

OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI TRZECH RODZAJÓW BETONU DROGOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD UŻYTEGO CEMENTU

Artur Jędrych, Jan Kempieński✉, Wojciech Kilian

Instytut Budownictwa, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24, 50-365 Wrocław

ABSTRAKT

W artykule opisano badania wpływu rodzaju cementu na wybrane właściwości betonu drogowego klasy C30/37. Wyniki badań poddano analizie. Użyto trzech różnych cementów: cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R, cementu portlandzkiego żuźlowego CEM II/B-S 32,5 R oraz cementu hutniczego CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Skład mieszanek betonowych ustalono doświadczalnie. Próbkę betonów do badań przygotowano w warunkach laboratoryjnych. Okres dojrzewania wynosił 28 dni dla betonów z cementem CEM I 42,5 R i CEM II/B-S 32,5 R oraz 56 dni dla betonu z cementem CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Próbkę poddano badaniom: wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, nasiąkliwości oraz mrozoodporności. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że każdy z badanych cementów nadaje się do użycia w betonie drogowym. Wszystkie badane betony spełniły wymagania stawiane w Ogólnej Specyfikacji Technicznej GDDKiA [2014]. W większości badań najwyższe wartości badanych cech osiągnięto dla betonu na cemencie hutniczym CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA.

Słowa kluczowe: beton drogowy, wytrzymałość, napowietrzanie, mrozoodporność, drogi betonowe

WSTĘP

W ostatnich latach znacząco wzrosła liczba autostrad i dróg ekspresowych wykonywanych w technologii betonu nawierzchniowego. Tradycyjne nawierzchnie bitumiczne cechują się mniejszą trwałością, wynikającą ze znacznego obciążenia użytkowego, uwarunkowań termicznych oraz środków chemicznych stosowanych dla zapewnienia prawidłowej eksploatacji w warunkach zimowych. Nawierzchnia betonowa jest nawierzchnią sztywną, nie doznająca odkształceń plastycznych w warunkach wysokich temperatur, charakteryzującą się wysoką trwałością. Dobrze zaprojektowana, prawidłowo wykonana i właściwie pielęgnowana betonowa nawierzchnia drogowa zachowuje normowe parametry użytkowe w okresie nawet do 50 lat. Umożliwia przenoszenie znacznych obciążeń bez obawy o deforma-

cję nawierzchni, szczególnie w warunkach wysokich temperatur w okresie letnim, zmniejsza możliwość nagrzewania nawierzchni, co pozytywnie wpływa na mikroklimat terenów zurbanizowanych, pozwala na uzyskanie dużej szorstkości nawierzchni, zwiększając właściwości antypoślizgowe, tak ważne dla zapewnienia bezpieczeństwa ruchu drogowego [Szydło 2005]. W niektórych krajach Europy ponad 70% nawierzchni drogowych zrealizowanych jest na bazie betonu nawierzchniowego [Szydło 2005]. W Polsce budowa dróg w tej technologii szybko się rozwija ze względu na jej liczne zalety. Dotyczy to zarówno głównych arterii krajowych, jak też dróg o znaczeniu lokalnym [Nowoczesne lokalne drogi... 2000].

Koszty realizacji nawierzchni drogowej w wersji betonu nawierzchniowego przekraczają koszty realizacji nawierzchni tradycyjnej, bitumicznej. Jeżeli jed-

✉ e-mail: jan.kempinski@upwr.edu.pl

nak ocenimy całościowy koszt wykonawstwa, eksploatacji i utrzymania trwałości wykonanej inwestycji, to rachunek ekonomiczny przemawia zdecydowanie na korzyść betonu drogowego. Droga z nawierzchnią betonową nie wymaga przez wiele lat żadnych zabiegów konserwacyjnych, a w warunkach zimowych można stosować preparaty odladzające na bazie chlorków, po spełnieniu wymagań związanych z istniejącą klasą ekspozycji [Beton... 2001].

