

Wodożądność kruszyw i cementu a wytrzymałość projektowana betonu

Przy projektowaniu mieszank betonowych spełniających określone specyfikacją założenia wytrzymałości i konsystencji oraz innych cech technicznych niezwykle istotne jest posiadanie niezbędnej wiedzy dotyczącej wodożądności zastosowanej mieszanki kruszywowej. Wszystko po to, by w trakcie wykonywania zarobów próbnych korektę ilości wody lub domieszek chemicznych ograniczyć do minimum. Temu celowi służy przeprowadzona seria badań nad wodożądnością kruszyw stosowanych do produkcji mieszank betonowych.

Wstęp

Przy projektowaniu mieszanki betonowej istotna jest wiedza dotycząca:

- klasy betonu i jego przeznaczenia, cech reologicznych świeżej mieszanki oraz cech technicznych stwardniałego betonu, takich jak: wodoszczelność, nasiąkliwość, mrozoodporność, ścieralność, odporność na podwyższone temperatury czy też odporność na agresję środowiska, w jakim beton ma pracować
- rodzaju zastosowanego cementu pod względem wytrzymałości po 28 dniach i w terminach wcześniejszych, odporności na agresję środowiska oraz innych parametrów istotnych dla uzyskania zakładanych właściwości betonu
- rodzaju stosowanych kruszyw w aspekcie ich własności, a w szczególności wodożądności złożonego z nich stosu okruszowego
- współdziałanie domieszek chemicznych z zastosowanymi cementami w aspekcie czasu transportu mieszanki na miejsce wbudowania, sposobu i warunków zabudowy oraz warunków atmosferycznych w czasie transportu i zabudowy
- ilości wody, jaką w mieszance bez zmiany konsystencji zastąpi przyjęta doza domieszki chemicznej
- konieczności lub możliwości stosowania dodatków mineralnych do betonu oraz ich wpływu na właściwości mieszanki betonowej i betonu stwardniałego.

Projektowanie mieszank betonowych spełniających określone specyfikacją założenia wytrzymałości i konsystencji oraz innych cech technicznych jest zazwyczaj dwustopniowe. W pierwszym etapie, dowolną metodą, określa się prawdopodobny skład mieszanki betonowej, który spełniał będzie założenia projektowe. W drugim etapie wykonuje się zaroby próbne w warunkach laboratoryjnych lub skali półtechnicznej, bada cechy reologiczne świeżej mieszanki, pobiera ciała próbne i w przewidzianych normami przedmiotowymi terminach dokonuje się badań cech stwardniałego betonu. Pomimo to, iż etap pierwszy projektowania zajmuje zdecydowanie mniej czasu niż drugi, istotne jest posiadanie niezbędnej wiedzy dotyczącej wodożądności zastosowanej mieszanki kruszywowej, tak aby w trakcie wykonywania zarobów próbnych korektę ilości wody lub domieszek chemicznych ograniczyć do minimum. Temu celowi służyła przeprowadzona seria badań nad wodożądnością kruszyw stosowanych do produkcji mieszank betonowych.

Założenia badawcze

Badania nad wodożądnością prowadzono dla mieszank o zawartości 300 kg cementu w 1 m³ przy zmiennym składzie okruszowym począwszy od 100% piasku 0-2 mm, poprzez dodawanie kruszyw żwirowych drobnych o uziarnieniu 2-8 mm i grubych o uziarnieniu 8-16 mm lub zwiększaniu ilości kru-

szywa 2-16 mm. Zmiany składu mieszanki prowadzono do momentu, aż ilość żwirów była tak duża, że 300 kg cementu nie pozwalało na uzyskanie spójności stożka do pomiaru konsystencji. Jednostkowe badanie prowadzono dodając wodę do konsystencji mierzonej opadem stożka Abramsa wynoszącej 13-14 cm w 10 minut po dodaniu wody. Stos okruszowy w mieszankach złożonych z trzech kruszyw tworzone przy zawartości żwiru drobnego 2-8 mm 15-20%, a przy stosowaniu dwóch kruszyw zmieniano proporcję między nimi.

