrzających pozwalających na poprawę mrozoodporności betonu,
- wzmocnienie warstwy przejściowej „stwardniały zaczyn-kruszywo” poprzez stosowanie dodatków mineralnych o wysokiej aktywności pucolanowej np. pyłu krzemionkowego [4,5].

Mając powyższe na uwadze autorzy, na przykładzie budowy Mostu Rędzińskiego, w ciągu obwodnicy Wrocławia, pokazują zasady kształtowania jakości betonu począwszy od doboru składników, a na właściwej zabudowie skończywszy. Jako przykład właściwego doboru cementu w wykonawstwie konstrukcji mostowej pokazano wykonawstwo pylonów.



Rys. 1. Widok z pylonu Mostu Rędzińskiego (zdjęcie własne autora)

Autostradowa obwodnica Wrocławia A 8, z najdłuższym w Polsce podwieszonym na pylonie mostem i estakadami dojazdowymi we Wrocławiu była największą inwestycją mostową drogową zakończoną w 2011 roku. Bardzo wysokie wymagania projektowe, jakościowe i terminowe tego obiektu wymagały użycia mieszanek betonowych dla których opracowano całkowicie nowej domieszki superplastyfikującej opartej o polimery PCE. Działanie tej innowacyjnej domieszki w mieszance betonowej oparte jest na kilku zjawiskach fizykochemicznych. Dzięki wykorzystaniu zjawiska adsorpcji powierzchniowej i efektu przestrzennej separacji cząstek działających na ziarna cementu i frakcji mialkich uzyskiwane są takie właściwości mieszanki betonowej, jak odpowiednia

konsystencja przy ograniczonej ilości wody zarobowej (niskie w/c), utrzymanie konsystencji przez okres niezbędny do transportu i zabudowania mieszanki w konstrukcji. Jej stosowanie, w kompozycji z pyłem krzemionkowym (mikrokrzemionką), pozwala na uzyskanie betonu o wysokiej gęstości, wysokiej wytrzymałości i trwałości.

## 2. Składniki mieszanki betonowej

### Cement

Cement w budowie obiektów powinno dobierać się kierując się zasadami zawartymi w normie PN-EN 206-1:2003 [9], spośród cementów o ustalonej przydatności (zgodnych z wymaganiami obowiązujących norm zharmonizowanych PN-EN lub norm krajowych) biorąc pod uwagę:

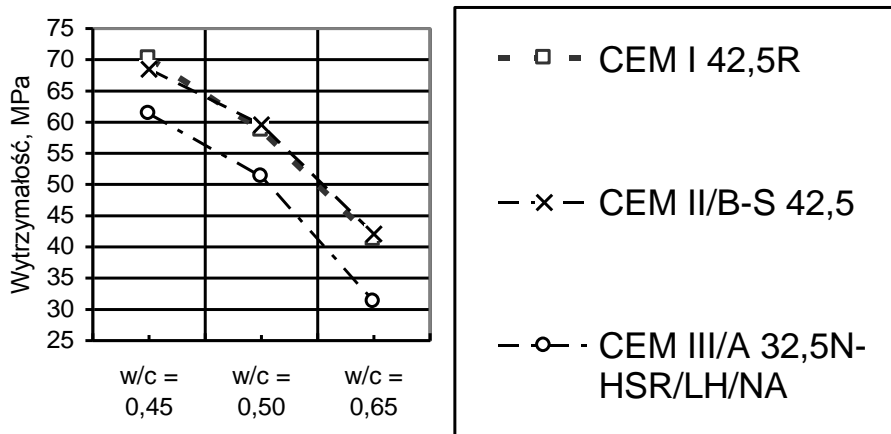
- realizację robót,
- przeznaczenie betonu,
- warunki pielęgnacji betonu,
- wymiary konstrukcji (wydzielanie ciepła); przy betonach masowych należy stosować cementy o niskim cieple hydratacji LH według wymagań normy PN-EN 197-1:2012 [8],
- warunki środowiska na które będzie narażona konstrukcja; w przypadku agresji chemicznej w klasie XA2 i XA3 według zapisów normy PN-EN 206-1:2003[9] należy stosować cementy odporne na siarczany według wymagań normy PN-EN 197-1:2012 (cementy SR) lub PN-B-19707:2003 [10] (cementy HSR),
- potencjalną reaktywność kruszywa z alkaliami zawartymi w składnikach mieszanki betonowej - przy budowie obiektów komunikacyjnych nie należy stosować kruszyw reaktywnych.