Jedną z podstawowych decyzji, podejmowanych podczas opracowywania technologii wykonywania nawierzchni z betonu cementowego, a dotyczących składu mieszanki, jest dobór cementu o optymalnych właściwościach dla konkretnego zamierzenia inwestycyjnego. Wybór cementu powinien uwzględniać szczegółowe ograniczenia i kryteria związane z lokalizacją, technologią robót, materiałami, warunkami klimatycznymi i sposobem eksploatacji projektowanego obiektu. W aktualnej technologii wykonywania nawierzchni z betonu cementowego, nieodzownymi składnikami mieszanki betonowej są plastyfikatory i domieszki napowietrzające. Dobór cementu powinien uwzględniać aspekty związane z jego kompatybilnością chemiczną względem tych domieszek. Należy uwzględnić także ewentualny specyficzny rodzaj ekspozycji na czynniki agresywne. Dotyczy to w szczególności obiektów związanych z działalnością przemysłową, jak np. wydobywanie i przetwarzanie surowców naturalnych. Kolejnym czynnikiem wpływającym na decyzję o zastosowaniu określonego cementu może być ryzyko związane z użyciem do budowy nawierzchni drogowych kruszyw podatnych na reakcję z alkaliowymi zawartymi w cemencie. Stąd płynie zalecenie, by stosować cementy o obniżonej zawartości alkaliów lub, zamiennie, kruszywa o zerowej podatności na korozję. Dopuszczono również stosowanie do konstrukcji typowych nawierzchni drogowych cementów innych niż CEM I, w tym między innymi cementu CEM II/B-S 32,5 R oraz CEM III/A 42,5 N [Trybalski 2012, Katalog... 2014], zmniejszając wagę doboru cementu o wysokiej wytrzymałości na rzecz spełnienia odpowiednich wymagań przez dojrzały beton.

Możliwość stosowania do konstrukcji nawierzchni drogowych cementów rodzaju innego niż CEM I jest korzystna także ze względów środowiskowych. Produkcja klinkieru cementowego jest jednym z poważniejszych źródeł emisji CO₂ we współczesnym świecie,

konsumuje także znaczne ilości energii. Cementy rodzaju CEM II i CEM III są pod tym względem bardziej przyjazne dla środowiska, gdyż od 20 aż do 95% klinkieru portlandzkiego zastąpiono nieklinkierowymi składnikami głównymi. W przypadku badanych cementów jest to granulowany żużel wielkopiecowy, stanowiący produkt uboczny przemysłu metalurgicznego, lecz stosuje się także inne dodatki, jak popioły lotne, pył krzemionkowy i inne [PN-EN 197-1]. Zmniejszenie środowiskowych kosztów produkcji cementu jest jednym z priorytetów jego producentów już od lat, lecz w obliczu rozwoju obszarów miejskich na całym świecie i globalnych zmian klimatycznych znaczenie tego zagadnienia stale rośnie [Ondova i in. 2013].

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie równorzędnych właściwości betonu drogowego wykonanego z trzech różnych cementów i porównawcza ocena wybranych właściwości betonu drogowego cementowego, w zależności od rodzaju cementu użytego do produkcji mieszanki betonowej. Do przeprowadzenia analizy wpływu rodzaju cementu na parametry betonów drogowych użyto trzech rodzajów cementu: CEM I 42,5 R, CEM II/B-S 32,5 R, CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Cementy różniły się od siebie między innymi: składem, stopniem zmielenia, wytrzymałością, ciepłem hydratacji oraz czasem wiązania. W szerszym ujęciu, produkcja cementów CEM II i CEM III powoduje mniejszy negatywny wpływ na środowisko. Wynika to z udziału ubocznych produktów spalania (popioły lotne) i ubocznych produktów przemysłu metalurgicznego (żużel wielkopiecowy) w składzie tych cementów, w odróżnieniu od czysto klinkierowych cementów z grupy CEM I. Jest to istotny czynnik, przemawiający za ich stosowaniem w budownictwie drogowym, zużywającym ogromne objętości betonu. Zamierzano także wykazać przydatność cementu CEM II/B-S 32,5 R do konstrukcji nawierzchni drogowych, mimo jego nominalnie niższych właściwości wytrzymałościowych. Zakres badań obejmował określenie wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu i rozłupywaniu, nasiąkliwości i mrozoodporności po 28 dniach dojrzewania w przypadku betonów z cementem CEM I 42,5 R i CEM II/B-S 32,5 R oraz po 56 dniach dojrzewania w przypadku betonu z cementem CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA.

