Betony z kruszywem wapiennym

pozyskanym selektywnie ze złoża Trzuskawica w świetle kryteriów dla „betonów mostowych”

inż. Damian Chełmecki,
dr hab. inż. Artur Łagosz
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Niniejszy artykuł poświęcono ocenie właściwości użytkowych dwóch betonów wykonanych w oparciu o kruszywo wapienne wyprodukowane w zakładzie Trzuskawica z selektywnie pozyskanego złoża, po zastosowaniu cementu CEM I oraz CEM III/A.

Betony miały zbliżony skład, mieszczący się w wytycznych zawartych w Ogólnej Specyfikacji Technicznej GDDKiA [1] dla betonów mostowych, choć zbliżony do kryteriów minimalnych – w celu uwydatnienia wpływu kruszywa na badane cechy. W zakresie badań ich właściwości uwzględniono ocenę trwałości w warunkach oddziaływania mrozu oraz środków odladzających. W celu zweryfikowania przyjętej metodyki badawczej, jak również do weryfikacji uzyskanych wyników, równolegle wykonano betony w oparciu o kruszywo bazaltowe, które poddano takim samym badaniom, jak betony na kruszywie wapiennym.

Producenci kruszyw węglanowych nie wykazują dużej aktywności w zakresie oceny przydatności wyselekcjonowanych złóż i wyprodukowanych z nich kruszyw do zastosowań w betonach o wysokich wymaganiach trwałościowych. Wobec dość powszechnego w Polsce przekonania o małej przydatności kruszyw węglanowych do produkcji betonów przeznaczonych do wykonywania konstrukcji odpowiedzialnych [2], liczba takich aplikacji jest dość ograniczona, choć ma tendencję do wzrostu. Pojawiające się pozytywne doniesienia dotyczące aplikacji kruszyw węglanowych do betonów stosowanych w budowie konstrukcji „mostowych” skłoniły partnera niniejszego artykułu do wszczęcia badań obejmujących między innymi ocenę trwałości betonów zawierających wyselekcjonowane wapienne kruszywo grube, w stosunkowo wymagających warunkach środowiskowych, jak wilgoć, mróz oraz okresowy dostęp do środków odladzających.

Przygotowane kruszywo wapienne oraz kruszywo bazaltowe użyto do wykonania betonów z zastosowaniem dwóch rodzajów cementów: CEM I 42,5R oraz CEM III/A 42,5N LH/HSR/NA. Do betonów użyto również piasku kwarcowego stosowanego z powodzeniem w betonach „mostowych” i zestawu domieszek: superplastyfikator i kompatybilna domieszka napowietrzająca. Przyjęto, że wykonane betony będą spełniały co najmniej kryterium klasy wytrzymałości C30/37, i równocześnie zadbano, aby zawartość powietrza w mieszankach be-

I SUMMARY

Concretes with limestone aggregate extracted selectively from the Trzuskawica deposit in view of the criteria for „bridge concretes

The article addresses the assessment of the performance of two concretes manufactured on the basis of limestone aggregate produced at the Trzuskawica plant from a selectively extracted deposit, after the use of cements CEM I and CEM III/A.

Keywords: concrete, cement, CEM I, CEM III/A

Składniki betonu/cechy mieszanki betonowej	Udział składnika, kg/m³/wyniki badań właściwości mieszanek betonowych			
Oznaczenie serii betonów	KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
CEM I 42,5R	403	–	397	–
CEM III/A 42,5N	–	403	–	391
Woda	173	173	171	168
Superplastyfikator	0,6	1,6	1,0	2,5
Dom. napowietrzająca	0,4	0,8	0,8	0,8
Kruszywo 0/2 mm	633	633	566	557
Grys wapienny 2/8 mm	602	602	–	–
Grys wapienny 8/16 mm	474	474	–	–
Grys bazaltowy 2/8 mm	–	–	751	740
Grys bazaltowy 8/16 mm	–	–	553	545
Zawartość powietrza, %	6,0	5,6	6,5	7,0
Gęstość mieszanki betonowej, kg/m³	2286	2287	2440	2404
Klasa konsystencji (opad stożka po 10 min)	S3 (130 mm)	S3 (110 mm)	S3 (120 mm)	S3 (150 mm)
W/C	0,43	0,43	0,43	0,43

