

Właściwości betonu z dodatkiem mineralnego pyłu odpadowego

THE PROPERTIES OF STRUCTURAL CONCRETE WITH ADDITIVE OF THE MINERAL DUST

Streszczenie

W trakcie 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 jest jako odpad, stosowany głównie jako warstwa sanitarna na wysypiskach odpadów komunalnych. Postanowiono ten „czysty” materiał mineralny wykorzystać jako dodatek do produkcji betonów konstrukcyjnych. Dokładnie przebadano odpadowy pył mineralny. Dokonano pierwszych pilotażowych badań betonu z dodatkiem pyłu i uzyskano nadzwyczaj pozytywne rezultaty tych badań.

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.

1. Wprowadzenie

Właściwości betonu, takie jak wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, przepuszczalność, mrozoodporność i skurcz zależą od wielu czynników. Niewątpliwie najważniejszymi z nich są podstawowe składniki betonu, tj. cement, kruszywo i woda. Istotny jest nie tylko ilościowy udział tych składników w mieszance betonowej (proporcja), ale również ich właściwości i jakość. Wszystkie właściwości betonu zależą od właściwości zaczynu oraz właściwości kruszywa. Składniki główne cementu powszechnego użytku to klinkier cementowy oraz dodatki mineralne: granulowany żużel wielkopiecowy, pył krzemionkowy, pucolana naturalna lub naturalna wypalana, popiół lotny krzemionkowy lub wapienny, łupek palony oraz wapień. Dodatki mineralne wpływają korzystnie na cechy mieszanki betonowej i betonu, tj. urabialność, szybkość i ilość wydzielanego ciepła hydratacji, skurcz twardnienia, a także trwałość i wytrzymałość betonu [1-3]. Rola dodatku mineralnego w kształtowaniu właściwości cementu i betonu, zależy od charakteru dodatku, który może wykazywać właściwości hydrauliczne, pucolanowe lub inertne [4, 5].

Przedmiotem pracy jest beton z dodatkiem pyłu mineralnego, który jest odpadem powstającym w procesie technologicznym produkcji mieszanki z kruszywa twardego w otaczarce. Pył ten pełni rolę mikrowypełniacza w betonie i może być traktowany jako dodatek typu inertnego. Celem przeprowadzonych badań było ustalenie wpływu dodatku pyłu mineralnego na właściwości mieszanki betonowej i betonu. W szczególności badano gęstość, urabialność i zdolność do zagęszczania mieszanki betonowej oraz wytrzymałość na ściskanie i przepuszczalność betonu. Pozytywne wyniki badań pozwolą na wykorzystanie pyłów mineralnych do produkcji betonu o lepszych parametrach, co w konsekwencji umożliwi również lepsze zagospodarowanie tego uciążliwego materiału odpadowego.

2. Pyły mineralne jako dodatek do betonu

2.1. Pochodzenie pyłów mineralnych

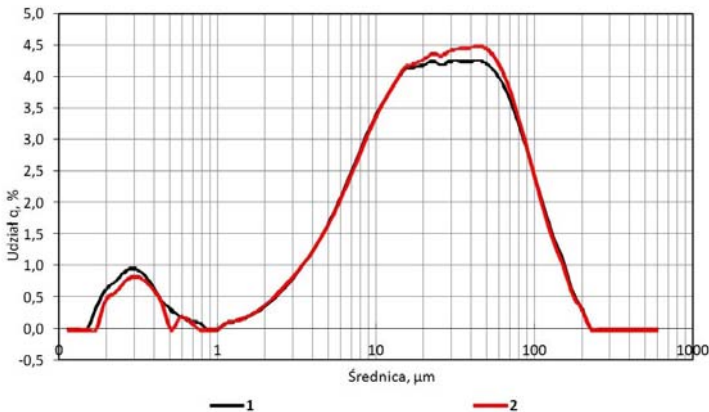
Zastosowany do badań pył mineralny jest odpadem powstającym w procesie produkcji mieszanki z kruszywa twardego w otaczarce. Ta mieszanka stosowana jest do produkcji mas mineralno-asfaltowych, zwanych asfaltem drogowym. W linii technologicznej produkcji mas mineralno-asfaltowych, kruszywa podawane są do suszarki, w której przebiega proces suszenia w temperaturze ok. 200°C. Spaliny opuszczają suszarkę porywając pył kamienny z kruszywa i wyciągane są przez wentylator wyciągowy. W separatorze wytrącane zostają grubsze frakcje pyłów kamiennych (tzw. zgrubne), a frakcje drobne natomiast zatrzymują się w filtrze tkaninowym otaczarki. Te ostatnie gromadzone są w specjalnym zbiorniku i stanowią odpad produkcyjny. Odpad ten najczęściej jest wykorzystywany do budowy izolacyjnych warstw pośrednich na wysypiskach odpadów komunalnych, np. jako warstwa sanitarna, a także jako materiał do rekultywacji terenów wokół zwirowni. Do produkcji mas mineralno-asfaltowych stosuje się twarde kruszywo mineralne, które pochodzi głównie z kopalni, co oznacza, że powstały pył – traktowany jako odpad – ma zbliżone właściwości do macierzystego kruszywa mineralnego. Zastosowane w badaniach pyły mineralne pochodziły z kruszyw, którymi były wapień i bazalt.