CHARAKTERYSTYKA ZASTOSOWANYCH MATERIAŁÓW

W badaniach zastosowano trzy rodzaje cementu. CEM I 42,5 R to cement portlandzki o wysokiej wytrzymałości wczesnej, bez dodatków, w którego skład wchodzi tylko klinkier w ilości 95% i regulator wiązania. Cement ten charakteryzuje się wysokim ciepłem hydratacji oraz szybkim przyrostem wytrzymałości. CEM II/B-S 32,5 R to cement portlandzki żuźlowy o wysokiej wytrzymałości wczesnej. W jego skład wchodzi klinkier w ilości 65–79% oraz granulowany żużel wielkopiecowy w ilości 21–35%. CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA to cement hutniczy. Zawiera od 35% do 64% klinkieru i 36–65% żużla wielkopiecowego. Cement ten charakteryzuje się powolnym narastaniem wytrzymałości. Cechuje go niskie ciepło hydratacji, poniżej $270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Jest on cementem powszechnego użytku, odpornym na siarczany i o niskiej zawartości alkaliów.

W celu określenia właściwości użytych cementów i porównania ich z wymaganiami normowymi, przygotowano zaprawy o normowym składzie i zbadano ich wytrzymałość na ściskanie zgodnie z normą PN-EN 196-1. Wyniki badania wytrzymałości tych zapraw cementowych po 2 i po 28 dniach zestawiono w tabeli 1. Zbadano również wodoządnosc i czas wiązania użytych cementów. Wyniki tych oznaczeń zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1. Wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych

Table 1. Standard compressive strength of cement mortars

Rodzaj cementu	Wytrzymałość na ściskanie, MPa	
	po 2 dniach	po 28 dniach
CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA	15,03	54,53
CEM II/B-S 32,5 R	15,83	48,72
CEM I 42,5 R	27,28	52,4

We wszystkich recepturach zastosowano kruszywa spełniające wymagania stawiane przez Ogólną Specyfikację Techniczną [2014]: piasek naturalny płukany 0/2, grys granitowy 2/8 i 8/16. Użyte domieszki chemiczne to plastyfikator Mapeplast BV34 oraz domieszka napowietrzająca Mapeair AE20.

Tabela 2. Czas początku i końca wiązania badanych cementów

Table 2. Water demand and setting time of standard cement paste prepared of the tested cements

Rodzaj cementu	Wodoządnosc	Czas wiązania, min	
		początek	koniec
CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA	0,287	225	330
CEM II/B-S 32,5 R	0,286	235	345
CEM I 42,5 R	0,272	185	300

METODYKA BADAŃ

Ocenę przydatności cementów przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 196-1. Wszystkie próbki zostały przygotowane zgodnie z normą PN-EN 12390-2. Określenie parametrów wytrzymałościowych betonu nawierzchniowego wykonano w oparciu o badania wytrzymałościowe na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu. Badania na ściskanie wykonano zgodnie z normą PN-EN 206-1, PN-EN 12390-3 dla kostek sześciennych o wymiarach $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$, oraz na rozciąganie przy zginaniu zgodnie z normą PN-EN 12390-5, na belkach o wymiarach $15 \times 15 \times 70 \text{ cm}$. Dojrzałe próbki betonów na rozciąganie przy rozłupywaniu badano zgodnie z PN-EN 12390-6. Badanie nasiąkliwości betonu wykonano według normy PN-B-06250:1988. Mrozoodporność badano według PN-B-06250:1988 na próbkach sześciennych o boku 100 mm po 28 dniach dojrzewania dla betonów z cementem CEM I 42,5 R i CEM II/B-S 32,5 R oraz po 56 dniach dojrzewania dla betonu z cementem CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Liczebność prób wynosiła 3 sztuki dla każdej serii w badaniach wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu i przy rozłupywaniu oraz w badaniu nasiąkliwości. Liczebność serii w badaniu mrozoodporności wynosiła 12 sztuk, z czego 6 próbek poddano zamrażaniu, a 6 stanowiły próbki porównawcze. Podane liczebności serii były takie same dla każdego z badanych betonów. Na podstawie wyników uzyskanych dla poszczególnych próbek w seriach obliczono wartości średnie dla serii. Wszystkie wartości zamieszczone w tabelach i wykresach w niniejszym artykule odnoszą się do wartości średnich uzyskanych dla poszczególnych serii.