Tab. 1. Składy betonów wykonanych w oparciu o kruszywo wapienne Trzuskawica i betonów referencyjnych wykonanych w oparciu o kruszywo bazaltowe wraz z wynikami badań właściwości mieszanek betonowych

Badana cecha	Wyniki badań			
Oznaczenie serii betonów	KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, MPa	46,9 ± 2,6	55,4 ± 1,1	43,9 ± 2,9	56,1 ± 3,2
Nasiąkliwość po 28 dniach dojrzewania, %	5,85 ± 0,10	6,36 ± 0,11	5,86 ± 0,03	6,78 ± 0,16

Tab. 2. Wyniki badań podstawowych cech stwardniałych betonów po 28 dniach dojrzewania

tonowych mieściła się w kryteriach OST. Ilość cementu przyjęto na poziomie 400 kg/m^3, przy wskaźniku w/c = 0,43. Udział frakcji < 2 mm, ilość cementu oraz klasę konsystencji S3, dobrano w taki sposób, aby zapewnić pompowalność mieszanki betonowej. Krzywe uziarnienia kruszyw spełniały zalecenia OST.
Składy wykonanych betonów zaprezentowano w tab. 1. Przedstawiono w niej również wyniki badań podstawowych cech mieszanek betonowych.
Jak wynika z tab. 1, wykonane mieszanki betonowe poddano ocenie konsystencji (EN 12350-2), gęstości i zawartości powietrza (EN 12350-7) po 10 minutach od chwili zakończenia mieszania składników. Z mieszanek betonowych wykonano próbki do badań wytrzymałości na ściskanie (EN 12390-3) po 28 dniach dojrzewania, odporności na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środków odladzających (PKN-CEN/TS 12390-9) oraz mrozoodporności zwykłej w zakresie stopnia F200 (dla betonów wykonanych w oparciu o cement CEM I) i F150 (dla betonów wykonanych w oparciu o cement CEM III/A)
wg PN-B/88-06250. Betony po 28 dniach dojrzewania poddano również ocenie nasiąkliwości. Próbki do badań właściwości stwardniałych betonów przechowywano w wodzie. Ten sposób pielęgnacji zastosowano również w stosunku do próbek przeznaczonych do oceny odporności betonów na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie, w tym i w obecności środka odladzającego. Ze względów praktycznych badania trwałościowe rozpoczęto po dłuższym czasie twardnienia niż przewidują procedury normowe. Badania mrozoodporności betonów wykonanych z użyciem cementu CEM I metodą zwykłą rozpoczęto po 56 dniach pielęgnacji w wodzie, natomiast betonów wykonanych z zastosowaniem cementu CEM III/A rozpoczęto po 90 dniach dojrzewania. Badania odporności na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3-proc. roztworu NaCl rozpoczęto po 28 dniach dojrzewania w wodzie w przypadku betonów wykonanych z zastosowaniem cementu CEM I oraz po 56 dniach dojrzewania w przypadku użycia cementu CEM III/A.

Wyniki badań

Wyniki badań betonów w zakresie wytrzymałości na ściskanie i nasiąkliwości przedstawia tab. 2. Wyniki badań i oceny trwałości betonów, obejmujące ich odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środków odladzających oraz odporność po nasyceniu wodą na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie w zakresie stopnia F200 i F150 z uwzględnieniem rodzaju zastosowanego cementu, przedstawiono odpowiednio w tab. 3 i 4.
Przyjęty stosunek w/c oraz uzyskane stosunkowo wysokie wartości zawartości powietrza w wykonanych mieszankach betonowych spowodowały, że przy stosunkowo dużej zawartości cementu w przeliczeniu na 1 m^3 uzyskano niezbyt imponujący poziom wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, tj. klasę wytrzymałości