Wymagania dla cementu zawarte w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej nr 735 z dnia 30.05.2000 [11] są odmienne i powinny być zmienione z uwzględnieniem zapisów zawartych w normie PN-EN 206-1. W szerszym zakresie w budownictwie mostowym należy stosować cementy z dodatkami mineralnymi, zwłaszcza do wykonywania konstrukcji masowych i narażonych na korozyjne oddziaływanie środowiska (fundamenty, podpory mostów).

Szczególnie nie przystaje do aktualnego stanu wiedzy zapis o korelacji pomiędzy klasą cementu a klasą betonu (p. 164.1 Rozporządzenia. Do wykonywania betonów mostowych powinien być zastosowany cement portlandzki CEM I niskoalkaliczny:

- do betonu klasy B25 – cement klasy 32,5NA,
- do betonu klasy B30, B35 i B40 – cement klasy 42,5NA,
- do betonu klasy B45 i większej – cement klasy 52,5NA.

Zapis ten został sformułowany kilkadziesiąt lat temu, kiedy w technologii betonu nie stosowano domieszek uplastyczniających (plastyfikatorów) i upłynniających (superplastyfikatorów), które pozwalają na znaczną redukcję ilości wody zarobowej, bez zmiany konsystencji. Na rys. 2 pokazano wpływ w/c na wytrzymałość betonu wykonanego z różnych rodzajów cementu.



Rys. 2. Zależności pomiędzy stosunkiem w/c a wytrzymałością na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania (ilość cementu w 1m<sup>3</sup> betonu – 350 kg).

W wykonawstwie pylonów Mostu Rędzińskiego (rys.3) zastosowano 3 cementy: cement portlandzki CEM I 42,5R (górny poziom pylonu), cement hutniczy CEM III/A 42,5N-HSR/NA (filary pylonu) oraz cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA (fundament pylonu). Podstawowe właściwości użytych cementów pokazano w tablicy 1.



Rys. 3. Pylony Mostu Rędzińskiego (zdjęcie własne autora)

Tablica 1. Właściwości cementów

Właściwość	Rodzaj cementu		
	CEM I 42,5R	CEM III/A 42,5N-HSR/NA	CEM III/A 32,5N-LH- HSR/NA
Zmiany objętości, [mm]	0,4	0,1	0,2
Początek wiązania, [minuty]	173	253	295
Wytrzymałość na ściskanie, [MPa]	2 dni	27,3	15,1
	7 dni	38,2	30,7
	28 dni	52,9	55,1
Zawartość alkaliów (Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> ), [%]	0,72	0,90	0,80

### Kruszywa

W produkcji betonów mostowych należy stosować kruszywa mineralne, spełniające wymagania normy określonej poprzez projektanta w specyfikacji technicznej.

Piasek 0-2 mm powinien być płukany i posiadać odpowiednie uziarnienie, i tak:

- zawartość frakcji poniżej 0,063 mm nie może być wyższa niż 1%,
- zawartość frakcji poniżej 0,250 mm winna wynosić 10-15%,
- zawartość frakcji poniżej 0,5 mm winna wynosić 40-50%.

W celu zapewnienia jednorodności uziarnienia mieszanki kruszywa w betonie, zaleca się stosowanie w składzie mieszanki dwóch rodzajów piasku: o uziarnieniu 0-0,5 mm i 0,5 – 2 mm.