RECEPTY BETONU DROGOWEGO

Założono następujące kryteria dla zaprojektowania składu badanych betonów: klasa wytrzymałości C30/37, konsystencja S1, technologia układania mieszanki betonowej za pomocą rozścielacza, kategoria ruchu KR5÷KR7. Przewidziano użycie trzech rodzajów cementu: CEM I 42,5 R, CEM II/B-S 32,5 R, CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Skład mieszanki betonowej spełniającej założone kryteria ustalono metodą znanego zaczynu [Jamroży 2015] dla każdego z cementów. Składy te przedstawiono w tabeli 3. Następnie wykonano zaroby mieszanek betonu nawierzchniowego według poszczególnych receptur. Z zarobów tych pobierano odpowiednie ilości mieszanki i wykonywano próbki rodzaju i w ilości zgodnej z przyjętą metodyką badań.

Ze względu na to, że cement CEM II/B-S 32,5 R jest klasy 32,5, a pozostałe cementy są klasy 42,5, dokonano w recepcie mieszanki betonowej z cementem CEM II/B-S 32,5 R korekty zwiększającej procentowy udział cementu, zmniejszając odpowiednio ilości pozostałych składników. Właściwości mieszanek poszczególnych betonów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Skład mieszanki betonowej dla poszczególnych rodzajów cementu

Table 3. Recipes of concrete mixes prepared of the tested cements

Rodzaj cementu	CEM I 42,5R	CEM II/B-S 32,5R	CEM III/A 42,5N LH/HSR/NA
Składnik	Ilość kg · m ⁻³	Ilość kg · m ⁻³	Ilość kg · m ⁻³
Piasek 0/2	580	570	580
Grys granitowy 2/8	465	460	465
Grys granitowy 8/16	780	780	780
Cement	380	400	380
Woda	140	145	140
Plastyfikator	1,52	1,6	1,52
Napowietrzacz	0,95	1,0	1,90

Tabela 4. Właściwości mieszanki betonowej dla poszczególnych rodzajów cementu

Table 4. Chosen properties of the prepared concrete mixes

Rodzaj cementu	CEM I 42,5R	CEM II/B-S 32,5R	CEM III/A 42,5N LH/HSR/NA
Wskaźnik w/c, –	0,37	0,36	0,37
Punkt piaskowy, %	32,9	32,6	32,9
Objętość zaprawy dm ³ · m ⁻³	483	492	483
Gęstość mieszanki kg · m ⁻³	2347	2358	2347
Zawartość powietrza %	4,7	4,6	4,7

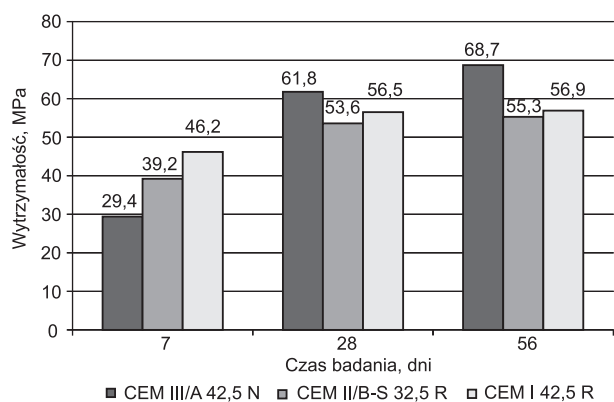
BADANIA BETONU NAWIERZCHNIOWEGO

W celu określenia właściwości zaprojektowanych betonów nawierzchniowych przeprowadzono badanie: wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, nasiąkliwości i mrozoodporności.

