

dr hab. inż. Wacław Brachaczek, prof. ATH^{1)*}

ORCID: 0000-0002-4782-8409

mgr inż. Adam Chleboś²⁾

ORCID: 0000-0003-3429-8098

Wpływ dodatku zmielonego wapienia i pyłu krzemionkowego na wybrane właściwości jednokomponentowej zaprawy uszczelniającej

*Effect of limestone powder and silica dust additives
on one-component sealing mortar*

DOI: 10.15199/33.2023.03.10

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ dodatków pochodzenia odpadowego: zmielonego wapienia i pyłu krzemionkowego na właściwości jednokomponentowej zaprawy uszczelniającej. Stosując te dodatki, zredukowano jednocześnie udział cementu CEM I i wypełniaczy kwarcowych. Zbadano wpływ takich modyfikacji na ważne właściwości zapraw uszczelniających: porowatość określaną na powierzchni przełomu próbki metodą mikroskopową; przyczepność do podłoża betonowego oraz wodoszczelność. Stwierdzono negatywny wpływ zmielonego wapienia na wodoszczelność i przyczepność zaprawy do podłoża betonowego oraz poprawę wodoszczelności i zmniejszenie porowatości w wyniku dodatku pyłu krzemionkowego.

Słowa kluczowe: zaprawy uszczelniające; wodoszczelność; przyczepność; zmielony wapień; pył krzemionkowy.

Abstract. In the publication, the effect of addition of a waste product: limestone powder and silica dust on one-component sealing mortar is presented. By adding these components, the share of CEM I cement and quartz fillers was reduced. The impact of these modifications on the important properties of sealing mortars was investigated: porosity determines the fracture surface by microscopic method, approach to the concrete substrate and water tightness. A negative effect of limestone powder on the tested properties and an improvement in water permeability and porosity due to the addition of silica fume was found.

Keywords: sealing mortars; water permeability; bond strength; limestone powder; silica dust.

Obecnie coraz powszechniej stosowane są cementy wieloskładnikowe CEM II/A-B zawierające wapień LL(L), granulowany żużel wielkopiecowy S, popiół lotny krzemionkowy i pył krzemionkowy w charakterze głównego składnika. Tego rodzaju działania wpisują się w założenia strategii zrównoważonego rozwoju obejmujące oszczędność zasobów naturalnych surowców, wykorzystanie cennych ubocznych produktów przemysłowych i ograniczenie powierzchni składowisk [1]. Głównym składnikiem wapienia jest kalcyt (węglan wapnia). W zaprawie uszczelniającej ma on dwojakie działanie. Rozpra-

sza ziarna zmielonego klinkieru portlandzkiego, ułatwiając do nich dostęp wody, co zwiększa ich stopień przereagowania, a jego drobne frakcje (poniżej 10 μm) doszczelniają układ, wypełniając wolne przestrzenie międzyziarnowe [2 ÷ 3]. Ponadto wapień reaguje z fazą C_3A , tworząc uwodnione karbogliniany, które dodatkowo wypełniają przestrzeń pomiędzy ziarnami kruszywa, co pozytywnie wpływa na porowatość kompozytu i wytrzymałość połączenia zaczyn – kruszywo [2, 3]. Znane są również przykłady, gdy dodatek większej ilości wapienia zmniejszał wytrzymałość cementu po 28 dniach [4, 5].

Pył krzemionkowy, będący odpadem pochodzącym z przemysłu hutniczego, jest dwutlenkiem krzemu w postaci amorficznej [6]. W licznych publikacjach wykazano jego pozytywny wpływ na wytrzymałość na ściskanie i zginanie wyrobów cementowych [6, 7].

W artykule przedstawiono wyniki badań przyczepności do podłoża, wodoszczelności i porowatości jednokomponentowej zaprawy uszczelniającej, których celem była ocena wpływu pyłu krzemionkowego oraz zmielonego wapienia na te właściwości.