Kruszywo grube przeznaczone do betonów mostowych powinno składać się z ziaren o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej i nie zwiertzałych. Należy stosować kruszywo płukane o zawartości pyłów mineralnych poniżej 0,063 mm nie powinna być wyższa niż 0,3% pomimo, że norma PN-86/B-06712 dopuszcza do 1%. Kruszywo to powinno być odporne na działanie mrozu i posiadać małą nasiąkliwość. Pod względem uziarnienia stosowane do betonów mostowych kruszywa grube winny dzielić się na frakcje ziarnowe: 2-8 mm; 8-16 mm (możliwe jest także użycie frakcji 16-32 mm).

### Dodatki do betonu:

Najczęstszym dodatkiem stosowanym do betonów mostowych jest pył krzemionkowy (mikrokrzemionka) stosowana w ilości do 10%. Jest to materiał o bardzo rozwiniętej powierzchni właściwej (powyżej 15000m<sup>2</sup>/kg). Cechuje go bardzo wysoka aktywność pucolanowa tzn. duża zdolność wiązania jonów wapniowych, uwalnianych w procesie hydratacji faz klinkierowych cementu, z utworzeniem uwodnionych krzemianów wapnia tzw. fazy C-S-H [4,5].

Wprowadzenie pyłu krzemionkowego do składu mieszanki betonowej zmienia jej właściwości reologiczne rzutujące na sposób jej układania i zagęszczania. Bardzo drobne cząstki tego dodatku wpływają na zwiększenie spoiwości i zmniejszenie plastyczności mieszanki betonowej, co skutkuje zwiększeniem wodozadržności. Wymaga to stosowania odpowiedniej jakości i ilości domieszek chemicznych uplastyczniających i wydłużenia okresu zagęszczania (wibrowania). Pompowany praktycznie może być beton tylko o konsystencji płynnej. Mieszanka betonowa z pyłem krzemionkowym, zwłaszcza z jego większą zawartością, ma także dużą skłonność do przylegania do ścianek urządzeń transportowych (ścian betonomieszarek, pojemników, szalunków). Trudniejsze jest także

odpowietrzenie wbudowywanej mieszanki betonowej. W przypadku napowietrzania betonu z dodatkiem pyłu krzemionkowego należy liczyć się z użyciem większej ilości środka napowietrzającego dla osiągnięcia zamierzonego stopnia napowietrzenia. Związane to jest ze zwiększoną spoiwością betonu.

Z drugiej jednakże strony dodatek pyłu krzemionkowego zapobiega segregacji składników i powierzchniowemu wypływowi mleczka wapiennego na powierzchnię betonu, co praktycznie umożliwia podawanie mieszanki betonowej z dość dużych wysokości. Także beton po napowietrzeniu jest bardziej stabilny zachowując właściwy układ pęcherzyków powietrza.

Pył krzemionkowy bardzo korzystnie wpływa na właściwości wytrzymałościowe betonu. Wzrostowi wytrzymałości na ściskanie betonu towarzyszy przyrost wartości modułu Younga. Szczególnie należy podkreślić pozytywny wpływ dodatku pyłu krzemionkowego na trwałość betonu. Beton z dodatkiem charakteryzuje się większą szczelnością, mniejszą nasiąkliwością i zwiększoną odpornością na działanie agresji chemicznej.

Ilość użytego pyłu krzemionkowego w składzie mieszanki betonowej należy wliczyć do obliczania wskaźnika w/c zakładając wielkość współczynnika „k” na poziomie 2 lub 1. Jest to zgodne z zapisami normy PN-EN 206-1:2003 [9].

Stosowanie popiołów lotnych jako dodatku do betonu nie jest w Polsce dopuszczone, choć dla niektórych elementów np. masywnych fundamentów dodatkowo narażonych na agresję chemiczną, byłoby działaniem pożądanym. Stosowanie wysokiej jakości popiołów lotnych znacznie poprawia pompowalność mieszanki betonowej (sferyczne ziarna z dużą ilością fazy szklistej), może prowadzić do obniżenia stosunku woda/cement, ogranicza odciek mleczka wapiennego na powierzchnię betonu oraz zwiększa odporność stwardniałego betonu na działanie czynników agresywnych chemicznie [12,13].