Badania przeprowadzono dla trzech wytwórni betonu, na których stosowano kruszywa pochodzące z różnych żwirowni. Dla wytwórni A badano mieszanki złożone z piasku 0-2 mm i żwiru 2-8 mm, oraz piasku 0-2 mm, żwiru 2-8 i 8-16 mm, dla wytwórni B mieszanki piasku 0-2 mm i żwiru 2-16 mm, a dla wytwórni C mieszanki piasku 0-2 mm i żwiru 2-8 i 8-16 mm. Stosowane piaski klasyfikowane były jako piaski płukane zwykłe, natomiast żwiry sklasyfikowane zostały do odpowiednich grup jako żwiry marki 20 wg PN-86/B-06712. W badaniach stosowano cement CEM II/B-S 32,5 R o wytrzymałości średniej $R_{28} = 48$ MPa. Zaroby próbne wykonano w laboratorium, a próbki przechowywano w warunkach laboratoryjnych.

Dla ułatwienia oceny uzyskanych wyników badań koniecznym stało się wprowadzenie sposobu charakteryzowania uziarnienia mieszanki wartością liczbową. Zdecydowano się charakteryzować uziarnienie mieszanki współczynnikiem K wg [3]. Współczynnik ten jest jedną setną sumy odsiewów stosowanego stosu okruszowego dla sit normowych do betonu, począwszy od sita o oczku 0,25 mm.

$$K = \frac{1}{100} \cdot \sum R_i$$

Przykład: górna krzywa graniczna zalecana w PN-88/B-06250 dla uziarnienia do 16 mm charakteryzuje się współczynnikiem $K = 3,45$ a dolna $K = 4,67$.

Wielkość sita [mm]	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	Suma
Przesiew D_i [%]	10	20	35	50	60	80	100	100	
Odsiew R_i [%]	90	80	65	50	40	20	0	0	345

Współczynnik ten ma zalety i wady [2]. Zaletą jego jest możliwość liczbowej charakterystyki stosu okruszowego mieszanki korzystnej przy matematycznej obróbce wyników badań. Wadą zaś jest to, że nieskończenie wiele mieszank kruszywowych może charakteryzować się takim samym współczynnikiem, choć z pewnością będą posiadać różną wodożądność. Aby jednak zawężać pole zmienności, należy odnosić się do niego w sposób

związany z maksymalnym ziarnem mieszanki np. jako K_8 , K_{16} czy też K_{32} .

Następny etap badawczy poświęcono analizie wpływu zawartości cementu w 1 m^3 betonu na zapotrzebowanie na wodę przy stałym składzie mieszanki kruszywowej oraz przy konsystencji wynoszącej jak poprzednio 13-14 cm, mierzonej opadem stożka Abramsa. Do badań zastosowano mieszankę kruszyw z wytwórni A o uziarnieniu do 16 mm, charakteryzującą się współczynnikiem $K = 3,64$, co odpowiada następującemu składowi materiałów: piasek 0-2 mm 45%, żwir 2-8 mm 15% i żwir 8-16 mm 40%. Ilość cementu zmieniano co 50 kg w zakresie od 200 do 400 kg.