Przygotowanie próbek do badań

Recepturę zaprawy uszczelniającej opracowano w laboratorium technologicznym producenta chemii budowlanej (tabela 1). W składzie zaprawy znalazł się polioctan winylu modyfikowany etylenem (w postaci proszku redy-spergowalnego, o średniej cząsteczce 90 μm i temperaturze MFFT 0°C). Udział etylenu w zaprawie to 20%. Wybór polimeru dokonany został na podstawie analizy literatury i licznych badań eksperymentalnych, których wyniki przedstawiono w [8]. Jako kruszywo za-

¹⁾ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

²⁾ Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska ATH w Bielsku-Białej

* Adres do korespondencji:
wbrachaczek@ath.bielsko.pl

Tabela 1. Skład badanej zaprawy uszczelniającej

Table 1. Composition of the tested sealing mortar

Składnik	Udział masowy [% mas.]
Cement portlandzki CEM I 42,5 R	6,0 – 15,0
Wapno hydratyzowane Ca(OH) ₂ CL 90-S	3,0
Modyfikator polimerowy – kopolimer etylenu i octanu winylu EVA	20,0
Mączka kwarcowa 0,0 ÷ 0,1 mm	1,0
Piasek kwarcowy 0,1 ÷ 0,3 mm	4,0
Piasek kwarcowy 0,0 ÷ 0,5 mm	55,9
Modyfikowana hydroksymetylopropyloceluloza	0,10
Eter skrobi (lepkość) 15 mPas	0,03
Włókna celulozowe (długość 300 – 700 μm)	0,34
Włókna polipropylenowe FPE	0,60
Zmielony wapień 0,0 ÷ 0,1 mm	0,0-15,0
Pył krzemionkowy 0,0 – 0,1 mm	0,0-9,0
Superplastyfikator	0,5 – 2,0
Woda zarobowa	220 g/1 kg części suchej zaprawy

stosowano: piasek kwarcowy: o uziarnieniu 0,0 – 0,5 mm oraz 0,1 – 0,3 mm i drobną mączkę kwarcową o uziarnieniu 0,0 – 0,1 mm. W celu nadania zaprawom odpowiedniej konsystencji, ograniczenia spływu z powierzchni pionowych i zapewnienia odpowiedniej retencji wody oraz wyeliminowania ze struktury pustek powietrznych zastosowano zagęstnik celulozowy – hydroksymetylopropylocelulozę o lepkości 25000 ÷ 35000 cps (2% roztwór badany w temperaturze 20°C na wiskozymetrze Brookfielda) oraz eter skrobi o lepkości 15 mPas (2% roztwór badany w temperaturze 20°C na wiskozymetrze Höplera).

W celu zwiększenia wytrzymałości na rozciąganie, poprawy elastyczności oraz stworzenia przestrzennego szkieletu pozwalającego mostkować rysy podłoża dodano włókna polipropylenowe FPE o długości 200 – 500 μm i średnicy ok. 10 μm zawierające środek zwilżający PVA (ok. 1% mas.) oraz włókna celulozowe długości do 400 μm i średnicy do 45 μm. Konsystencję zaprawy uszczelniającej regulowano za pomocą superplastyfikatora (polikondensatu sulfonowanej melaminy i formaldehydu) dozowanego w taki sposób, aby zaprawa zachowywała stały rozplływ

120 – 125 cm, mierzony na stoliku rozplwywu zgodnie z normą [9].

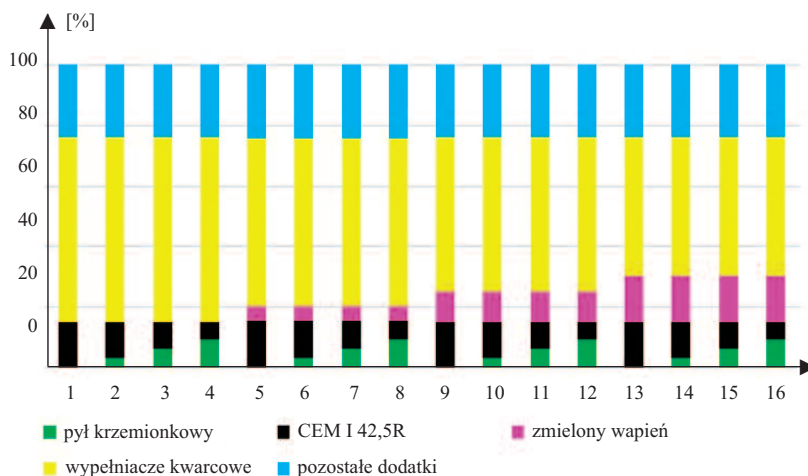
Podczas badań cement stopniowo zastępowano pyłem krzemionkowym tak, aby w każdym przypadku suma masy cementu i pyłu była stała. Pył krzemionkowy dozowano w ilości 3, 6 i 9% masy części suchej. Zmielonym wapniem zastępowany był wypełniacz kwarcowy. Dozowano go w ilości 5, 10 i 15% masy części suchej. Modyfikację składu zaprawy przedstawiono na rysunku 1.