### Domieszki do betonu

Stosowanie domieszek do betonu, zwłaszcza betonów mostowych, aktualnie jest niezbędne. Domieszki mają za zadanie:

- plastyfikatory i superplastyfikatory: poprawiają urabialność mieszanki betonowej, a tym samym przyczyniają się do polepszenia właściwości stwardniałego betonu. Poprzez lepsze zagęszczenie mieszanki betonowej uzyskuje się wyższą wodoszczelność i mrozoodporność betonu, wyższą wytrzymałość na ściskanie oraz mniejszą nasiąkliwość betonu. Poprzez stosowanie domieszek upłynniających, poprawiających urabialność masy betonowej, jest możliwość podawania i układania masy betonowej przy użyciu pomp do betonu.
- opóźniacze wiązania: powodują zmianę warunków wiązania i twardnienia betonu, co umożliwia prowadzenie robót w sposób właściwy:
  - transport mieszanki betonowej na dalszą odległość,
  - układanie nowej warstwy na warstwie betonu niezwiązanego, prawidłowe połączenie tych warstw, odpowiednie zagęszczenie masy betonowej
  - odpowiednie rozłożenie wydzielania się ciepła w realizowanym elemencie konstrukcji betonowej,
- napowietrzające – ze względu na wymaganą odporność betonu na mróz i działanie soli rozmrażających konieczne jest stosowanie środków napowietrzających (LP). W celu otrzymania betonu napowietrzonego stosuje się środki napowietrzające, które wytwarzają w świeżym betonie określone mikropory powietrzne. Pozwoli to na zniwelowanie skutków wzrostu naprężeń wywołanych zmianą objętości zamarzającej wody w stwardniałym betonie.

### Mieszanka betonowa.

Konsystencja masy betonowej winna się wahać w granicach dostosowanych do wybranej technologii betonu oraz sposobu jej transportu, pompowania i wbudowania.

Mieszanka betonowa powinna być transportowana betonowozami i podawana przy użyciu pomp na miejsce wbudowania.

Zawartość powietrza w mieszance betonowej nienapowietrzanej, powinna być poniżej 2% . Przy stosowaniu środków napowietrzających do betonu zawartość powietrza zawiera się w granicach 4-6 %, w zależności od uziarnienia stosowanego kruszywa.

Wielkość stosunku w/c ustala się biorąc pod uwagę: klasę ekspozycji wg PN-EN 206-1 [9], klasę wytrzymałościową betonu, wodoszczelność betonu, stopień mrozoodporności. Wielkość ta winna być poniżej 0,45.

Ilość cementu w betonie winna być optymalna z punktu widzenia właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Mając na uwadze właściwą urabialność mieszanki betonowej ilość ta winna być ustalona laboratoryjnie. Z doświadczeń wynika, że ilość materiału wiążącego w betonie powinna wynosić w granicach 350 kg/m<sup>3</sup> (cement + dodatki). Ilość zaprawy potrzebna do właściwej urabialności winna wynosić ~ 500-550 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. W celu zapewnienia dobrej urabialności mieszanki betonowej zawartość objętościowa drobnych frakcji pyłowo-piaskowych (0-0,50 mm ), cementu oraz dodatków, w stosunku do objętości, frakcji piaskowych (0-2mm) powinna spełniać warunek:

$$0,6 < \frac{\text{cement+ dodatki+ frakcja pyłowo- piaskowa (0-0,50)}}{\text{frakcja piaskowa (0-2 mm)}} < 1,05$$

### **3. Skład i właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu**

Jako przykładowe receptury betonu mostowego obejmujące, zarówno aspekty wytrzymałościowe, jak i trwałościowe, podano składy mieszanek betonowych użytych do wykonania pylonu mostu Rędziańskiego nad rzeką Odrą w ciągu autostradowej obwodnicy Wrocławia. Pokazano je w tablicy 2.