C30/37 w przypadku zastosowania cementu CEM I oraz klasę C35/45 lub C40/50 w przypadku zastosowania cementu hutniczego. Rodzaj kruszywa, wapienne lub bazalt, nie miał istotnego wpływu na wielkość wytrzymałości betonów na ściskanie. Należy jednak dodać, że poziom zawartości cementów pozwalał na uzyskanie mieszanek o stosunku wodno-cementowym znacznie niższym od 0,43, na co wskazuje niewielka ilość użytej domieszki superplastyfikatora. Stąd można wnioskować, że użyte kruszywo wapienne nie powinno przeszkadzać w otrzymywaniu betonów wyższej klasy również w przypadku użycia cementów rodzaju CEM I.
Niska nasiąkliwość użytego kruszywa wapiennego [3] spowodowała, że nasiąkliwości uzyskanych betonów, z wykorzystaniem danego rodzaju cementu, nie są większe niż betonów wykonanych na kruszywie bazaltowym. W grupie wykonanych betonów rodzaj cementu, przy jego porównywalnej ilości i stałym w/c powodują, że nasiąkliwości są mniejsze lub większe niż 6%. Istnieje jednak możliwość znacznego zmniejszenia tej wielkości poprzez zmniejszenie objętości zaczynu cementowego i/lub ograniczenie wielkości wskaźnika w/c.
Betony wykonane w oparciu o kruszywo wapienne i poddane ocenie cyklicznego zamrażania i rozmrażania w obecności 3-proc. roztworu wodnego NaCl, wykazały bardzo wysoką trwałość. Po 56 cyklach zamrażania i rozmrażania ubytki masy z powierzchni próbek betonowych były tak małe, że w przypadku betonu wykonanego z wykorzystaniem cementu CEM I można je traktować jak wyniki na granicy niepewności oznaczenia. Wynik taki uzyskano przede wszystkim dzięki właściwemu napowietrzeniu mieszanki betonowej. Nie byłby on jednak tak niski, gdyby nie potwierdzona bezpośrednimi badaniami [3] wysoka odporność kruszywa wapiennego zarówno na działanie mrozu, jak i krystalizację soli, oraz mrozoodporność „w soli". Złuszczony z powierzchni badanych próbek materiał złożony był jedynie z drobin zaczynu cementowego. Również tylko zaczyn cementowy podlegał złuszczeniu z powierzchni próbek betonowych ▶

Odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3-proc. roztworu NaCl		Wyniki badań			
		KB + CEM I	KB + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Masa złuszczonego materiału, kg/m^3	po 56 cyklach	0,014	0,246	0,021	0,193
Stopień ubytku	m_{56}/m_{28}	1,6 → < 2	1,8 → < 2	1,9 → < 2	2,1
Klasyfikacja	kategoria wg EN 13877-2	FT2	FT2	FT2	FT1

Tab. 3. Wyniki badań odporności betonów na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środków odladzających

wykonanych na cemencie hutniczym. Na betonie tym średnia wielkość złuszczeń była większa, jednak znacząco niższa od wielkości krytycznej – 1 kg/m3 po 56 cyklach. Omówione wyniki badań klasyfikują betony wykonane z wykorzystaniem kruszywa wapiennego do najwyższej kategorii trwałości w świetle normy EN 13877-2, tj. FT2, przewidzianej dla nawierzchni betonowych, choć oczywiście bez przewidywania aplikacji kruszywa w tym kierunku. Oczywiście nie wszystkie elementy konstrukcji mostowych są bezpośrednio narażone na oddziaływanie środków odladzających, i tym samym nie muszą spełniać kryteriów tej normy tak, jak nie narzuca ich OST GDDKiA. Uzyskane wyniki potwierdzają jednak wysoką trwałość kruszywa w betonach na jedno z bardziej destrukcyjnych zjawisk towarzyszących eksploatacji obiektów inżynierskich w kraju. Betony referencyjne, wykonane z zastosowaniem kruszywa bazaltowego, uzyskały bardzo zbliżone wyniki badań odporności na oddziaływanie środków odladzających. Również w ich przypadku zachowana została prawidłowość polegająca na znacznie mniejszej masie złuszczonego materiału w obecności środków odladzających w przypadku betonu wykonanego na cemencie portlandzkim.

Badania mrozoodporności betonów wykonanych na kruszywie wapiennym spełniają przewidywane dla nich kryteria stopnia mrozoodporności, tj. F200 w przypadku betonu wykonanego w oparciu o cement CEM I oraz F150 w przypadku betonu wykonanego na cemencie CEM III/A. Należy w tym miejscu przypomnieć, że badania wykonano na próbkach dojrzewających znacząco dłużej niż przewiduje procedura badawcza normy PN-B-06250, co pozwoliło przede wszystkim na uzyskanie przez te betony większej dojrzałości. Próbki betonu wykonanego w oparciu o kruszywo wapienne i cement CEM I, jak i cement CEM III/A wykazują również niewielki spadek masy. Oznacza to, że stopień wewnętrznych uszkodzeń spowodowany zamrażaniem i rozmrażaniem nie jest duży. Uzyskane wyniki wskazują zatem na spełnienie kryteriów trwałości w zakresie oczekiwanych klas ekspozycji przez betony wykonane w oparciu o przeznaczone do badań kruszywo wapienne z zakładu Trzuskawica. Należy dodać, że wyniki badań betonów wykonanych w oparciu o kruszywo bazaltowe są zbliżone i nie wykazują znaczących różnic w stosunku do wyników uzyskanych dla betonów na kruszywie wapiennym.