$$\Delta_m = m_k - m_0 \quad (1)$$

gdzie:

Δ_m – przyrost masy próbki – ilość zaabsorbowanej wody [g];
 m_k – masa próbki po zakończeniu działania wody [g];
 m_0 – masa próbki przed rozpoczęciem działania wody [g].

Przyczepność zaprawy do betonowego podłoża określono przez badanie wytrzymałości na odrywanie (metoda pull-off). Na podłożu nałożono dwie warstwy zaprawy grubości 2 mm każ-



Rys. 1. Skład zapraw poddawanych badaniom

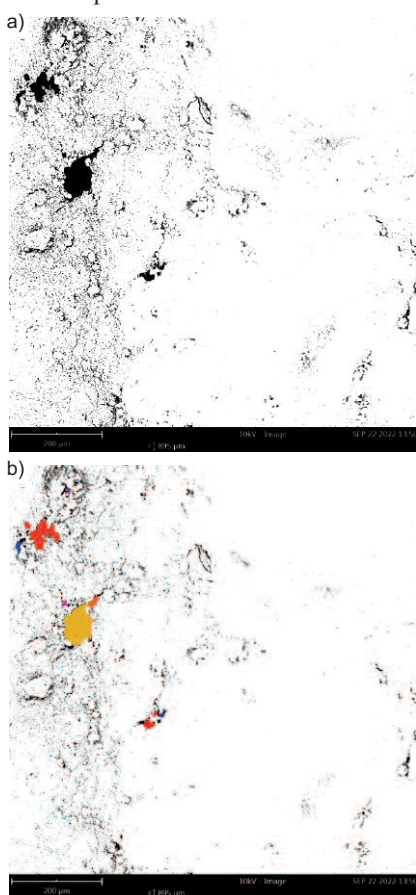
Fig. 1. Composition of tested mortars

W przypadku każdego składu zaprawy (rysunek 1) przygotowano po 5 próbek do oznaczenia wodoszczelności oraz przyczepności do podłoża betonowego. **Wodoszczelność** określano na sześciennych kostkach betonowych o boku 15 cm. Zaprawy naniesiono na jedną ze ścian kostki (dwie warstwy każda o grubości 2 mm), natomiast pozostałe ściany uszczelniono materiałem na bazie żywicy akrylowej. Próbkę sezonowano przez 28 dni w temperaturze 22°C oraz względnej wilgotności powietrza 50%. Następnie suszono je do stałej masy, ważono i umieszczano w urządzeniu do badania przepuszczalności wody zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 14891:2017-03 [10] i poddano działaniu wody pod ciśnieniem 150 KPa przez 7 dni oraz niezwłocznie zważono. Miarą wodoprzepuszczalności była ilość zaabsorbowanej wody. Zgodnie z normą [10] nie powinna ona przekraczać 20 g. Ilość zaabsorbowanej wody określono zgodnie z równaniem (1):

da, a następnie sezonowano próbki w temperaturze 22°C i względnej wilgotności powietrza 50% przez 28 dni i badano przyczepność zgodnie z normą PN-EN 1015-12 [11].

Porowatość na powierzchni przelomu zaprawy ustalano przy użyciu mikroskopu skaningowego. Na podstawie dziesięciu zdjęć różnych, niepokrywających się fragmentów powierzchni próbki, wykonanych w niewielkim powiększeniu (300x) przy optymalnym skupieniu i kontraście, obliczano łączną powierzchnię porów próbki. Pory analizowano dwustopniowo: wykonywano zdjęcie mikroskopowe przelomu, a następnie otrzymany obraz poddawano obróbce, wykorzystując do tego celu odpowiednie oprogramowanie PoroMetric. W wyniku obróbki numerycznej uzyskano obraz przelomu, w którym pory zaznaczono w kolorze. Przez porównanie uzyskanego obrazu ze zdjęciem powierzchni możliwe było wyeliminowanie obszarów błędnie zinterpretowanych przez program jako pory. Przykład takiego

działania programu przedstawiono na fotografii 1. W porównaniu z innymi sposobami określania porowatości, takich jak porozymetria ręciowa, zastosowana metoda jest mało inwazyjna, gdyż nie generuje naprężeń rozciągających w mikrostrukturze zaprawy i pozwala bardzo dokładnie ocenić rzeczywisty rozkład porów.