Wyniki badań

Wodożądność kruszyw

Jak wspomniano powyżej, badania prowadzono dla mieszanek złożonych z 300 kg cementu na 1 m^3 betonu, począwszy od samego piasku charakteryzującego się współczynnikiem $K = 1,41$, aż do mieszanki złożonej z 30% piasku i 70 % mieszanki żwirów od 2 do 16 mm, dla której współczynnik $K = 4,55$. Dla części mieszanek dokonano ich przemycia przez sito o oczku $0,063 \text{ mm}$ w celu sprawdzenia, na ile obliczenia teoretyczne współczynnika K pokrywają się z praktycznie wykonanymi zarobami. Wyniki tych badań potwierdziły wystarczającą zgodność obu wyliczeń. Poza określeniem zapotrzebowania na wodę wykonano ciała próbne, które poddano badaniom na wytrzymałość po 28 dniach twardnienia. Jak pokazano na rysunku 1, ilość niezbędnej do uzyskania założonej konsystencji wody nie zależy tylko od uziarnienia mieszanki, lecz ma na nią wpływ również jakość kruszywa. Widać to wyraźnie dla wytwórni C, dla której ilość potrzebnej wody znacznie odbiega od pozostałych analizowanych przypadków. Przyczyny zwiększonego zapotrzebowania na wodę w tym przypadku należy dopatrywać się w pochodzeniu kruszywa i jego teksturze, choć jego analiza sitowa była bardzo zbliżona do pozostałych badanych materiałów. Uzyskane wyniki układają się dość płynnie, co pozwala na ich graficzną interpolację.

Uzyskane z badań wytrzymałości R_{28} przedstawiono natomiast na rysunku 2.

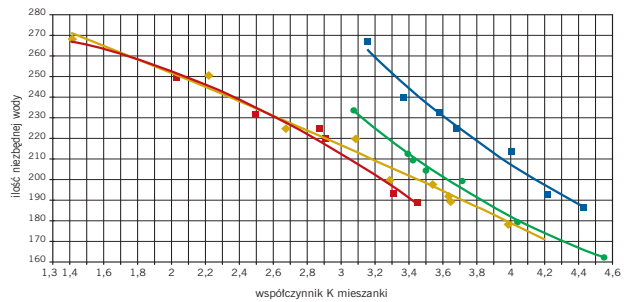
Z analizy rysunku 2 wynika wyraźna zależność wytrzymałości R_{28} od współczynnika K , choć takim samym współczynnikiem K odpowiadają różne wytrzymałości. Wynika to z różnego zapotrzebowania na wodę stosowanych kruszyw, co przy stałej ilości cementu prowadzi do zmiany wartości wskaźnika wodno-cementowego. Potwierdza to fakt, iż wytrzymałość betonu zależy w głównej mierze od wartości wskaźnika W/C . Zależność tę przedstawiono na rysunku 3.

Przedstawione na rysunku 3 wyniki układają się wzdłuż krzywych wspólnych dla wszystkich analizowanych wytwórni. Na ich podstawie można określić z pewnym przybliżeniem zależność wytrzymałości betonu od wskaźnika wodno-cementowego. I tak, aby uzyskać wytrzymałość betonu odpowiadającą klasie B 10, można przyjąć $W/C = 0,9$ i dalej dla klasy B 15 – $W/C = 0,76$; dla klasy B 20 – $W/C = 0,68$; dla klasy B 25 – $W/C = 0,61$, dla klasy B 30 – $W/C = 0,55$. Z powyższych badań wynika, iż można projektować i wykonywać różne klasy betonu zachowując stałą ilość cementu a zmieniać jedynie uziarnienie mieszanki a zatem jej wodożądność.

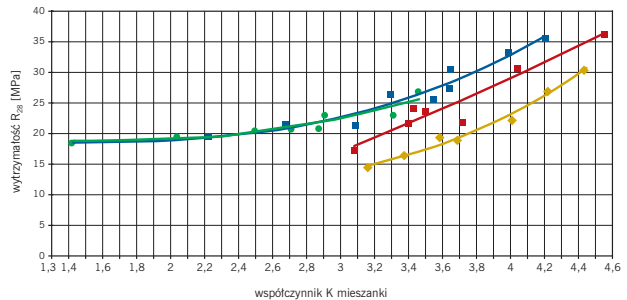
Wodożądność cementu

Zależność ilości niezbędnej wody od ilości cementu przy stałym uziarnieniu mieszanki przedstawiono na rysunku 4.

