

czonego materiału z powierzchni próbek betonów zawierających 0,38% włókien po 100 cyklach osiągnęła 1,38 kg/m².

Podsumowanie

Badane betony, charakteryzujące się porównywalnymi cechami fizycznymi, wykazały różną odporność na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie. Rozproszenie zbrojenia w betonie spowodowało znaczne ograniczenie masy złuszczonego materiału, przy czym drobne, proste włókna (A), których było liczbowo więcej w jednostce objętości materiału, a tym samym i w warstwie przypowierzchniowej, wykazały większą efektywność niż dłuższe, z haczykowatymi zakończeniami (B). Biorąc pod uwagę sposób niszczenia powierzchni betonu pod wpływem mrozu, włókna stalowe mogą odgrywać rolę blokującą w proce-

sie powstawania i rozprzestrzeniania się mikrorys. Przejmują one część naprężeń rozciągających powstających lokalnie w warunkach cyklicznych zmian temperatury, ograniczając w ten sposób pękanie i powstawanie mikrorys, przyczyniają się do zachowania zwartej mikrostruktury, co ma bezpośrednie przełożenie na odporność na powierzchniowe łuszczenie.

Literatura

- [1] Kamiński M., Bywalski Cz., Kaźmierowski M.: Nośność na ścinanie belek wykonanych z fibrobetonu, *Materiały Budowlane*, 6/2014, 76 – 77.
 [2] Glinicki M.: Beton ze zbrojeniem strukturalnym. XXV Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji, Szczyrk, 10-13 marca 2010, 279 – 308.
 [3] Cantin R., Pigeon M.: Deicer salt scaling resistance of steel-fibre-reinforced concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 26, 1996, 1639 – 1648.

ment and Concrete Research, vol. 26, 1996, 1639 – 1648.

[4] Sun W., Zhang Y. M., Yan H. D., Mu R.: Damage and damage resistance of high strength concrete under the action of load and freeze-thaw cycles, *Cement and Concrete Research*, vol. 29, 1999, 1519 – 1523.

[5] Niu D., Jiang L., Bai M., Miao Y.: Study of the performance of steel fiber reinforced concrete to water and salt freezing condition, *Materials and Design*, vol. 44, 2013, 267 – 273.

[6] Quanbing Y., Beirong Z.: Effect of steel fiber on the deicer-scaling resistance of concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, 2005, 2360 – 2363.

[7] Kosior-Kazberuk M.: Ocena degradacji betonu konstrukcyjnego poddanego procesom niszczenia mrozowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok, 2013.

[8] PKN-CEN/TS 12390-9: 2007 Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling.

Otrzymano 17.01.2015 r.

dr inż. Magdalena Dobiszewska¹⁾

Beton z dodatkiem mineralnego pyłu odpadowego

Structural concrete with additive of the mineral dust

DOI: 10.15199/33.2015.05.24

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. Podczas produkcji mas mineralno-asfaltowych (tzw. asfaltu drogowego) powstają znaczne ilości pyłu mineralnego o uziarnieniu poniżej 0,05 mm. Pył ten gromadzony jest w specjalnych silosach i traktowany jako odpad. Wykorzystuje się go głównie jako warstwę sanitarną na wysypiskach odpadów komunalnych. Postanowiono zastosować ten materiał mineralny jako dodatek do produkcji betonów konstrukcyjnych. Dokładnie przebadano odpadowy pył mineralny i wykonano pilotażowe badania betonu z jego dodatkiem. Uzyskano nadzwyczaj dobre wyniki.

Słowa kluczowe: dodatki mineralne, zagospodarowanie odpadów, beton konstrukcyjny.

Abstract. During the production of bitumen-aggregate mixture significant amounts of mineral dust with grain size below 0,05 mm are produced. The dust is stored in special silos and treated as waste. It is used mainly as a sanitary additive at municipal waste landfills. The "pure" mineral material has been decided to be used as an additive during the production of structural concrete. Particularly, the mineral dust has been tested thoroughly. The results of the first pilot study of concrete with dust additive have been very positive.

Keywords: mineral additives, waste management, structural concrete.

Badaniom poddano beton z dodatkiem pyłu mineralnego, który jest odpadem w procesie produkcji mas mineralno-bitumicznych. Pyły te powstają z twardych kruszyw mineralnych i dlatego ich właściwości są zbliżone do kruszywa mineralnego. Najmniejsze zarejestrowane cząstki pyłów mają średnicę 0,172 μm. Powierzchnia właściwa pyłów mineralnych wynosi 14816 ÷ 18569 cm²/cm³. Pył pełni rolę mikrowypełniacza w betonie i może być

traktowany jako dodatek typu inertnego. Celem badań było ustalenie wpływu dodatku pyłu mineralnego na właściwości mieszanki betonowej i betonu.