Fot. 1. Zdjęcie mikroskopowe (300x) powierzchni zaprawy nr 4 (6% masowych cementu i 9% masowych pyłu krzemionkowego, brak wapienia) (a) oraz ten sam obszar po analizie powierzchni porów przy użyciu narzędzia PoroMetric, z zaznaczonymi przez program na kolorowo obszarami poprawnie zinterpretowanymi jako pory (b)

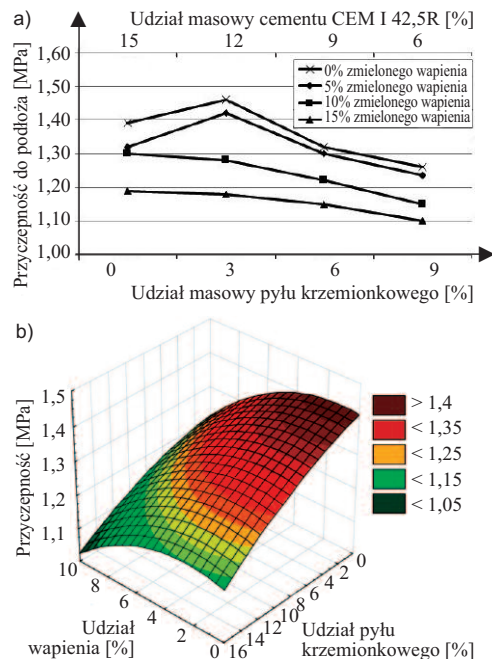
Photo 1. 300x micrograph of the surface of mortar 4 (6% by mass of cement and 9% by mass of silica fume, no limestone) (a) and the same area after analysis of the pore surface using the PoroMetric tool, with the areas correctly interpreted as pores marked by the program in colors (b)

Wyniki badań

W składzie badanych zapraw zastosowano superplastyfikator na bazie melaminy i formaldehydu. Miało to na celu wyeliminowanie niekorzystnego zjawia-

ska, objawiającego się pogarszaniem właściwości reologicznych zaprawy wskutek dodawania pyłu krzemionkowego i mączki wapiennej. Składniki te charakteryzują się bowiem dużą wodążnością. Dodatek superplastyfikatora wynoszący 3% mas. cementu (0,5% w odniesieniu do masy całej suchej mieszanki) wyraźnie zmniejszył stosunek w/c przy zachowaniu porównywalnej konsystencji oraz poprawił przyczepność i przepuszczalność wody. W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań wpływu superplastyfikatora na ilość wody zarobowej, konsystencję, przyczepność i wodoszczelność zapraw uszczelniających.

Graficzną interpretację wpływu pyłu krzemionkowego i zmielonego wapienia na przyczepność do podłoża, wodoszczelność oraz sumaryczną porowatość powierzchni próbki pokazano na rysunkach 2 ÷ 4. Na rysunkach 2a i 3a zaprezentowano model jednoczesnego wpływu pyłu krzemionkowego i zmielonego wapienia na przyczepność i wodoszczelność. Szczegółowe wyniki badań przyczepności do podłoża i wodoszczelności zestawiono w tabeli 2. We wszystkich przypadkach zniszczenia próbek miały charakter kohezyjny – na-



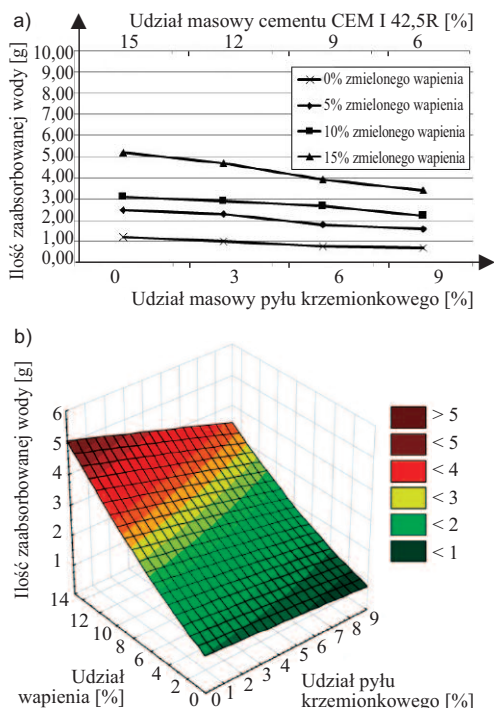
Rys. 2. Przyczepność zaprawy do podłoża betonowego [MPa] w zależności od udziału pyłu krzemionkowego, zmielonego wapienia i cementu zaprezentowana w formie dwu- (a) oraz trójwymiarowej (b)