Badanie wytrzymałości na ściskanie

Mieszanki betonowe o składzie jak w tab. 3, dla odpowiedniego rodzaju cementu, przygotowywano w mieszalce laboratoryjnej. Następnie mieszankę układano w formach stalowych o odpowiednich dla danego oznaczenia rozmiarze i kształcie, po czym zagęszczano na stole wibracyjnym. Po 24 godzinach dojrzewania w formach próbki rozformowywano i pielęgnowano w wodzie w temperaturze 20°C do chwili badania. Wytrzymałość próbek na ściskanie zbadano po 7, 28 i 56 dniach. Wyniki tych badań przedstawiono na ryc. 1.

Najwyższą wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach osiągnęły próbki betonu na cemencie hutniczym CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Wyniosła ona 61,8 MPa. Po 56 dniach dojrzewania próbek, wartość średnia wytrzymałości na ściskanie podniosła się już do 68,7 MPa. Dla betonu na cemencie CEM II/B-S 32,5 R średnia po 28 dniach wyniosła 53,6 MPa, zaś dla CEM I 42,5 R 56,5 MPa. Jednak po pierwszym tygodniu dojrzewania wytrzymałość cementu hutniczego była najniższa i wynosiła 29,4 MPa, w porównaniu do wartości 46,2 MPa dla cementu CEM I 42,5 R i 39,2 MPa dla cementu CEM II/B-S 32,5 R.



Ryc. 1. Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu drogowego C30/37 dla trzech rodzajów cementu

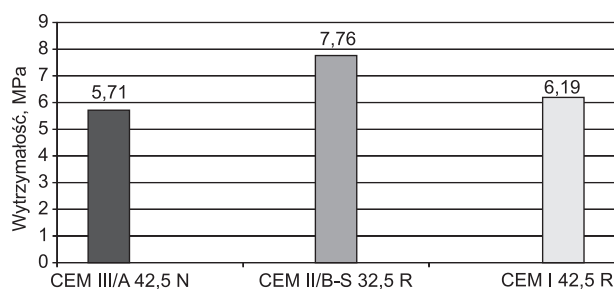
Fig. 1. Medium compressive strength of the C30/37 road concrete for the tested cements

Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu

Ze względu na charakter pracy nawierzchni betonowej, przy ocenie właściwości betonu ważnym parametrem jest wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu przedstawiono na ryc. 2. Najwyższą wytrzymałość osiągnięto dla betonu na cemencie CEM II/B-S 32,5R, po 28 dniach wyniosła ona 7,76 MPa. Najniższy wynik uzyskano w badaniu betonu na cemencie CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA po 56 dniach dojrzewania, było to 5,71 MPa. Beton z cementem CEM I 42,5 R wykazał wytrzymałość wynoszącą 6,19 MPa, po 28 dniach.

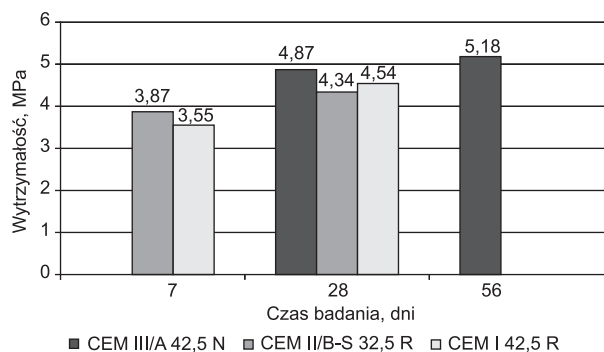
Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu jest alternatywnym sposobem określenia tej cechy betonu. Badanie to wykonano według normy PN-EN 12390-6 na próbkach walcowych o wymiarach $d \times h = 150 \times 300$ mm po 7 i 28 dniach dla cementów CEM I 42,5 R i CEM II/B-S 32,5 R oraz po 28 i 56 dniach dla cementu CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Najwyższą wytrzymałość uzyskano dla betonu na cemencie CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA, po 28 dniach wyniosła ona 4,87 MPa, a po 56 dniach 5,18 MPa. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu dla pozostałych cementów badano po 28 dniach. Wyniosła ona 4,54 MPa dla cementu CEM