Tabela 2. Składy mieszanek betonowych przeznaczonych do wykonania pylonów

Składnik	Górna część pylonów B60 (C50/60)	Filary pylonów B60 (C50/60)	Fundament pylonów B35(C30/37)
	Ilość składnika na 1 m <sup>3</sup> , kg		
Cement CEM I 42,5R	370	----	----
Cement CEM III/A 42,5N-HSR/NA	---	370	----
Cement CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA	---	-----	370
Piasek 0-2 mm	650	650	651
Grys granitowy: - 2/8 mm	490	480	484
- 8/16 mm	640	620	620
Mikrokrzemionka	22,2	22,2	7,40
Woda	157	159	162
Plastyfikator	0,74	1,48	1,48

Superplastyfikator	4,81	4,44	2,59
Domieszka napowietrz.	0,26	0,30	0,55

Istotnym elementem w projektowaniu betonu był dobór domieszek chemicznych z uwzględnieniem obecności pyłu krzemionkowego (mikrokrzemionki). Zdecydowano się na zastosowanie domieszek do betonu: plastyfikator, polimerową domieszkę upłynniającą (superplastyfikator), domieszkę opóźniającą i napowietrzającą. Wybrano mikrokrzemionkę, której własności umożliwiały jej podawanie z silosu, bez zagrożenia zbrylaniem. Sprawdzone również kompatybilność domieszek, mikrokrzemionki i zastosowanego cementu.

Zapewnienie wymaganych parametrów mieszanki betonowej jest absolutnym wymogiem dla zapewnienia trwałości betonu. W warunkach opisanej realizacji, mieszanka betonowa była produkowana w 3 wytwórniach betonu znajdujących się w różnej odległości od placu budowy, a transport odbywał się w intensywnym ruchu ulicznym. Dzięki właściwym rozwiązaniom technologicznym opracowane receptury betonu spełniły oczekiwania wykonawcy.

Zastosowanie cementu hutniczego, zarówno CEM III/A 32N-LH-HRS/NA i CEM III/A 42,5-HSR/NA, znacznie usprawniło wykonawstwo pylonów i pozwoliło na uniknięcie spękań wywołanych naprężeniami w masywie betonowym [ 14]. W szczególności było to istotne przy wykonywaniu fundamentu, który ma kształt zbliżony do ostrosłupa ściętego o wymiarach 67,40x28,00m i wysokość 5 m. Płyta była wykonana w betonowaniu ciągłym. Zastosowanie cementu hutniczego CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA pozwoliło na uzyskanie temperatury w masywie betonowym niższej od krytycznej określonej na 65°C. Zadaniem prof. A. Czkwianianca należałoby jeszcze obniżyć ilość cementu hutniczego (do 300 kg na m<sup>3</sup>) i wprowadzić popiół lotny do składu betonu . W takim układzie możliwe byłoby uzyskanie klasy betonu B 35 (C30/37) przy szacowanej maksymalnej temperaturze w masywie na 40°C (bardzo bezpieczna ze względu na naprężenia termiczne).

Zastąpienie cementu portlandzkiego CEM I 42,5R, w wykonawstwie filara pylonu, na cement hutniczy CEM III/A 42,5N-HSR/NA pozwoliło na wykonywanie betonowania warstwami co 2,5 m. Pozwoliło to na wykonanie całego filara w czterech etapach. Stosowanie cementu portlandzkiego CEM I 42,5R wymusiłoby konieczność betonowania warstwami o grubości nie większej niż 0,5 m z co najmniej 3 trzydniową przerwą.

Wyniki badań mieszanki betonowej i stwardniałego betonu zamieszczono w tablicy 3. Oznaczenia wykonano według procedur zawartych w normach i procedurach badawczych [15-20].