Fig. 2. Adhesion of the mortar to the concrete substrate [MPa] depending on the share of silica dust, limestone powder and cement in two-dimensional (a) and three-dimensional (b) forms

Tabela 2. Wpływ superplastyfikatora, cementu, pyłu krzemionkowego i zmielonego wapienia na udział wody zarobowej, konsystencję, przyczepność i wodoszczelność zaprawy uszczelniającej

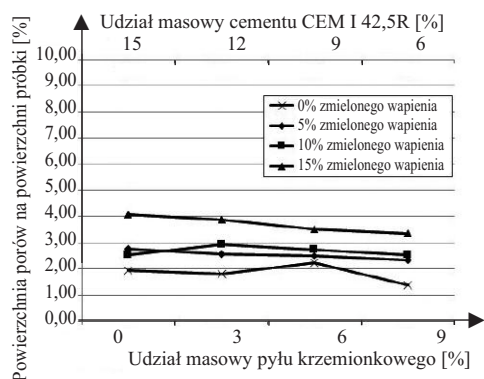
Table 2. Influence of cement, superplasticizer, silica fume and limestone powder on the proportion of mixing water, consistency, adhesion and watertightness of sealing mortar

Nr próbki	ce-mentu [%]	Udział			Ilość wody zarobowej [g/kg suchej zaprawy]	Kon-systen-cja na stoliku rozply-wu [mm]	Przy-czepność do pod-łoża beto-nowego [MPa]	Wodosz-czelność wyrażona jako ilość zaabsorbowanej wody [g]	Powierz-chnia porów na przełomie próbki [%]
		pyłu krze-mion-kowego [%]	wa-pienia zmielo-nego [%]	superplastyfi-katora (w odnie-sieniu do całej suchej mieszanki) [%]					
0	15	0	0	0	280	125	0,97	1,5	2,66
1	15	0	0	0,5	220	122	1,39	1,2	1,94
2	12	3	0	0,5	220	122	1,46	1,0	1,82
3	9	6	0	0,5	220	122	1,32	0,8	2,22
4	6	9	0	0,5	220	121	1,26	0,7	1,39
5	15	0	5	0,8	220	124	1,32	2,5	2,75
6	12	3	5	0,8	220	124	1,42	2,3	2,57
7	9	6	5	0,8	220	123	1,30	1,8	2,50
8	6	9	5	0,8	220	123	1,24	1,6	2,33
9	15	0	10	1,0	220	123	1,30	3,1	2,53
10	12	3	10	1,0	220	123	1,28	2,9	2,94
11	9	6	10	1,0	220	122	1,22	2,7	2,71
12	6	9	10	1,0	220	122	1,15	2,2	2,53
13	15	0	15	1,5	220	123	1,19	5,2	4,07
14	12	3	15	1,5	220	122	1,18	4,7	3,87
15	9	6	15	1,5	220	121	1,15	3,9	3,51
16	6	9	15	1,5	220	121	1,10	3,4	3,35



Rys. 3. Zależność wodoprzepuszczalności wyrażonej jako ilość zaabsorbowanej wody [g] od wagowego udziału pyłu krzemionkowego i cementu w zaprawie dla różnych udziałów masowego zmielonego wapienia w zaprawie zaprezentowana w formie dwu- (a) oraz trójwymiarowej (b)

Fig. 3. Dependence of water permeability expressed as the amount of absorbed water [g] on the weight share of silica fume and cement for different weight shares of limestone powder in two- (a) and three-dimensional (b) mortars



Rys. 4. Zależność powierzchni porów na powierzchni próbki [%] od masowego udziału pyłu krzemionkowego i cementu w zaprawie dla różnych udziałów masowego zmielonego wapienia w zaprawie