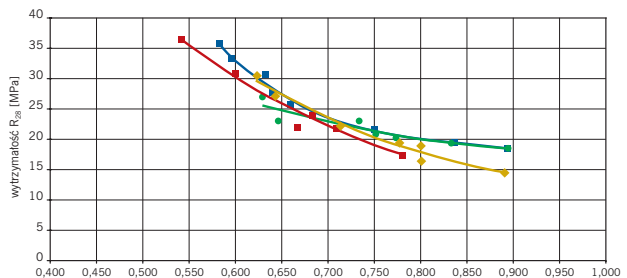
Z przeprowadzonych badań wynika, iż dla przyjętego stosu okrucowego ilość 300 kg cementu wykazała najniższe zapotrzebowanie na wodę. Zarówno mniejsza jak i większa ilość cementu zwiększa to zapotrzebowanie. Można to wytłumaczyć tym, że mniejsze ilości cementu na skutek niewystarczającej ilości zaczynu w mieszance betonowej powodują zwiększenie liczby kontaktów między ziarnami kruszywa, a w związku z tym zwiększa się również tarcie wewnętrzne.



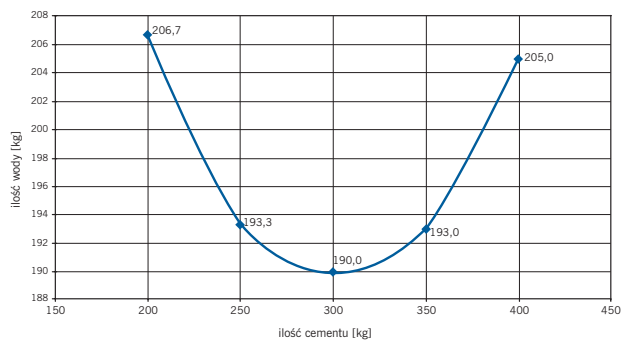
Rys. 1. Zależność ilości wody od współczynnika mieszanki K dla opadu stożka ok. 13 cm przy 300 kg cementu



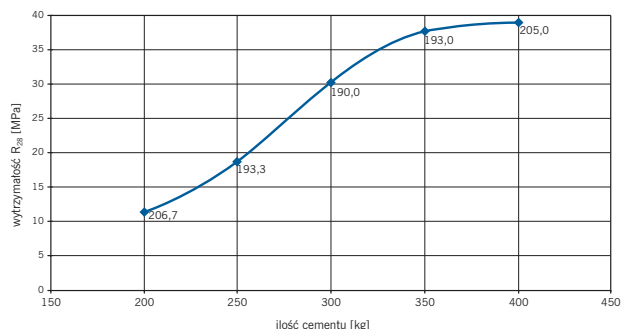
Rys. 2. Zależność wytrzymałości R_{28} od współczynnika mieszanki K dla opadu stożka ok. 13 cm przy 300 kg cementu



Rys. 3. Zależność wytrzymałości R_{28} od współczynnika w/c dla opadu stożka ok. 13 cm przy 300 kg cementu



Rys. 4. Zależność ilości wody od ilości cementu przy stałej konsystencji i współczynniku $K = 3,64$



Rys. 5. Zależność wytrzymałości R_{28} od ilości cementu przy stałej konsystencji i współczynniku $K = 3,64$

Przy większej ilości cementu w mieszance zwiększa się tarcie wewnętrzne między cząsteczkami cementu i aby zapewnić odpowiednie otulenie ziaren cementu wodą, konieczne jest zwiększenie jej ilości. W praktyce odpowiednią deflokulację ziaren cementu uzyskuje się poprzez zastosowanie domieszek chemicznych. Wzrost zapotrzebowania na wodę oraz zmienna ilość cementu pozostaje nie bez wpływu na wytrzymałość betonu. Wodożądność mieszanki przy zmianie ilości cementu od 250 do 350 kg w tym przypadku jest niewielka (± 3 litry na 1 m^3), lecz powoduje znaczące zmiany W/C, a zatem znaczącą zmianę wytrzymałości. Przedstawiono to na rysunku 5.

