

Mieszanki iniekcyjne stosowane przy rewitalizacji infrastruktury kanalizacyjnej metodami bezwykopowymi

Mgr inż. Wojciech Kostrzewski, dr inż. Jacek Mądrawski, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Instytut Budownictwa i Geoinżynierii

1. Wprowadzenie

Betony samozagęszczalne są nową generacją materiałów, którymi od lat zajmują się uczeni zarówno w Polsce, jak i na świecie. Powołać można się na prace Neville, Szwabowskiego czy Znu [9, 12, 13]. Na temat wykorzystania dodatków mineralnych swoje wyniki w pracach opublikowali Durica, Giergiczyński oraz Grzeszczyk ze współautorami [1, 3, 5, 6, 7].

Zastosowanie popiołu lotnego w technologii betonu jest również przedmiotem wielu opracowań, których autorem jest Giergiczyński ze swoim zespołem.

Kontynuując wcześniej rozpoczęte prace nad mieszankami iniekcyjnymi na bazie spoiwa cementowego, dało się zauważyć, że zakres problemów i zagadnień z tym związanych opisanych w publikacji Kostrzewskiego [8] jest bardziej złożony. Możliwość zastosowania takich mieszanek w innych obszarach niż wyłącznie jako mieszanki wypełniające przestrzenie międzyrurowe wydaje się być bardzo prawdopodobne, a nawet i nowatorskie. Do takich zastosowań można by zaliczyć możliwość wykonywania skomplikowanych odlewów betonowych jako beton samozagęszczalny (w tym przypadku należałoby posługiwać się taką nazwą) np. w procesie prefabrykacji bez konieczności ich zagęszczania mechanicznego. Znacznie mogłoby to obniżyć koszty form, obniżyć zużycie energii. Miałoby to również wpływ na estetykę i wykończenie wyrobów. Również mieszanki te dzięki swoim specyficznym właściwościom mogą znaleźć zastosowanie przy wykonywaniu w trakcie realizowania normalnych procesów budowlanych. Mieszanki te mogą znaleźć zastosowanie również jako posadzki samorozlewne i samopoziomujące się o wysokiej wytrzymałości. Na przykład pod maszyny i ciężkie urządzenia w obiektach produkcyjnych. Również jako wysoko wytrzymały podkład pod ciągi komunikacyjne o dużym natężeniu ruchu. Dzięki zdolnościom do penetracji nawet małych szczelin, mieszanki te można wykorzystać w takich zadaniach jak wypełnianie szczelin w gruntach i podłożach budowlanych itp. Aby mieszanki te mogły być zastosowane w takich zadaniach, jest oczywiste, że muszą mieć odpowiednie parametry techniczne. Najważniejszą



Rys. 1. Wkład panelowy przygotowany do zamontowania w studni



Rys. 2. Wypełnienie przestrzeni pomiędzy starą studnią a panelem żywicznym masą iniekcyjną

Tabela 1. Właściwości fizyczne mielonych skał

Rodzaj skały	Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	Gęstość [g/cm ³]
Wapień	3371	2,72
Granit	3841	3,69
Bazalt	3377	2,86
Melafir	3652	2,79
Boksyt	3281	3,46
Baryt	3962	3,70
Krzemionka	3811	2,51

cechą, która musi być spełniona, jest odpowiednio wysoka wytrzymałość na ściskanie. Wykonawcy dokonujący prac naprawczych na studniach rewizyjnych ciągów kanalizacyjnych metodami wkładów panelowych zgłaszają zapotrzebowania na coraz wyższą wytrzymałość przy wysokim stopniu upłynnienia.

Przestrzeń pomiędzy montowanym panelem z laminatu poliestrowo-szklanego a ścianą studni musi być ściśle wypełniona masą zalewową, inaczej iniektem.

Wymagania ze strony inwestorów i wykonawców stale rosną. Obecnie oczekuje się, że tego typu mieszanki pozwolą na uzyskanie wytrzymałości rzędu 60 MPa. Dotychczasowe badania wyraźnie wykazały, że uzyskanie wytrzymałości powyżej 15 MPa na mieszankach wyłącznie popiołowo-cementowych, z rozsądną ilością użytego cementu, nie powodującego nadmiernego skurczu, jest w zasadzie niemożliwe. Wprowadzenie do składu tych mieszanek dodatków obojętnych pod postacią pyłów mineralnych pochodzących ze zmielenia skał zmienia sytuację diametralnie. W zasadzie nie istnieją ograniczenia co do rodzaju użytej skały. Opisane w [8] wyniki badań pokazują, że różne rodzaje skał zachowują się w specyficzny dla siebie sposób. Istnieje więc konieczność przebadania możliwie dużego spectrum rodzajów skał i wybrania tych, które w tych zastosowaniach dają najlepsze wyniki. Istotną rzeczą jest również ustalenie najbardziej korzystnych proporcji dodatków w stosunku do zawartości popiołu. Niezwykle ciekawą kwestią jest ustalenie zapotrzebowania na efektywne ilości używanych upłynniaczy. Wyszło bowiem w trakcie prac nad tego typu mieszankami, że stosowanie upłynniaczy w ilościach zalecanych przez producentów tych preparatów nie przynosi spodziewanych efektów. Wynika to z zupełnie innego składu granulometrycznego niż w przypadku betonów opartych na tradycyjnym kruszywie. W przypadku mieszanek iniekcyjnych mamy do czynienia z dużo większą powierzchnią właściwą stosu okruszowego.