Przy wytwarzaniu mieszanek mineralnych, z których produkuje się masy mineralno-asfaltowe, powstaje około 5% pyłów mineralnych. Pozwala to oszacować, że np. w województwie kujawsko-pomorskim, produkcja mas mineralno-asfaltowych powoduje powstanie około 30÷40 tysięcy ton odpadów pylastych w roku.

2.2. Właściwości pyłów mineralnych

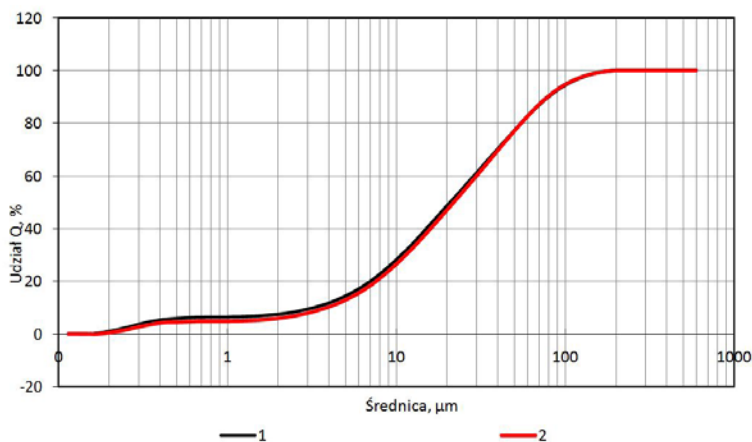
Pyły mineralne z produkcji mas mineralno-bitumicznych, powstają z zapylenia kruszywa mineralnych twardych, stąd mają właściwości zbliżone do kruszywa mineralnego. Pyły nie należą do odpadów niebezpiecznych są jednak bardzo uciążliwe dla środowiska, głównie z uwagi na nadmierne pylenie. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że pyły nie ulegają przemianom fizycznym i chemicznym oraz są w niewielkim stopniu rozpuszczalne w wodzie. Zastosowane do badań pyły mineralne nie zawierały wtrąceń ilastych ani zanieczyszczeń organicznych. Wszystkie wymienione wyżej właściwości pyłów sprawiają, że mogą być one stosowane jako dodatek do betonu.

Badania uziarnienia analizowanych pyłów mineralnych przeprowadzono w laboratorium Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (Instytut Inżynierii Budowlanej, Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych). Krzywe granulometryczne i powierzchnię właściwą wyznaczono metodą analizy rozproszenia lasera LST (*Laser Scattering Method*) przy zastosowaniu laserowego analizatora uziarnienia Horiba L300. Metoda ta polega na przepuszczaniu lasera przez roztwór dyspergujący, zawierający cząstki badanego materiału (rozproszone w roztworze przez ultradźwięki), a następnie wyznaczeniu średniego rozmiaru cząstek w mieszaninie i powierzchni właściwej badanego materiału. Oba oznaczenia wykonywane są jednocześnie w tej samej próbce pyłu. Jako środek dyspergujący zastosowano wodny roztwór polimetafosforanu sodu, o stężeniu 2,0%. Na podstawie badań ustalono krzywą przesiewu pyłów mineralnych. Wyniki oznaczenia rozkładu uziarnienia badanego materiału przedstawiono na rys. 1 oraz rys. 2. Najmniejsze zarejestrowane cząstki mają średnicę $d_{\min} = 0,172 \mu\text{m}$. Powierzchnia właściwa pyłów mineralnych wyniosła $14816 \pm 18569 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$.