Ryc. 2. Średnia wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu betonu drogowego C30/37, po 28 dniach dla cementu CEM I 42,5 R i CEM II/B-S 32,5 R i po 56 dniach dla cementu CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA

Fig. 2. Medium tensile strength of the C30/37 road concrete, after 28 days for the CEM I 42,5 R cement and CEM II/B-S 32,5 R cement, after 56 days for the CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA cement



Ryc. 3. Średnia wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu drogowego C30/37

Fig. 3. Medium split tensile strength of the C30/37 road concrete

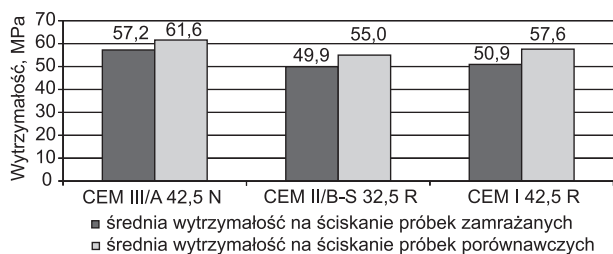
I 42,5 R i 4,34 dla cementu CEM II/B-S 32,5 R. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu przedstawiono na ryc. 3.

Badanie nasiąkliwości

Badanie nasiąkliwości betonu wykonano według normy PN-B-06250:1988. Nasiąkliwość badano po 28 dniach dojrzewania. Beton wykonany z udziałem cementu CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA wykazał się najniższą nasiąkliwością. Wyniosła ona 2,37%. Dla betonu z cementem CEM II/B-S 32,5 R nasiąkliwość wyniosła 2,87%, a dla betonu z cementem CEM I 42,5 R 2,88%.

Badanie mrozoodporności

W zależności od przeznaczenia, beton nawierzchniowy musi posiadać stopień mrozoodporności F150 lub F200. W opisywanych badaniach przeprowadzono 200 cykli zamrażania i rozmrażania, testując badane betony na osiągnięcie stopnia mrozoodporności F200. Badanie wykonano w zautomatyzowanej komorze do badania mrozoodporności. Mrozoodporność badano zgodnie z PN-B-06250:1988 na próbkach sześciennych o boku 100 mm po 28 dniach dojrzewania dla betonów z cementem CEM I 42,5 R i CEM II/B-S 32,5 R oraz po 56 dniach dojrzewania dla betonu z cementem CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Wyniki badania mrozoodporności przedstawiono na ryc. 4.



Ryc. 4. Wytrzymałość na ściskanie próbek betonu drogowego C30/37 po badaniu mrozoodporności

Fig. 4. Comparison of primary and final compressive strength after 200 freeze-thaw cycles of the C30/37 road concrete for the tested cements

Test cyklicznego zamrażania i rozmrażania najlepiej zniósł beton z cementem hutniczym CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Średni ubytek masy próbki po badaniu wyniósł 0,3%. Średni spadek wytrzymałości po badaniu wyniósł 7,1%. Dla betonu z cementem CEM II/B-S 32,5 R ubytek masy wyniósł 0,2%, a spadek wytrzymałości 9,4%. Najwyższy spadek wytrzymałości stwierdzono dla betonu z cementem CEM I 42,5 R, wyniósł on 11,6%, a ubytek masy próbek wyniósł 0,3%.

WNIOSKI KOŃCOWE

Właściwości betonów wykonanych z użyciem poszczególnych rodzajów cementu są bardzo zbliżone.

Korzystnie wyróżnia się cement CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA, osiągając najwyższą wytrzymałość na ściskanie równą 68,7 MPa po 56 dniach dojrzewania,

najniższą nasiąkliwość równą 2,37% i najmniejszy spadek wytrzymałości po 200. cyklach zamrażania, wynoszący tylko 7,1%.

Badane betony spełniły z zapasem wymagania odporności betonu na działanie mrozu w zakresie stopnia mrozoodporności F200. Gwarantuje to długoletnią trwałość nawierzchni.

Zarówno spadek wytrzymałości, jak i ubytek masy badanych betonów były znacznie niższe niż maksymalne wartości wymagane według Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych [2014], wynoszące odpowiednio 20% i 5%.