Tablica 3. Właściwości betonu na pylony

Właściwości mieszanki betonowej/stwardniałego betonu	Wynik badania		
	Górna część pylonów B60	Dolna część pylonów B60	Fundament pylonów B35
Rodzaj cementu	CEM I 42,5R	CEM III/A 42,5N	CEM III/A 32,5N
Opad stożka po 10 minutach, [mm]	65	160	135
Opad stożka po 60 minutach, [mm]	60	190	200
Opad stożka po 90 minutach [mm]	55	170	140
Zawartość powietrza w mieszance			



betonowej, [%]	3,5	5,0	4,5
Wytrzymałość na ściskanie, [MPa], po:			
3 dni	53,8	30,0	---
7 dni	64,7	52,4	---
28 dni	78,6	79,5	51,6
56 dni	83,3	83,6	64,1
90 dni	---	85,9	----
Stopień mrozoodporności F150 spadek wytrzymałości, [%]	1,1	0,2%	-2,2 Przyrost
Nasiąkliwość, [%]	3,8		3,9
Głębokość penetracji wody dla stopnia wodoszczelności W 8, [mm]	20	17	27

#### 4. Produkcja, transport i zabudowa mieszanki betonowej

Produkcja mieszanki betonowej winna się odbywać w oparciu o ustaloną recepturę roboczą z uwzględnieniem wilgotności w kruszywie, warunków technicznych co do dokładności dozowania składników oraz czasu mieszania. Wytwórnice betonu winny spełniać wymogi określone przez nadzór.

Użyte środki do transportu do mieszanki betonowej nie powinny powodować:

- naruszenia jednorodności mieszanki ( segregacji składników ),
- zmiany z składzie mieszanki w stosunku do stanu początkowego ( opady atmosferyczne, wycieki zaczynu lub zaprawy, wysychanie ),
- zanieczyszczenia mieszanki betonowej,
- zmiany temperatury (przekraczające granice określone wymaganiami technicznymi)

Czas trwania transportu i jego organizacja powinny zapewnić dostarczenie do miejsca wbudowania (układania) mieszanki betonowej o takiej konsystencji, jaką zakłada receptura robocza dla danego sposobu podawania, układania i zagęszczania mieszanki betonowej.

Układanie i zagęszczanie mieszanki betonowej winno się odbywać wg programu betonowania wchodzącego w zakres dokumentacji technologicznej. Betonowanie poszczególnych elementów mostu należy wykonywać zgodnie z podziałem określonym w projekcie.

Układanie betonu winno się odbywać wg. zatwierdzonych przez projektanta technologii wykonania. Mieszanka betonowa powinna być dostarczana w sposób ciągły, przy maksymalnym zmechanizowaniu jej transportu i układania, aby utrzymać odpowiednie tempo betonowania. Wysokość swobodnego spadania mieszanki betonowej nie powinna przekraczać 1,5 m. Jeżeli masa betonowa przechodzi przez zbrojenie, to wysokość swobodnego spadania należy obniżyć do 1 m. Mieszanka betonowa powinna być układana warstwami poziomymi o jednakowej grubości, dostosowanej do charakterystyki wibratorów przewidzianych do zagęszczenia. Zazwyczaj grubość układanej warstwy wynosi od 50 – 70 cm. Warstwy betonu należy układać pasami równoległymi do krótszego boku betonowanego elementu. Układanie każdej następnej warstwy należy prowadzić w takim samym porządku jak poprzedniej. Niedopuszczalne jest używanie wibratorów do rozprowadzania mieszanki betonowej przy jej układaniu.

Układanie nowej warstwy mieszanki betonowej w elemencie powinno być zakończone przed rozpoczęciem wiązania warstwy wbudowanej poprzednio. Stwierdzenie to jest bardzo ważne dla betonowań płyt mostowych czy masywnych elementów mostu np. podpór.