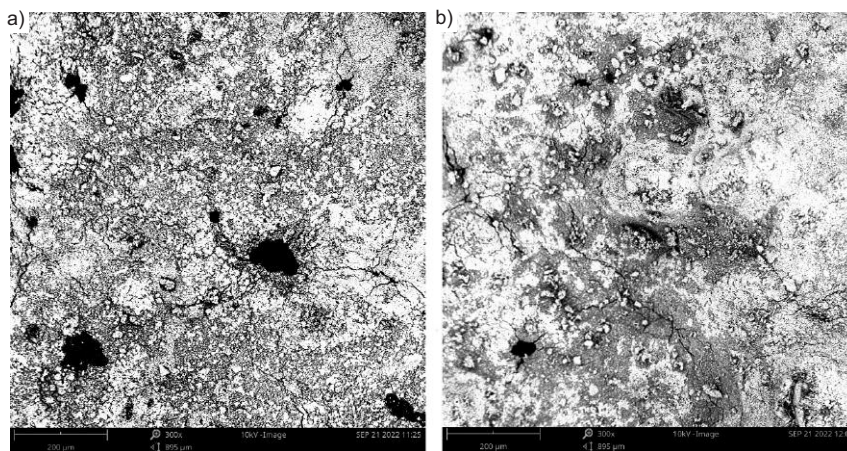
Fig. 4. Dependence of the pore area on the surface of the sample [%] on the weight share of silica fume and cement for different weight shares of limestone powder in the mortar

stępowały wewnątrz badanej zaprawy uszczelniającej. Największą przyczepność wynoszącą 1,46 MPa uzyskała za-

prawa nr 2 zawierająca 12% masowych cementu, 3% pyłu krzemionkowego, bez dodatku zmielonego wapienia, zaś najmniejszą (1,10 MPa) zaprawa nr 16 zawierająca 6% cementu, 9% pyłu i 15% wapienia. Wszystkie zaprawy uszczelniające spełniły, ze sporym zapasem, wymagany normą [10] warunek dotyczący przyrostu masy nie większy niż 20 g po 7 dniach poddania działaniu wodą pod ciśnieniem. Największą ilość zaabsorbowanej wody zawierała zaprawa nr 13 (15% cementu, brak pyłu, 15% zmielonego wapienia), a najmniejszą – zaprawa nr 4 (6% masowych cementu, 9% masy pyłu krzemionkowego i brak wapienia).

Komputerowo obliczona sumaryczna powierzchnia porów mierzona na powierzchni przełomu badanych próbek w przypadku wszystkich modyfikacji była nie większa niż 5%. Najmniejszą porowatość na powierzchni przełomu stwierdzono w przypadku zaprawy nr 4 (6% cementu, 9% pyłu, brak wapienia), a największą – zaprawy nr 13 (15% cementu, brak pyłu, 15% wapienia).

Na fotografii 2 przedstawiono mikrostrukturę próbek o najmniejszej (zaprawa nr 4) oraz największej (zaprawa nr 13) porowatości. Widoczne są wyraźne różnice w liczbie oraz średnicy porów na powierzchni badanych próbek. W zaprawie nr 4 znajduje się mniejsza liczba porów o znacznie mniejszej średnicy w porównaniu z zaprawą nr 13.



Fot. 2. Wykonane metodą SEM zdjęcia mikrostruktury: a) zaprawy nr 13 (15% cementu, brak pyłu, 15% wapienia); b) zaprawy nr 4 (6% mas. cementu, 9% pyłu krzemionkowego, brak zmielonego wapienia)

Photo 2. SEM photos of the microstructure of: a) mortar 13 (15% cement, no dust, 15% limestone); b) mortar 4 (6% cement, 9% silica fume, no limestone powder)

Analiza wyników

Zgodnie z tabelą 2 dodatek superplastyfikatora pozwolił na uzyskanie wymaganej konsystencji zaprawy uszczelniającej przy redukcji ilości wody zarobowej o ok. 20%. Ograniczenie udziału wody przełożyło się na poprawę przyczepności zaprawy do podłoża betonowego o ok. 40%. Dodatek superplastyfikatora miał również korzystny wpływ na zmianę wodoszczelności zaprawy – w próbce z jego udziałem ilość zaabsorbowanej wody zmniejszyła się o 20% w porównaniu z próbką bez tego dodatku.