Rys. 1. Krzywa różniczkowa uziarnienia pyłu mineralnego

Oznaczony skład chemiczny pyłów wykazał, że zawartość siarczanów (SO_3) nie przekracza 0,1%, a zawartość chlorków jest mniejsza od 0,03% masy pyłów. Oznacza to, że ze względu na wymagania chemiczne analizowany pył nadaje się do stosowania w betonie.



Rys. 2. Krzywa całkowita uziarnienia pyłu mineralnego

3. Badanie właściwości mieszanki betonowej i betonu z dodatkiem odpadowego pyłu mineralnego

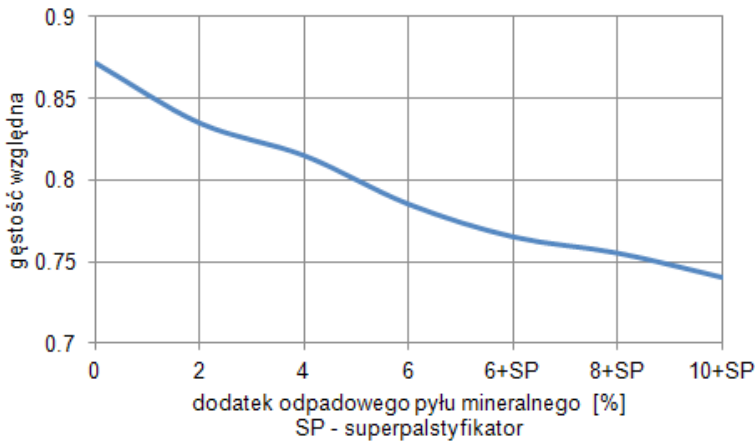
3.1. Program badań

Istota badań polegała na tym, że do mieszanki kruszywa mineralnego o frakcjach 0/16 mm wprowadzono wypełniacz w postaci odpadowego pyłu mineralnego w ten sposób, że zastępował on część kruszywa. W pierwszej kolejności ustalono recepturę dla betonu bez dodatku pyłu, a następnie dokonano częściowej zamiany kruszywa na pył, bez modyfikacji ilościowej i jakościowej pozostałych składników mieszanki betonowej. Dodatek pyłu wynosił $2\pm 10\%$ całkowitej masy kruszywa. Zaprojektowano beton klasy C25/30 z cementu CEM I 42,5R w ilości 275 kg/m^3 mieszanki oraz kruszywa frakcji 0/16 mm w ilości 1960 kg/m^3 mieszanki. Przyjęto plastyczną konsystencję mieszanki betonowej i stosunek wodno-cementowy w/c wynoszący 0,63. Zakres przeprowadzonych badań obejmował określenie wpływu dodatku pyłu mineralnego na podstawowe właściwości mieszanki betonowej, tj. konsystencję, zawartość powietrza i zdolność do zagęszczania oraz betonu – wytrzymałość na ściskanie i przepuszczalność. Celem wyeliminowania zjawiska oblepiania ziaren kruszywa pyłem odpadowym – co może zmniejszyć przychepność zaczynu cementowego do powierzchni kruszywa – pył odpadowy dodawano bezpośrednio do zaczynu.

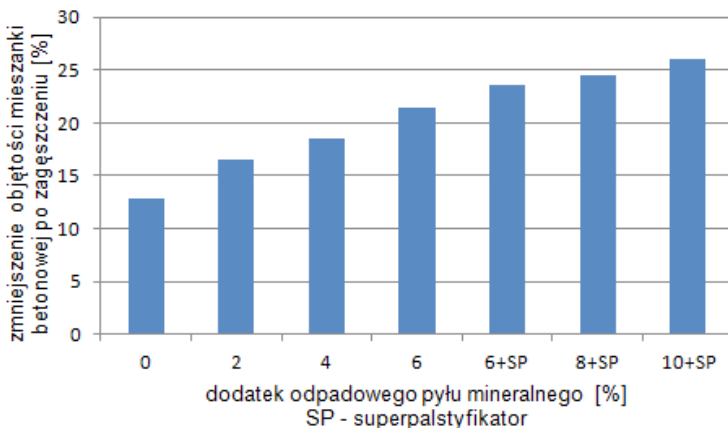
Powierzchnia właściwa pyłu mineralnego jest znacznie większa od powierzchni kruszywa. Dlatego też pył mineralny ma większą wodożądność niż kruszywo. Stopniowa zamiana kruszywa na pył mineralny, w dużym stopniu wpływa więc na zmianę konsystencji mieszanki betonowej (przy niezmienniej wartości wskaźnika w/c). Przeprowadzając badania przyjęto założenie o tym, aby zachować bez zmian konsystencję mieszanki betonowej w miarę dodawania pyłu. W tym celu w procesie dodawania wypełniacza cały czas kontrolowano konsystencję mieszanki i w przypadku jej zmiany na inną klasę, dodawano superplastyfikator w ilości $0,3\pm 0,7\%$ masy cementu. Konsystencja mieszanki betonowej zmieniała się przy dodatku pyłu rzędu $6\pm 10\%$ masy kruszywa.