Wszystkie badane betony charakteryzują się nasiąkliwością znacznie poniżej wymaganej przez Katalog... [2014] wartości 5%.

PODSUMOWANIE

Rezultaty uzyskane podczas badań potwierdzają, że beton drogowy wyprodukowany w oparciu o każdą z receptur, a więc dla każdego z trzech zastosowanych rodzajów cementu, spełnia wszystkie wymagania stawiane przez odnośne akty normatywne i specyfikacje techniczne. Przy spełnieniu wymagań technologicznych i przy zastosowaniu właściwej pielęgnacji nawierzchnia betonowa wykonana z użyciem każdego z trzech rodzajów cementu będzie trwała.

W zastosowaniach praktycznych podczas doboru cementu należy uwzględnić szereg czynników, jak rodzaj wykonywanej konstrukcji drogowej, przewidywane obciążenie ruchem, czas oddania do eksploatacji, obecność niestandardowych zagrożeń chemicznych. Mimo bardzo dobrych właściwości betonów wykonywanych przy użyciu cementów rodzaju CEM III, ograniczeniem w ich stosowaniu może być dłuższy okres potrzebny do uzyskania projektowanej wytrzymałości. Zaletą cementów hutniczych jest ich niskie ciepło hydratacji, które zmniejsza ryzyko występowania zarysowań skurczowych, zwłaszcza w okresach podwyższonych temperatur.

LITERATURA

- Beton w inżynierii komunikacyjnej (2001). Materiały sympozjum naukowo-technicznego, Poznań.
- Czarnecki, L. (2004). Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Praca zbiorowa. Polski Cement, Kraków.

- Jamroży, Z. (2015). *Beton i jego technologie*, PWN, Warszawa.
- Jędrych, A. (2015). *Analiza wpływu rodzaju cementu na wybrane parametry betonów drogowych*. Praca dyplomowa. Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław.
- Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych (2014). GDDKiA, Warszawa.
- Nowoczesne lokalne drogi betonowe (2000). *Materiały sympozjum naukowo-technicznego, Góraźdże 2000*.
- Ogólna Specyfikacja Techniczna (2014). Rozdział III, Dział 06. Nawierzchnia z betonu cementowego. GDDKiA, Warszawa.
- Ondova, M., Stevulova, N., Meciarova, L. (2013). The potential of higher share of fly ash as cement replacement in the concrete pavement. *Procedia Engineering*, 65, 45–50.
- PN-EN 196-1. *Metody badania cementu*
- PN-EN 197-1. *Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*
- PN-EN 206-1. *Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
- PN-EN 12390-2, 3, 5, 6. *Badania betonu*
- PN-B-06250:1988. *Beton zwykły*
- Szydło, A. (2005). *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*. Wydawnictwo Polski Cement, Kraków.
- Trybalski, P. (2012). *Zastosowanie cementu powszechnego użytku w betonach nawierzchniowych – wymagania formalne i wyniki badań*. Materiały konferencyjne, Dni Betonu.

ASSESSMENT OF CHOSEN PROPERTIES OF THREE KINDS OF ROAD CONCRETE, DEPENDING ON USED CEMENT

ABSTRACT

The paper refers to laboratory tests of effects of various kinds of cement on chosen properties of C30/37 road concrete. Three kinds of cement were used: ordinary Portland cement CEM I 42,5 R, fly ash-Portland mixed cement CEM II/B-S 32,5 R and slag cement CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA. Recipes of the concrete mixes were designed and evaluated experimentally. Test samples were prepared in laboratory conditions. The samples were matured for 28 days in case of concrete made of CEM I 42,5 R and CEM II/B-S 32,5 R cements and for 56 days in case of concrete prepared of CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA cement. The matured samples were tested for: compressive strength, tensile strength in bonding and split test, water absorption and freeze-thaw resistance. After final analysis it was found that each of concretes meets the requirements for road concrete listed at the GDDKiA technical specification [Ogólna Specyfikacja Techniczna... 2014]. In most tests the CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA cement performed best.

Key words: road concrete, strength, concrete air entrainment, freeze-thaw resistance