Zagęszczenie mieszanki betonowej winno odbywać się przy użyciu wibratorów wgłębnych:

- czas wibracji należy ustalić każdorazowo na budowie, w zależności od konsystencji mieszanki betonowej i siły wymuszającej wibratora. Czas ten nie powinien być krótszy niż 25 sek. dla konsystencji półciekłej ( opad stożka 8-10 cm),
- buławę należy zagłębiać na głębokość 5-8 cm w warstwę betonu uprzednio ułożonego możliwie szybko, a po zawibrowaniu buławę należy wyciągać możliwie wolno,
- w czasie wibrowania nie dopuszczać do ściągania, rozprowadzania masy betonowej w szalunku przy użyciu wibratora ,
- w czasie wibracji betonu nie zbliżać się z buławą do czoła układanej warstwy na odległość mniejszą niż 1,5 m,
- w czasie wibrowania betonu nie dotykać buławą do zbrojenia,
- buławę wibratora zagłębiać mijankowo, aby nie powstały tzw. pola martwe niezawibrowane,
- beton powinien być opóźniony na tyle, aby można było układać kolejną warstwę świeżej mieszanki betonowej na warstwę betonu nie związanego,
- na płytach mostowych i blokach wskazane jest dodatkowe zawibrowanie wierzchniej warstwy betonu przy użyciu listwy wibracyjnej.

Trwałość betonu to także jakość powierzchni betonowych pozbawiona raków, rys i płam. Beton mostowy winien być betonem architektonicznym, bez szpachli i farb. Wymagana za to winna być trwała hydrofobizacja środkami opartymi o siliany i siloksany, zapewniającą wieloletnią skuteczność.

Zabrania się stosowania środków olejowych do konserwacji szalunków, ponieważ powodują one brunatne przebarwienia w fakturze betonu i wymagają usunięcia za pomocą gorącej pary z detergentami. Należy zatem stosować środki antyadhezyjne typu parafinowego, które takich wad nie posiadają.

## 5. Pielęgnacja betonu

Ułożony beton winien być jak najwcześniej zabezpieczony przed utratą wilgoci, szybkie odparowanie wody prowadzi bowiem do występowania powierzchniowych mikrorys i rys skurczowych. Niedostateczne zabezpieczenie betonu przed utratą wilgoci w przeciągu pierwszych 3-7 dni od zabetonowania prowadzi ponadto do:

- zmniejszenia wytrzymałości betonu w warstwie powierzchniowej,
- podwyższenia nasiąkliwości,
- braku mrozoodporności,
- ograniczonej chemoodporności,
- ograniczonej trwałości,
- pylenia, piaszczenia się na powierzchni.

Zabezpieczenia betonu przed utratą wilgoci prowadzi się przy użyciu:

- osłon z wilgotnych mat i folii,
- osłon tylko z folii,
- preparatów do pielęgnacji betonu,
- włókniny- stałe zwilżanie powierzchni betonu,
- poprzez pozostawienie betonu dłużej w szalunkach.

Trzeba zaznaczyć, że woda do zraszania betonu winna mieć temperaturę otaczającego powietrza. Stosowanie zimnej wody prowadzi do szoku termicznego, co spowoduje

wystąpienie rys; różnica między betonem przy powierzchni a temperaturą otoczenia nie może przekroczyć 20°C. W okresie wysokich temperatur należy stosować podwójny sposób zabezpieczenia betonu, tj. włókninę nawilżoną wodą i preparat pielęgnacyjny do betonu. W okresie obniżonych temperatur poniżej + 10°C stosować folie i maty ocieplające lub namioty z ogrzaniem powietrza przy pomocy nagrzewnic.

## 6. Posumowanie

Trwałość obiektów i konstrukcji budowlanych w dużym stopniu zależy od składu i właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Projektując mieszankę betonową należy mieć na uwadze, zarówno rodzaj konstrukcji budowlanej, jak też technologię zabudowy betonu. Bardzo pomocnymi składnikami betonu, zwłaszcza w uzyskaniu odpowiedniej trwałości, są domieszki chemiczne i dodatki mineralne. W wykonawstwie Mostu Rędzińskiego stosowano najnowsze polimerowe domieszki upłynniające w połączeniu z bardzo aktywnym dodatkiem pucolanowym jakim pył krzemionkowy (mikrokrzemionka).