3.2. Badanie właściwości mieszanki betonowej

Wiele cech stwardniałego betonu determinowanych jest właściwościami mieszanki betonowej. Wytrzymałość betonu o określonej recepturze zależy w sposób bardzo wyraźny od stopnia zagęszczenia mieszanki betonowej. Zdolność do zagęszczania mieszanki betonowej wpływa w dużym stopniu na jej urabialność. Podatność na zagęszczanie określić można jako zmniejszenie objętości porów powietrznych w mieszance pod wpływem jej zagęszczania. Zagęszczenie 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 mieszanka jest zagęszczona, a tym samym wyższa jest wytrzymałość betonu na ściskanie [2]. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że w miarę dodawania pyłu odpadowego do mieszanki betonowej wzrastała jej zdolność do zagęszczania. Gęstość



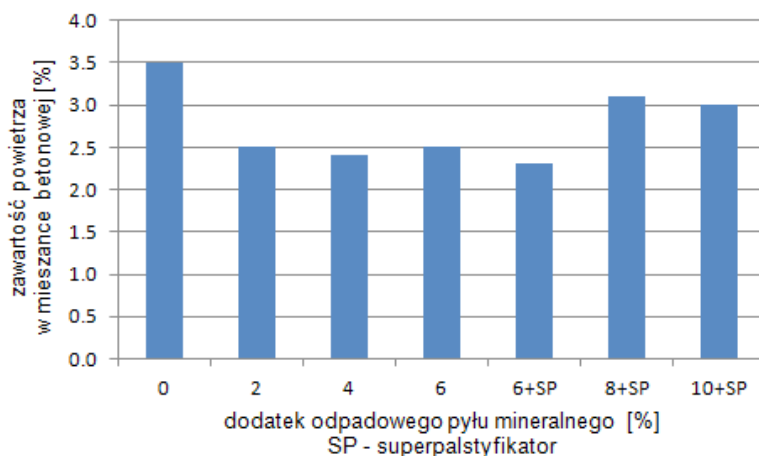
Rys. 3. Zależność gęstości względnej mieszanki betonowej od zawartości pyłu mineralnego



Rys. 4. Zależność objętości zagęszczonej mieszanki betonowej od zawartości pyłu mineralnego

względna mieszanki betonowej maleje wraz ze wzrostem zawartości pyłu odpadowego (rys. 3). Objętość mieszanki betonowej 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%. Wyniki przeprowadzonych badań zilustrowano na rys. 4.

Na wytrzymałość betonu wpływa m.in. objętość wszystkich pustek w betonie, tj. porów powietrznych i kapilarnych oraz powietrza związanego z napowietrzaniem mieszanki betonowej. Oprócz zajmowanej przez pory objętości, ważną rolę odgrywa także ich struktura. Wytrzymałość betonu jest funkcją objętości zawartych w nim pustek [1-3]. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, jaki wpływ na zawartość powietrza w zagęszczonej mieszance betonowej ma dodatek mineralnego pyłu odpadowego. Zawartość powietrza w mieszance badano metodą ciśnieniową. Wraz ze wzrostem ilości pyłu zmniejszała się objętość powietrza w zagęszczonej mieszance betonowej. Objętość pustek w mieszance betonowej przygotowanej bez udziału pyłu odpadowego wynosiła 3,5%, a w przypadku dodatku pyłu rzędu 6% masy kruszywa, objętość porów zmniejszyła się do wartości 2,3%. Dodatek superplastyfikatora wpłynął nieznacznie na zwiększenie objętości porów w mieszance betonowej. Otrzymane wyniki zilustrowano na rys. 5. Dodatek odpadowego pyłu mineralnego obniża zawartość powietrza w mieszance betonowej, a tym samym zmniejsza ilość porów w stwardniałym betonie. Sytuacja ta jest bardzo korzystna, gdyż zmniejszenie porowatości betonu wpływa niewątpliwie na wzrost wytrzymałość na ściskanie oraz szczelność betonu, a w konsekwencji na jego trwałość [2, 5].