Wpływ pyłu odpadowego na parametry mieszanki betonowej i stwardniałego betonu

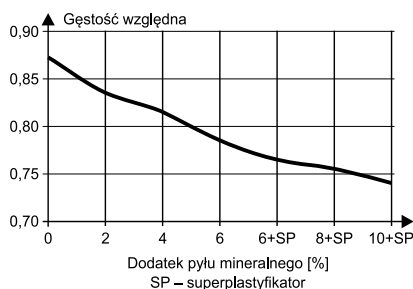
Do mieszanki kruszywa mineralnego o frakcjach 0/16 mm dodano wypełniacz w postaci pyłu odpadowego, który zastępował część kruszywa. Badania miały na celu określenie wpływu dodatku pyłu na podstawowe właściwości mieszanki betonowej, tj. konsystencję, zawartość powietrza i zdolność do zagęszczania

betonu oraz wytrzymałość na ściskanie i przepuszczalność. Założono, że konsystencja mieszanki betonowej nie będzie się zmieniać. W związku z tym dodawano superplastyfikator w przypadku zmiany konsystencji po wprowadzeniu pyłu. Wiele cech betonu determinowanych jest właściwościami mieszanki betonowej. Wytrzymałość betonu o określonej recepturze zależy od stopnia zagęszczenia mieszanki betonowej. Zdolność do zagęszczania mieszanki betonowej w dużym stopniu wpływa na jej urabialność. Podatność na zagęszczanie można określić jako zmniejszenie objętości porów powietrznych

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska; e-mail: magdalena.dobiszewska@utp.edu.pl

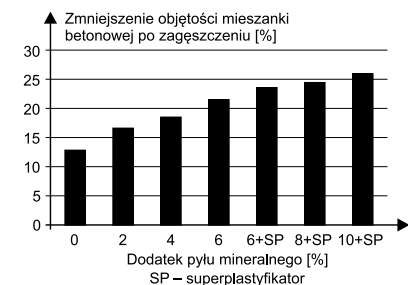
w mieszance pod wpływem jej zagęszczenia, które można wyrazić jako stosunek rzeczywistej gęstości mieszanki betonowej do gęstości mieszanki całkowicie zagęszczonej. Stosunek ten określa się mianem gęstości względnej. Im mniejsza jest względna gęstość mieszanki betonowej, tym lepiej jest ona zagęszczona, a tym samym jest większa wytrzymałość betonu na ściskanie [1]. Na podstawie badań ustalono, że w miarę dodawania pyłu odpadowego do mieszanki betonowej wzrasta jej zdolność do zagęszczania. Gęstość względna mieszanki betonowej maleje wraz ze wzrostem zawartości pyłu odpadowego (rysunek 1). Objętość mieszanki bez dodatku pyłu zmniejszyła się po zagęszczeniu o niespełna 13%. Natomiast w przypadku mieszanki, w której 10% masy kruszywa zastąpiono odpadowym pyłem mineralnym, objętość po zagęszczeniu zmniejszyła się o 26% (rysunek 2).

Na wytrzymałość betonu wpływa m.in. objętość wszystkich pustek w betonie, tj. porów powietrznych i kapilarnych oraz powietrza związanego z napowietrzeniem mieszanki betonowej [1 ÷ 3]. Dodatek odpadowego pyłu mineralnego obniża zawartość powietrza w mieszan-



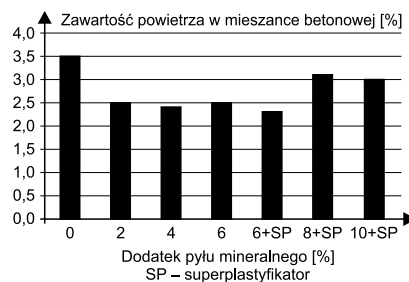
Rys. 1. Zależność gęstości względnej mieszanki betonowej od zawartości pyłu mineralnego

Fig. 1. Relative density of concrete mix in relation to mineral dust content



Rys. 2. Zależność objętości zagęszczonej mieszanki betonowej od zawartości pyłu mineralnego