Wskazano na właściwy dobór cementu do wykonania poszczególnych elementów konstrukcyjnych pylonu Mostu Rędzińskiego. W tym zakresie należy trzymać się zasad zawartych w normie PN-EN 206-1 [9]. Celowym i uzasadnionym działaniem było zastosowanie cementu hutniczego CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA i cementu hutniczego CEM III/A 42,5N-HSR/NA w miejsce cementu portlandzkiego CEM I 42,5R. Działanie takie usprawniło organizację robót oraz pozwoliło na wykonanie konstrukcji betonowej należytą trwałości.

## Literatura

1. Brandt A.M.: Uwagi o trwałości konstrukcji betonowych. Drogi i mosty, nr 3, 2004. s.5-14.
2. Fiertak M., Małolepszy J.: Beton materiał kompozytowy podlegający wpływom czynników środowiskowych. Sympozjum naukowo-techniczne „Trwałość betonu i jej uwarunkowania technologiczne, materiałowe i środowiskowe” Kraków 2004, s.5-39.
3. Glinicki M.: Trendy rozwojowe technologii betonu. Przegląd Budowlany, nr 12, 2007 s. 24-30
4. Nocuń Wczelik W.: Pył krzemionkowy – właściwości i zastosowanie w betonie. Polski Cement, Kraków, 2005.
5. FIP Commission on concrete. Condensed silica fume in concrete. Publisher by Thomas Telford Ltd, London, 1988.
6. Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych. Polski Cement 2002.
7. Glinicki M.: Struktura porów powietrznych w betonie na drogi i mosty – wymagania norm europejskich i wyniki diagnostyki. Sympozjum naukowo-techniczne „Beton w infrastrukturze wsi i miast”, Poznań 2005.
8. PN-EN 197-1:2012 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”.
9. PN-EN 206-1:2003 „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”.

10. PN-B-19707:2003 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”.
11. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 63/2000, poz. 735).
12. Giergiczny E., Giergiczny Z.: Wpływ zmiennej jakości popiołów lotnych na właściwości kompozytów cementowo-popiołowych Cement-Wapno-Beton, nr 3, 2010, s. 157-163.
13. Lutze D., W.vom Berg: Popiół lotny w betonie. Polska Unia UPS, Warszawa 2010.
14. Czkwianianc A.: Obliczenie termiki fundamentów i filarów pylonu mostu przez rzekę Odrę (podpora nr 14) w ciągu autostrady A8 wraz z propozycją składu betonu i technologii wykonania elementów. Politechnika Łódzka, 2009.
15. PN-EN 12350-2:2001 „Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka”
16. PN-EN 12350-7:2001 „Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe”
17. PN-EN 12390-3:2002 „Badania betonu. Część: 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”
18. Procedura badawcza PB/LMB-02, wyd.1, z dnia 01.12.2006 Zgodna z PN-B-06250:1988 p. 5.4; p. 6.6
19. Procedura badawcza PB/LMB-04, wyd.1 z dnia 01.12.2006 Zgodna z PN-88/B-06250 „Beton zwykły”p. 6.4.2
20. Procedura badawcza PB/LMB-03, wyd.1 z dnia 01.12.2006 Zgodna z PN-88/B-06250 „Beton wyży” p. 6.5.1

## **THE DURABILITY OF CONCRETE IN BRIDGE CONSTRUCTIONS**

### **Summary**

Hereby paper presents the principles of concrete mixture components selection and design destined for the production of bridge structures. The regulations of proper development and bridge concrete curing have also been analyzed. Moreover, the paper illustrates the selection rules of different cement types for the construction of the individual elements of bridge pylon.