



## Zeolit jako dodatek do zapraw i betonów

Maria Pietras<sup>1</sup>, Janusz Konkol<sup>2</sup>

### STRESZCZENIE:

Zeolity są obecnie coraz częściej wykorzystywane w różnych dziedzinach przemysłu. Wnioski z licznych badań wskazują jednoznacznie na ich korzystne właściwości, które znajdują zastosowanie m.in. w budownictwie. Celem artykułu jest opisanie wpływu zeolitów na właściwości kompozytów cementowych oraz przedstawienie wyników badań własnych. Badanie przeprowadzono na zaprawie z dodatkiem zeolitu w ilości 10% masy cementu, określając wytrzymałość na zginanie i ściskanie po 3, 7 i 28 dniach dojrzewania. Przeprowadzono także badania fraktograficzne na uzyskanych w badaniu wytrzymałości na zginanie powierzchniach przełomów.

### SŁOWA KLUCZOWE:

zeolit; zaprawa; wytrzymałość na zginanie; wytrzymałość na ściskanie; fraktografia

## 1. Wprowadzenie

Zeolity wzbudzają zainteresowanie naukowców od dziesięcioleci, o czym świadczy mnogość prac i badań prowadzonych w tym zakresie. Zdaniem Hashimoto [1], każde badanie przynosi nowe informacje na temat możliwości wykorzystania tych związków. Opracowuje się specjalne moduły, według których otrzymywane są zeolity o określonych właściwościach chemicznych, które w następstwie tego są wykorzystywane w konkretnych celach. Podobnie jest w przypadku kompozytów cementowych, w skład których wchodzi zeolity zmieniające w sposób celowy właściwości fizyczne materiałów o matrycy cementowej.

Rozwój badań nad właściwościami zeolitów i możliwościami ich wykorzystania w budownictwie współgra z rozwojem zainteresowania i potrzebami na trwałe, ekologiczne, ekonomiczne i estetyczne materiały. Użyte do produkcji kompozytów cementowych zeolity zmieniają ich właściwości w taki sposób, że zwiększa się ich użyteczność i podnosi poziom podstawowych cech fizycznych, takich jak wytrzymałość, sprężystość, odporność na działanie czynników agresywnych. Możliwość zmiany tych cech powodują, że dzięki dodaniu zeolitów w odpowiednich proporcjach do konkretnych zapraw cementowych można uzyskać materiał o pożądanym właściwościach.

## 2. Zeolit – jego budowa i właściwości

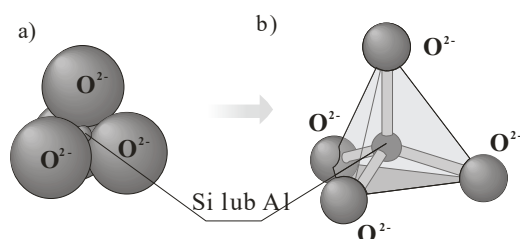
Zeolity, odkryte w 1756 roku przez szwedzkiego mineraloga Axel Frederic von Cronstedt, to glinokrzemiany o budowie krystalicznej i porowatej. Zasadniczymi elementami budowy krystalicznej zeolitów są tetraedry  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  oraz  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Model przestrzenny anionu  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  lub  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  tworzą 4 aniony tlenu  $\text{O}^{2-}$  połączone kationem krzemu lub glinu. Znajdujący się

<sup>1</sup> Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, studia doktoranckie, e-mail: d430@stud.prz.edu.pl, orcid id: 0000-0002-7190-5363

<sup>2</sup> Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa, e-mail: janusz.konkol@prz.edu.pl, orcid id: 0000-0002-2474-4958

w centrum tetraedru kation krzemu lub glinu z uwagi na niewielkie rozmiary mieści się w pustce utworzonej przez aniony tlenu (rys. 1). Model tetraedru można przedstawić w postaci modelu czworościanu foremnego powstałego przez połączenie środków anionów tlenu (rys. 1).