Na rysunku 3 oraz w tabeli 2 zaprezentowano wpływ pyłu krzemionkowego w przypadku różnej zawartości zmielonego wapienia na przyczepność zaprawy uszczelniającej do podłoża betonowego. Stwierdzono, że wraz ze zwiększaniem się udziału masowego zmielonego wapienia przyczepność się zmniejsza. Próbki zawierające 15% wapienia charakteryzowały się o 12 – 20% mniejszą przyczepnością w porównaniu z próbkami bez dodatku wapienia. W próbkach bez wapienia i z wapieniem w ilości 5%, przy zastąpieniu 3% cementu pyłem, przyczepność zwiększyła się. Dalsze zwiększenie udziału pyłu krzemionkowego (10 i 15% mas.) skutkowało nieznacznym pogorszeniem przyczepności (o $1 \div 2\%$). Największy spadek przyczepności odnotowywano w przypadku zapraw w których 6% masowych stanowił cement i 9% masowych pyłu. W większości przypadków

nastąpiło zmniejszenie przyczepności o 10% zaprawą bez pyłu, w której 15% masowych stanowił cement. W przypadku próbki zawierającej $7 \div 10\%$ masowych wapienia stwierdzono spadek przyczepności o 12% w porównaniu z zaprawą z 15% mas. cementu, niezawierającą pyłu.

Niekorzystny wpływ zwiększenia ilości dodatku wapienia i pyłu krzemionkowego potwierdziły wyniki badań zamieszczone na rysunku 2a. Ponadto analizując model statystyczny stwierdzono, że większy wpływ na spadek przyczepności zaprawy uszczelniającej do podłoża betonowego ma zmielony wapień niż pył krzemionkowy. Można też zauważyć, że wraz ze zwiększeniem ilości zmielonego wapienia wodoszczelność zaprawy pogarsza się. Ilość zaabsorbowanej wody w próbkach zawierających 15% masowych zmielonego wapienia była 3 – 4-krotnie większa niż w przypadku próbek bez wapienia. Należy jednak zaznaczyć, że próbki z największym udziałem wapienia wynoszącym 15% mas. (próbki nr 13 – 16) nadal z dużym zapasem spełniają wymagania normy [10].

W przypadku zamiany części cementu na pył krzemionkowy można dostrzec zbliżoną do liniowej tendencję zmniejszenia ilości wody zaabsorbowanej przez próbkę wraz ze zwiększeniem udziału masowego pyłu. Poprawa wodoszczelności przy największym udziale pyłu wynosiła $30 \div 40\%$ w porównaniu z próbkami bez pyłu. Zwiększenie ilości zaabsorbowanej wody przy zwiększeniu udziału zmielonego wapienia może mieć związek z hydrofilowym charakterem tego dodatku – cząsteczki znajdujące się w przypowierzchniowej części zaprawy zwiększały tendencję do magazynowania wody. Niekorzystny wpływ zwiększenia ilości dodatku wapienia na przepuszczalność wody potwierdziły również wyniki badań zamieszczone na rysunku 3a. Stwierdzono, że zwiększenie przepuszczalności wody wraz ze wzrostem ilości zmielonego wapienia ma charakter liniowy. Z analizy jednoczesnego wpływu pyłu krzemionkowego i zmielonego wapienia na przepuszczalność wody wynika, że wraz ze zwiększeniem ilości pyłu w recepturze intensywność niekorzyst-

negu wpływu wapienia na przepuszczalność wody jest mniejsza.

W celu wyjaśnienia wpływu analizowanych składników na przepuszczalność wody przeprowadzono badania porowatości zaprawy w przypadku przełomu próbki. Wyniki przedstawione na rysunku 4 wskazują, że obliczona komputerowo sumaryczna powierzchnia wolnych przestrzeni na powierzchni przełomu zwiększała się wraz ze zwiększaniem ilości wapienia. W przypadku 15% masowych wapienia wyznaczona powierzchnia porów próbki była dwukrotnie większa niż w próbkach bez tego dodatku. Zaobserwowano również tendencję do niewielkiego spadku porowatości powierzchniowej zaprawy wraz ze stopniowym zastępowaniem cementu pyłem krzemionkowym. Najmniejszą porowatość miała próbka nr 4 – bez wapienia, z największym udziałem pyłu.