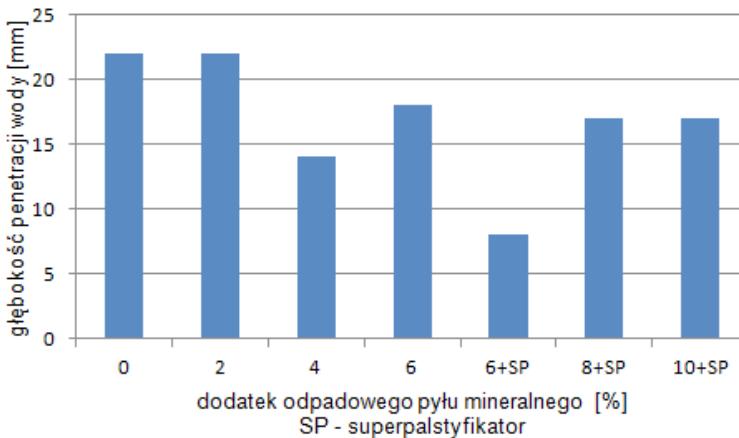
Rys. 5. Zależność zawartości powietrza w zagęszczonej mieszance betonowej od zawartości pyłu mineralnego

3.3. Badanie właściwości betonu

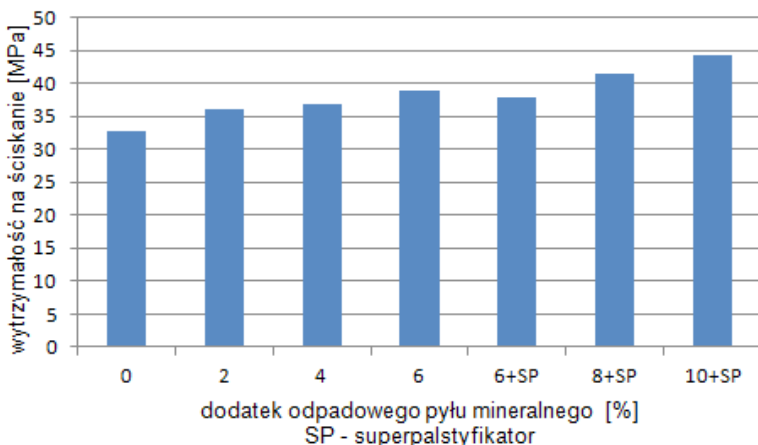
Kolejne przeprowadzone badania dotyczyły ustalenia wpływu pyłu odpadowego na niektóre właściwości stwardniałego betonu. Skoncentrowano się tutaj przede wszystkim na przepuszczalności wody oraz wytrzymałości na ściskanie. Przepuszczalność betonu jest jedną z głównych cech wpływających na odporność betonu na działanie środowiska agresywnego [2, 5]. Przenikanie do wnętrza betonu agresywnych związków może dopro-

wadzić do destrukcji betonu oraz korozji zbrojenia. Przepuszczalność betonu badano za pomocą pomiaru głębokość penetracji wody pod ciśnieniem. Dodatek odpadowego pyłu mineralnego wpływa pozytywnie 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. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 6.

Niewątpliwie jedną z najważniejszych cech stwardniałego betonu jest wytrzymałość na ściskanie. Dodatek pyłu mineralnego wpłynął na zwiększenie wytrzymałości betonu na ściskanie w stosunku do tego samego betonu bez dodatku pyłu. Już przy zamianie 2% masy całkowitego kruszywa na pył odpadowy, wytrzymałość betonu wzrosła o ok. 10% (3,2 MPa). Przy dodatku pyłu rzędu 6% – wytrzymałość wzrosła o 18,6%, a przy tej



Rys. 6. Zależność głębokości penetracji wody w betonie od zawartości pyłu mineralnego



Rys. 7. Zależność wytrzymałości betonu na ściskanie od zawartości pyłu mineralnego

samej ilości pyłu i zastosowaniu superplastyfikatora odnotowano wzrost wytrzymałości o 15,5%. Dalsze zwiększanie udziału pyłu w całkowitej masie kruszywa przyczyniało się do przyrostu wytrzymałości na ściskanie, która przy dodatku pyłu rzędu 10% wzrosła o 35% w stosunku do wytrzymałości betonu bez dodatku pyłu. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 7.