2. Cel i program badań

Głównym celem badań było rozpoznanie zachowania się mieszanek iniekcyjnych opartych na zmieniających się ilościach dodatków mineralnych w stosunku

do popiołu lotnego. Istotną rzeczą było przebadanie wpływu ilości dodatków mineralnych na wytrzymałość na ściskanie. Dodatkowo przebadano, jakie ilości upłynniacza są najbardziej efektywne w tego typu mieszankach. Badania te były prowadzone pod kątem zmienności składu mieszanek, jeśli chodzi o rodzaj użytego dodatku oraz ilości dozowanych dodatków w stosunku do popiołu lotnego. Badania były prowadzone na identycznych domieszkach chemicznych i dodatkach mineralnych jak w opracowaniu [8].

3. Metodologia prowadzonych badań, pochodzenie zastosowanych pyłów mineralnych

Istnieją dwa źródła pozyskania pyłów mineralnych. Pierwszym z nich jest przemysł przeróbki surowców skalnych, gdzie na skutek kruszenia, cięcia bądź innych procesów obróbki powstają odpady nadające się do dalszego zagospodarowania. Drugim źródłem jest celowa przeróbka surowca skalnego polegająca na mieleniu skał w młynach np. kulowych. Do niniejszych badań przeznaczono surowce skalne pod postacią gryśów powszechnie stosowanych w technologii betonu. Grysy te zostały zmielone w laboratoryjnym młynie kulowym o konstrukcji stalowej. Mielnikami w tym urządzeniu są kule stalowe w liczbie 30 szt. o łącznej masie 30 kg. Pojemność młyna pozwala jednorazowo poddać zmieleniu porcję 5 kg skały, by po 4 godzinach mieleń uzyskać pył charakteryzujący się miałkością podobną do miałkości cementu.

Powierzchnię właściwą dla każdego rodzaju zmielonej skały określano za pomocą aparatu Blaine'a. Badania wykonywano zgodnie z normą [10].

Gęstość właściwą badanych skał była określana w następujący sposób: próbka zmielonej skały o masie 50 g była umieszczana w kolbie miarowej o pojemności 250 ml i zalewana wodą do połowy objętości kolby. Następnie kolbę umieszczano w komorze podciśnieniowej i poddawano odgazowaniu. Po wyjęciu z komory uzupełniano wodę do dokładnie przyjętej objętości, po czym ważono. Wyniki są prezentowane w tabeli 1. Aby uzyskać ten sam stopień zmielenia, wszystkie dodatki skalne użyte do badań były mielone w identyczny sposób.

4. Ustalanie składu mieszanek

Na potrzeby prowadzonych badań opracowano program pozwalający na konstruowanie poszczególnych receptur. Głównym założeniem stworzonego programu było:

- przyjęcie stałej ilości cementu,
- przyjęcie stałego współczynnika wodozadržności dla wszystkich składników iniektu, co gwarantuje stały stosunek W/C i W/(C+P); stałość tych stosunków pozwala na porównywanie cech wytrzymałościowych poszczególnych składów.

Tabela 2. Receptury zaczynów iniekcyjnych przy zawartości 20% pyłów mineralnych w stosunku do objętości popiołu

Serie 20%							
Kg/m ³	Wapień	Granit	Bazalt	Melafir	Boksyt	Baryt	Krzemionka
Cement	350	350	350	350	350	350	350
Popiół	969	969	969	969	969	969	969
Pył min.	237	263	254	254	263	395	232
Woda	350	350	350	350	350	350	350
SP	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25

Tabela 3. Receptury zaczynów iniekcyjnych przy zawartości 40% pyłów mineralnych w stosunku do objętości popiołu

Serie 40%							
Kg/m ³	Wapień	Granit	Bazalt	Melafir	Boksyt	Baryt	Krzemionka
Cement	350	350	350	350	350	350	350
Popiół	830	830	830	830	830	830	830
Pył min.	406	451	436	436	451	398	474
Woda	350	350	350	350	350	350	350
SP	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25