Z przeprowadzonych badań można wysnuć również wniosek, iż zwiększenie ilości cementu o 50 kg z 350 do 400 kg nie skutkuje znaczącym przyrostem wytrzymałości. W wyniku badań ustalono, że przy założonym przez autora szkielecie kruszywowym mieszanki, 200 kg cementu daje wytrzymałość betonu odpowiadającą klasie B7,5, przy W/C = 1,03; 250 kg cementu – klasę B15 przy W/C = 0,76; 300 kg cementu – klasę B25 przy W/C = 0,63, a 350 kg cementu – klasę B30 przy W/C = 0,55. Dodatkowo można stwierdzić, że zmiana ilości cementu powoduje zmianę wodożądności mieszanki oraz zmianę W/C. Najkorzystniejsze przyrosty wytrzymałości w przeliczeniu na dodany cement występują w tym przypadku dla zakresu pomiędzy 250 i 350 kg.

Wnioski

1. Założony cykl badawczy oparto na dwóch skrajnych sposobach projektowania betonów pod względem ich wytrzymałości. Przypadek pierwszy polega na zastosowaniu stałej ilości cementu, a zmieniając stos okruszowy mieszanki kruszyw zmienia się zapotrzebowanie na wodę, co w konsekwencji prowadzi do zmiany wskaźnika W/C i różnych wytrzymałości betonu. Badano także przypadek drugi, polegający na zastosowaniu stałego stosu okruszowego i zmianie ilości cementu, co również wpływa na wodożądność mieszanki i W/C, a zatem i na wytrzymałość betonu. W praktyce, ze względu na uzyskanie innych cech betonu, jak wodoszczelność, nasiąkliwość, mrozoodporność, skurcz, odporność na agresję środowiska, ścieralność i inne cechy, w projektowaniu stosuje się metody pośrednie ustalania składu mieszanki zmieniając zarówno stos okruszowy, jak i ilość cementu. Dodatkowo stosuje się dodatki i domieszki chemiczne modyfikujące cechy zarówno świeżej mieszanki, jak i stwardniałego betonu.

2. Przeprowadzony cykl badawczy pozwolił na określenie wodożądności mieszanek kruszywowych charakteryzowanych współczynnikiem K dla analizowanych wytwórni, co ułatwiło proces projektowania mieszanek betonowych. Stosowany współczynnik K, pomimo swoich wad, spełnił w tym przypadku założone zadanie. Jednakże uzyskane wyniki nie mają cech uniwersalnych i ze względu na występujące różnice odnoszą się jedynie do kruszyw z przebadanych żwirowni.

3. Badania potwierdziły znaczenie wskaźnika wodno-cementowego dla uzyskania odpowiednich wytrzymałości betonu niezależnie od stosu okruszowego.

4. Badania wykazały także, iż dla pewnych stosów okruszowych istnieją optymalne zawartości zastosowanego cementu, które bez znaczącej zmiany wodożądności powodują uzyskanie znaczących przyrostów wytrzymałości. Zagadnienie to wymaga jednak dalszego badawczego potwierdzenia.

dr inż. Zbigniew Kołacz
RMC POLSKA Sp. z o.o.

Literatura:

1. J. Śliwiński, *Beton zwykły, projektowanie i podstawowe własności*, Polski Cement Sp. z o. o. Kraków 1999
2. A. M. Neville, *Właściwości betonu*, Polski Cement Sp. z o. o. Kraków 2000
3. *Betontechnische Daten, Ready Mix Baustoffgruppe, Ratingen 2000*

OPTIROC

Optiroc Gniew Sp. z o.o.

83-140 Gniew, ul. Krasickiego 9
tel. (058) 535 25 95
fax (058) 535 25 96

e-mail: keramazyt@optirocgniew.pl

www.optirocgniew.pl

Keramzyt z Gniewu
najłżejszy i najcieplejszy
w Polsce