Podsumowanie

Wyniki badań betonów wykonanych z udziałem kruszywa grubego przygotowanego z selektywnie pozyskanego wapienia w zakładzie Trzuskawica mieszczą się w kryteriach OST GDDKiA dla „betonów mostowych". Równocześnie nie wykazały, aby właściwości betonów wykonanych z udziałem kruszywa wapiennego były mniej korzystane od właściwości betonów referencyjnych, wykonanych z udziałem kruszywa bazaltowego. ❑

Mrozoodporność betonu wg PN-B-06250		Wyniki badań			
		KW + CEM I	KB + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Wytrzymałość na ściskanie próbek po cyklach zamrażania i rozmrażania, MPa	200 cykli	56,0 ± 2,7	–	58,3 ± 2,0	–
	150 cykli	–	66,7 ± 0,9	–	66,3 ± 2,1
Wytrzymałość na ściskanie próbek świadków, MPa	200 cykli	58,4 ± 2,5	–	61,2 ± 0,1	–
	150 cykli	–	66,4 ± 5,0	–	66,3 ± 1,4
Średni spadek wytrzymałości próbek, %	ΔR	4,0	-0,6	4,8	0,0
Zmiana masy próbek poddanych cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu, %	ΔG	-0,14	-0,07	-0,09	-0,07
Wygląd próbek – obecność pęknięć	200 cykli	brak	–	brak	–
	150 cykli	–	brak	–	brak
Potwierdzony stopień mrozoodporności		F200	F150	F200	F150

Tab. 4. Wyniki badań odporności betonów na zamrażanie i rozmrażanie dla stopnia mrozoodporności F200 (betony na cemencie CEM I) i F150 (betony na cemencie CEM III/A)

Piśmiennictwo

1. GDDKiA: *Ogólne Specyfikacje Techniczne: Rozdział VIII: Obiekty inżynierskie, Dział 01: Główne elementy konstrukcyjne, 01.01: Beton konstrukcyjny*. 2011.
2. Górak P., Kołacz Z., Jarzębowski T.: *Alternatywne kruszywa do konstrukcji betonów mostowych*. Materiały Konferencyjne DNI BETONU, Kraków 2012.
3. Chełmecki D., Rembiś M., Łagosz A.: *Właściwości kruszywa otrzymanego z wapienia pobranego selektywnie ze złoża Trzuskawica*. „Magazyn Autostrady", 8-9/2018.
4. *PN-EN 12350-2:2011 Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.*
5. *PN-EN 12350-7:2011 Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe.*
6. *PN-EN 12390-3:2011 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.*
7. *PKN-CEN/TS 1239-9:2007 Testing hardened concrete. Part 9: Freeze-thaw resistance. Scaling.*
8. *PN-B/88-06250 Beton zwykły.*
9. *EN 13877-2:2007 Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych.*

W oparciu o najnowszą wiedzę i doświadczenie

ulepszamy technologie,

aby

niezmienna natura

służyła człowiekowi

Z właściwie przetworzonego kamienia wapiennego powstają:

Kruszywa do:
- podbudowy (niezwiązanej i związanej)
- mieszanek mineralno-asfaltowych
- betonów nawierzchniowych i konstrukcyjnych

Wapno palone do:
- uzdatniania i stabilizacji gruntów spoistych
- oczyszczania kruszyw z zanieczyszczeń gliniastych

Wypełniacze mieszane i wapno hydratyzowane do:
- produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych jako środek adhezyjny poprawiający również parametry jakościowe

Mleczko wapienne do:
- zabezpieczania warstwy sczepnej

Kruszywa węglanowe, oprócz jasnej barwy, niskiej nasiąkliwości oraz dużej mrozoodporności wykazują się doskonałym powinowactwem z asfaltem i spójnością z zaczynem cementowym, co przede wszystkim gwarantuje wysoką odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na koleinowanie i wysoką odporność mieszanki betonowej na korozję.

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
www.wapno-info.pl