Tabela 4. Receptury zaczynów iniekcyjnych przy zawartości 60% pyłów mineralnych w stosunku do objętości popiołu

Serie 60%							
Kg/m ³	Wapień	Granit	Bazalt	Melafir	Boksyt	Baryt	Krzemionka
Cement	350	350	350	350	350	350	350
Popiół	727	727	727	727	727	727	727
Pył min.	533	582	572	572	582	523	888
Woda	350	350	350	350	350	350	350
SP	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	1,25	11,25

Wszystkie składniki w tym programie były ustalane objętościowo, co oznacza, że niezależnie od gęstości właściwej danego składnika do receptury trafiała zawsze taka sama powierzchnia ziaren. W programie przyjęto stałą ilość upłynniacza. Pozwoliło to porównywać wyniki z poszczególnych etapów eksperymentu. Badania zostały tak zaprogramowane, że różnicowaniu podlegała przede wszystkim ilość stosowanego dodatku mineralnego w stosunku do popiołu lotnego. W badaniach przyjęto następujące podziały na serie: seria 20%, gdzie ilość objętościowa dodatku mineralnego w stosunku do popiołu lotnego wynosiła 20%, seria 40%, gdzie ilość objętościowa dodatku mineralnego w stosunku do popiołu lotnego wynosiła 40%, seria 60%, gdzie ilość objętościowa dodatku mineralnego w stosunku do popiołu

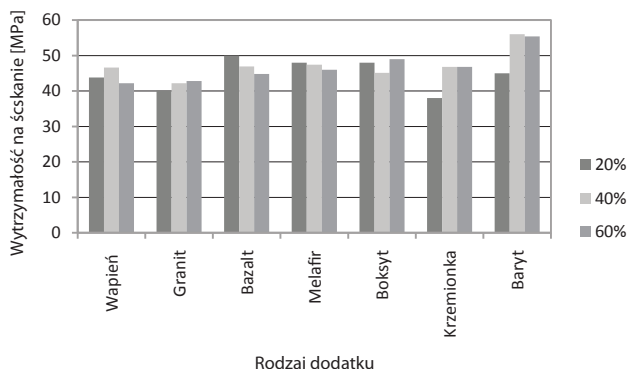
lotnego wynosiła 60%. Poszczególne składy zaczynów prezentowane są w tabelach 2, 3, 4.

5. Badania

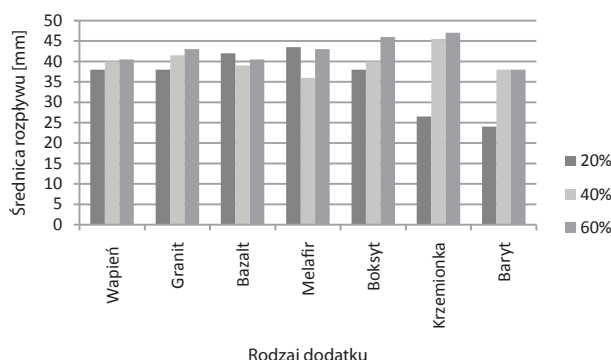
Składniki odważone do wykonania 7 dcm³ zarobu mieszano średnio obrotowym mieszadłem do zapraw przez okres 4 minut. Po wymieszaniu sprawdzany był rozptył za pomocą stożka Hagermanna, co pozwalało ocenić podatność poszczególnych rodzajów skał na upłynnienie. Z przygotowanego zaczynu iniekcyjnego formowano próbki sześciennie o wymiarach 100×1000×100 mm w liczbie 6 do badań wytrzymałościowych. Zgodnie z zaleceniami normy [12] próbki te były przechowywane przez 28 dni w warunkach komory klimatyzacyjnej (min 95%

Tabela 5. Zestawienie wyników badania wytrzymałości na ściskanie oraz rozptyłu

Zawartość%	20%		40%		60%	
	Wytrzymałość [MPa]	Rozptył [cm]	Wytrzymałość [MPa]	Rozptył [cm]	Wytrzymałość [MPa]	Rozptył [cm]
Wapień	43,8	38	46,6	40	42,2	40,5
Granit	40,1	38	42,2	41,5	42,8	43
Bazalt	50	42	46,9	39	44,8	40,5
Melafir	48	43,5	47,4	36	46	43
Boksyt	48	38	45,1	40	49	46
Krzemionka	38	26,5	46,8	45,5	46,8	47
Baryt	45	24	56	38	55,4	38



Rys. 3. Wykres wytrzymałości na ściskanie



Rys. 4. Wykres uzyskanych średnic rozplywu

wilgotności względnej i w temperaturze 20°C). Po tym okresie próbki były poddawane ściskaniu na maszynie wytrzymałościowej Walter&Baig typ 107/3000A/J.