Fig. 2. Volume of compacted concrete mix in relation to mineral dust content

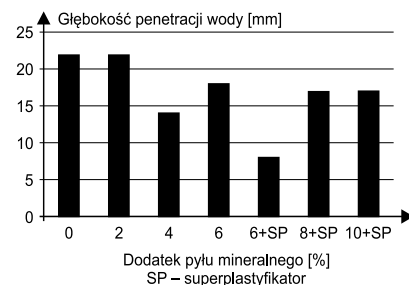


Rys. 3. Zależność zawartości powietrza w zagęszczonej mieszance betonowej od ilości dodanego pyłu mineralnego

Fig. 3. Air content in compacted concrete mix in relation to mineral dust content

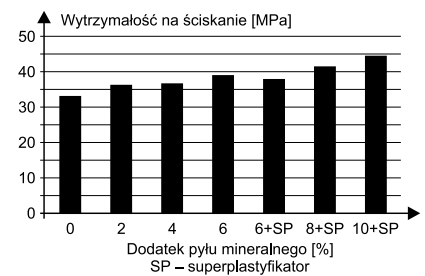
ce betonowej, a tym samym zmniejsza ilość porów w betonie (rysunek 3). Sytuacja ta jest bardzo korzystna, gdyż zmniejszenie porowatości betonu wpływa niewątpliwie na wzrost wytrzymałości na ściskanie oraz szczelność betonu, a w konsekwencji na jego trwałość [1, 3].

Badano wpływ pyłu odpadowego na przepuszczalność betonu oraz jego wytrzymałość na ściskanie. Przepuszczalność betonu oceniono na podstawie pomiaru głębokości penetracji wody pod ciśnieniem. Badania wykazały, że dodatek odpadowego pyłu mineralnego pozytywnie wpływa na przepuszczalność betonu. W przypadku betonu bez dodatku pyłu głębokość penetracji wody wyniosła średnio 22 mm. Najmniejszą głębokość penetracji wody, tj. 8 mm, uzyskano w przypadku betonu wykonanego z dodatkiem pyłu odpadowego w ilości 6% masy kruszywa i superplastyfikatora w ilości 0,3% masy cementu (rysunek 4). Badania wykazały, że dodatek pyłu mineralnego wpłynął na zwiększenie wytrzymałości betonu na ściskanie (rysunek 5). Już przy zamianie 2% masy całkowitego kruszywa na pył odpadowy, wytrzymałość betonu wzrosła o ok. 10% (3,2 MPa), w przypadku ok. 6% dodatku pyłu o 18,6%, a przy tej



Rys. 4. Zależność głębokości penetracji wody w betonie od zawartości pyłu mineralnego

Fig. 4. Water penetration depth in relation to mineral dust content



Rys. 5. Zależność wytrzymałości betonu na ściskanie od zawartości pyłu mineralnego

Fig. 5. Compressive strength concrete in relation to mineral dust content

samej ilości pyłu i zastosowaniu superplastyfikatora odnotowano wzrost wytrzymałości o 15,5%.

Podsumowanie

Odpadowy pył mineralny charakteryzuje się bardzo drobnym uziarnieniem o miąższości zbliżonej do cementu i korzystnie wpływa na niektóre właściwości mieszanki betonowej oraz betonu. Dodanie do kruszywa pyłu poprawia jamistość kruszywa, a mieszanka betonowa ma lepszą urabialność. Dodatek pyłu mineralnego poprawia również szczelność stosu okruszowego, co w konsekwencji pozwala na otrzymanie szczelniejszej mieszanki betonowej i ostatecznie betonu o wyższej wytrzymałości na ściskanie [4]. Dodatek pyłu mineralnego pozytywnie wpływa również na zmniejszenie przepuszczalności wody przez beton, co niewątpliwie poprawi odporność betonu na agresywne oddziaływanie środowiska.

Do zalet proponowanego rozwiązania należy też zaliczyć zagospodarowanie odpadów przemysłowych (odpadów pylistych, pyłu mineralnego). W województwie kujawsko-pomorskim rocznie powstaje ok. 30 ÷ 40 tys. t odpadu pylistego. Ich utylizacja i ich zagospodarowanie jest obecnie bardzo ważnym problemem, z którym borykają się producenci mas mineralno-asfaltowych.

Literatura

- [1] Neville A. M., Właściwości betonu, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków, 2012.
- [2] Jamróży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
- [3] Chłędziński S., Garbacik A., Cementy wielokładnikowe w budownictwie, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków, 2008.
- [4] Dobiszewska M., Chojnicka A., Podhorecki A.: Wpływ dodatku pyłu mineralnego na właściwości betonu konstrukcyjnego, Materiały Budowlane, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2013.

Otrzymano 29.01.2015 r.