4. Podsumowanie

Przedmiotem badań jest beton z dodatkiem pyłów mineralnych, będących odpadem powstałym przy produkcji mas mineralno-asfaltowych. Ostatecznym celem badań było ustalenie wpływu dodatku pyłu mineralnego na właściwości betonu. Odpadowy pył mineralny charakteryzuje się bardzo drobnym uziarnieniem o miąższości zbliżonej do cementu, który dzięki swoim cechom fizycznym wpływa korzystnie na niektóre właściwości mieszanki betonowej oraz betonu. Dodanie do kruszywa pyłu mineralnego poprawia jamistość kruszywa, a mieszanka betonowa wyprodukowana z użyciem zmodyfikowanej mieszanki kruszywa, tj. z dodatkiem pyłu mineralnego, ma lepszą urabialność niż mieszanka bez pyłu. 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.

Największe znaczenie miały badania stwardniałego betonu, które umożliwiły dokonanie obiektywnej analizy zasadności dodawania odpadowych pyłów mineralnych do betonu. Badania te dotyczyły w szczególności określenia wpływu dodatku pyłów na wytrzymałość betonu na ściskanie oraz jego przepuszczalność. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych betonu ustalono, że dodatek pyłu mineralnego w ilości 6% masy kruszywa zwiększył wytrzymałość betonu na ściskanie o 18,6% w stosunku do betonu bez dodatku pyłu. Zwiększenie ilości dodanego pyłu do 10% masy kruszywa spowodowało zwiększenie wytrzymałości na ściskanie o 35%. W przypadku betonów o niższych klasach wytrzymałości, poprawa wytrzymałości betonu pozostaje w zależności od rosnącej ilości dodatku pyłu mineralnego, analogicznej do zwiększenia ilości cementu w 1 m³ mieszanki betonowej. Funkcja wzrostu wytrzymałości betonu osiąga swoje ekstremum, gdy całkowita ilość zaczynu cementowego wraz z pyłami zbliża się do granicy wypełnienia jam kruszywa i to jest ograniczenie co do ilości dodawanego pyłu do kruszywa. Dodatek pyłu mineralnego pozytywnie wpływa również na zmniejszenie przepuszczalności wody przez beton, co niewątpliwie poprawi odporność betonu na agresywne oddziaływanie środowiska.

Kolejną zaletą proponowanego rozwiązania jest ekologiczne zagospodarowanie odpadów przemysłowych (odpadów pylastych, pyłu mineralnego) i wykorzystanie tych materiałów jako składników betonu. Pył mineralny powstaje jako odpad w procesie produkcji tzw. asfaltu drogowego w ilości ok. 5% masy mineralno-asfaltowej. Oznacza to, że tylko w województwie kujawsko-pomorskim rocznie powstaje ok. 30-40 tysięcy ton odpadu pylastego. Utylizacja pyłów i ich zagospodarowanie jest obecnie bardzo ważkim problemem, z którym borykają się producenci mas mineralno-asfaltowych.

Przeprowadzone badania dotyczące możliwości wykorzystania pyłów mineralnych do produkcji betonu, mają na razie charakter badań pilotażowych. Celem tych badań było ustalenie, czy w ogóle istnieje możliwość włączenia pyłów do składu mieszanki betonowej.

Literatura

- [1] Śliwiński J., Beton zwykły – projektowanie i podstawowe właściwości, Wyd. Polski Cement, Kraków 1999
- [2] Neville A.M., Właściwości betonu, Wyd. Polski Cement, Kraków 2012
- [3] Jamróży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005
- [4] Giergiczny Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J., Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji, Góraźdże Cement, Opole 2002
- [5] Chładzyński S., Garbacik A., Cementy wieloskładnikowe w budownictwie, Wyd. Polski Cement, Kraków 2008