Stwierdzono też (fotografia 2), że próbki bez pyłu są bardziej porowate – próbka zawierająca 9% pyłu ma mniejszą liczbę porów, o znacznie mniejszej średnicy w porównaniu do wolnych przestrzeni w próbce bez pyłu. Uzyskane wyniki wodoszczelności (rysunek 3, tabela 2) można powiązać z badaniami sumarycznej powierzchni porów znajdujących się na powierzchni próbek (rysunek 4). Fizyczne wypełnianie wolnych porów na powierzchni próbki prowadziło do zmniejszenia ilości absorbowanej wody.

Podsumowanie

- Dodatek zmielonego wapienia ma negatywny wpływ zarówno na przyczepność zaprawy do podłoża betonowego, jak i jej szczelność. Mimo to, modyfikowane zaprawy nadal z dużym zapasem spełniały wymagania norm stawiane zaprawom uszczelniającym. Gorszą wodoszczelność można łączyć ze wzrostem powierzchni porów na powierzchni zaprawy wraz ze zwiększaniem ilości tego dodatku. W analizowanym układzie zastosowanie zmielonego wapienia należy uznać za zbędne.

- Zamiana części cementu na pył krzemionkowy spowodowała pogorszenie przyczepności do podłoża. Natomiast stwierdzono poprawę wodoszczelności wyrażonej jako ilość zaabsor-

bowanej wody. Analiza mikroskopowa wykazała pozytywny wpływ tego dodatku na zmniejszenie powierzchni porów w zaprawie.

- Pomimo niewielkiego spadku przyczepności do podłoża, uzyskane wyniki pozwalają na zastosowanie pyłu krzemionkowego w składzie zapraw uszczelniających. Zmodyfikowana cementowo-polimerowa zaprawa uszczelniająca charakteryzuje się bardzo korzystnymi właściwościami, szczególnie w przypadku wodoszczelności spełnia wymagania normowe i ma pozytywny wpływ na redukcję śladu węglowego, ze względu na zastąpienie pyłem krzemionkowym części wysokoemisyjnego cementu portlandzkiego CEM I.

Literatura

- [1] Giergiczyński Z. Popiół lotny w składzie cementu i betonu. 2013. Gliwice. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [2] Dąbrowski M, Małolepszy J. Właściwości betonu z cementów żużlowo-wapiennych. Drogi i Mosty. 2010; 4: 5 – 28.
- [3] Pichniarczyk P. Cementy z dodatkiem wapienia. Budownictwo, Technologie, Architektura. 2010; 3: 62 – 63.
- [4] Messaoudene I, Jaubertie R, Rechache A, Bounechada A. Wytrzymałość trójskładnikowych cementów z dodatkiem proszku marmurowego i naturalnej pucolany. Cement Wapno Beton. 2015; 1: 32 – 37.
- [5] Beddar M, Meddah A, Boubakria M, Haddad N. Badania wpływu częściowego zastąpienia klinkieru przez wapień w produkcji cementu. Cement Wapno Beton. 2014; 3: 185 – 193.
- [6] Gil DM, Golewski GL. Ocena zastosowania popiołów lotnych i mikrokrzemionki w betonie. Przegląd Budowlany. 2019; 90: 142 – 145.
- [7] Gil DM, Golewski GL. Analiza odporności na pękanie betonów z dodatkiem popiołów lotnych i mikrokrzemionki. Materiały Budowlane. 2016; 11: 116 – 117.
- [8] Brachaczek W, Chleboś A, Giergiczyński Z. Influence of Polymer Modifiers on Selected Properties and Microstructure of Cement Waterproofing Mortars. Materials. 2021; 14 (24): 7558.
- [9] PN-EN 1015-3: Metody badań zapraw do murów. Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplwywu).
- [10] PN-EN 14891:2017 Wyroby nieprzepuszczające wody stosowane w postaci ciekłej pod płytki ceramiczne mocowane klejami. Wymagania, metody badań, ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych, klasyfikacja i znakowanie.
- [11] PN-EN 1015-12:2016 Metody badań zapraw do murów. Część 12: Określenie przyczepności do podłoża stwardniałych zapraw do tynkowania zewnętrznego i wewnętrznego.

Przyjęto do druku: 06.12.2022 r.