6. Wyniki badań

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie oraz pomiaru zdolności do rozplywu poszczególnych serii prezentowane są w tabeli 5.

Na podstawie uzyskanych wyników badań porównano rezultaty zastosowania różnych zmielonych skał dodawanych do zaczynów iniekcyjnych. Wyniki wytrzymałości na ściskanie przedstawiono na rysunku 3, natomiast wyniki rozplywu na rysunku 4.

7. Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że stosując mieszanki, w składzie których znajduje się popiół lotny i ilość cementu nie przekracza 350 kg/m³, w przypadku pyłu barytowego uzyskano wytrzymałość maksymalną 55 MPa.

Analizując uzyskane wyniki, w przypadku poszczególnych rodzajów zmielonych skał najbardziej efektywną ilością dodatku wapiennego w stosunku do popiołu lotnego wydaje się być jego 40% udział.

W przypadku granitu wpływ ilości dodatku jest minimalny.

Wysoką skuteczność uzyskano w przypadku mączki bazaltowej. Już przy zawartości 20% wzrosła wytrzymałość na ściskanie równocześnie zapewniając wysokie upłynnienie zaczynu.

Zmielony melafir nie wykazuje istotnego zróżnicowania przy dozowaniu, w przypadku wytrzymałości na ściskanie dał wyniki podobne do bazaltu.

Przy stosowaniu upłynniaczy najnowszych generacji dosyć łatwo jest osiągnąć wysoki stopień upłynnienia. Duży udział popiołu lotnego w składzie zaczynów iniekcyjnych powoduje przy wysokim stopniu upłynnienia powstawanie piany na powierzchni mieszanki. Wystąpienie takiego zjawiska przy wypełnianiu przestrzeni

między panelem a np. ścianą studni przerwałoby ciągłość wypełnienia i jest całkowicie niedopuszczalne. Dopiero zmniejszenie popiołu lotnego w składzie zmienia tę kwestię radykalnie. Uzyskane wyniki potwierdzają tezę, że istnieją realne możliwości – przy zastosowaniu wypełniaczy z proszków mineralnych – otrzymania mieszanek iniekcyjnych o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Najlepsze wyniki uzyskano stosując pyły barytowe oraz bazaltowe. Jednocześnie pyły barytowe pozwalają na uzyskanie mieszanek o dużym stopniu upłynnienia bez występowania zjawisk piany na powierzchni zaczynu.

Artykuł stanowi przedruk z monografii pt. „Rewitalizacja obszarów zurbanizowanych, Wałcz 2016”.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Durica T., Brauner P., Sidakova A., Beton z dodatkiem odpadu serpentynitowego, Cement Wapno Beton (5) 2006
- [2] Giergiczyński Z., Gawlicki M., Popiół lotny jako aktywny składnik cementów i dodatek mineralny do betonu, Dni Betonu 2004
- [3] Giergiczyński Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J., Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji, Instytut Śląski sp. z o.o. w Opolu 2002
- [4] Giergiczyński Z., Popiół lotny w składzie cementu i betonu, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2013
- [5] Grzeszczyk S., Janowska-Renkas E., Skaliński B., Właściwości reologiczne mieszanek samozagęszczalnych – wpływ mikrowypełniaczy, Cement Wapno Beton (1) 2015
- [6] Grzeszczyk S., Podkowa P., Putra W., Wpływ mączki wapiennej i granulowanego żużla wielkopieczowego w cemencie na właściwości betonów samozagęszczalnych, Referat Dni Betonu 2004
- [7] Grzeszczyk S., Podkowa S., Wpływ mikrowypełniaczy na płynność zawiesin cementowych, Cement Wapno Beton (2) 2004
- [8] Kostrzewski W., Wpływ dodatków pod postacią pyłów mineralnych na kształtowanie się wytrzymałości mas iniekcyjnych na bazie cementu, wykorzystywanych do remontów rurociągów kanalizacyjnych, Wałcz 2015
- [9] Neville A.M., Właściwości betonu, Polski Cement 2000
- [10] PN EN-206-1: 2014 Beton
- [11] Szaj P., Zastosowanie w technologii betonu mączek mineralnych powstających przy produkcji kruszyw łamanych, Dni Betonu 2014
- [12] Szwabowski J., Gołaszewski J., Technologia Betonu Samozagęszczalnego, Polski Cement 2010
- [13] Znu W, Gibbs J.C., Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete, Cement and Concrete Research 35 (2005) 1457–1462