Zeolity występują zarówno w środowisku naturalnym, jak i mogą być otrzymywane w kontrolowanych procesach (zeolity syntetyczne). W środowisku naturalnym powstają wskutek działalności wulkanicznej. Posiadają strukturę szkieletową zawierającą wolne przestrzenie (przestrzenie te wypełniają duże jony i cząsteczki wody), co sprawia, że posiadają dużą pojemność sorpcyjną, aktywność katalityczną oraz wysoki poziom selektywności jonowymiennej, która stanowi jedną z podstawowych cech charakteryzujących zeolity naturalne i syntetyczne [2]. Wolne przestrzenie w zeolitach mają postać różnorodnych kanałów i komór, a znajdując się w cząsteczkach wody mogą swobodnie się poruszać. Jedną z cech charakteryzujących zeolity jest zdolność do gromadzenia wody w kanałach krystalicznych. Woda może zostać szybko utracona w wyniku podgrzewania. Warto dodać, że naturalne membrany zeolitowe wykazują tendencję oddzielania wodoru od gazu syntezowego w warunkach podwyższonej temperatury [3]. W takiej sytuacji albo następuje proces zastąpienia jej innymi substancjami, albo ponowne pochłonięcie wody lub też nieodwracalne uszkodzenie struktury cząsteczki [4].



Rys. 1. Budowa tetraedru, a) połączenie atomów w tetraedrze, b) model czworościanu foremnego tetraedru

Obecnie odkrytych zostało ok. 40 różnych typów zeolitów naturalnych i stworzono matryce dla ok. 130 typów zeolitów syntetycznych. Wśród powszechnie występujących zeolitów naturalnych wymienić należy:

- klinoptylolit  $\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ,
- chabazyt  $\text{Ca}_2[(\text{AlO}_2)_4(\text{SiO}_2)_8] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ,
- mordenit  $\text{Na}_8[(\text{AlO}_2)_8(\text{SiO}_2)_{40}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

W przypadku zeolitów syntetycznych o ich zastosowaniu decyduje średnica wlotowa kanałów. Zbyt mała uniemożliwia wymianę jonową [4].

Od lat czterdziestych XX wieku główną metodą uzyskiwania syntetycznych zeolitów jest metoda hydrotermalna (hydrotermiczna). Zachodzi ona w temperaturze  $80 \div 350^\circ\text{C}$ . Zeolity syntetyczne uzyskuje się dzięki zastosowaniu jednej z trzech możliwości [4]:

- odczynników chemicznych, które zawierają krzemiany sodu i gliniany sodu,
- surowców mineralnych, wykorzystuje się tu np. materiały ilaste, kaoliny, tufy,
- odpadów stanowiących produkty uboczne spalania węgla, czyli popioły lotne lub żużle.

Obecnie wielu badaczy [5-7] podkreśla, iż przy zastosowaniu odpowiedniej metody zeolity syntetyczne można uzyskać z każdego rodzaju popiołu. Popioły są odpowiednim materiałem do syntezy zeolitów, ponieważ w swoim składzie zawierają wysokie wskaźniki Si i Al, których proporcje warunkują wytworzenie określonego typu syntetycznego zeolitu. Jak podano w pracy [5] wśród innych warunków, które znacząco wpływają na proces tworzenia zeolitów i ich późniejsze właściwości, wymienić należy:

- warunki, w jakich zachodzi proces syntezy,
- zawartość Ca w popiołach wykorzystywanych w procesie syntezy,
- udział fazy krystalicznej.

Synteza chemiczna zeolitów składa się z trzech etapów. W pierwszym etapie zachodzi rozpuszczanie się szkła glinokrzemianowego. W drugiej fazie dochodzi do odkładania się żelu glinokrzemianowego. Ostatnia faza to krystalizacja zeolitu z żelu [6].

Biorąc pod uwagę zawartość  $\text{SiO}_2$ , zeolity dzieli się na trzy rodzaje:

- niskokrzemowe (rodzaj A) –  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2$ ;
- średniokrzemowe (rodzaj X) –  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,2 \div 3,3$ ;
- wysokokrzemowe (rodzaj Y) –  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,1 \div 6,0$  [7].

Podsumowując, należy stwierdzić, że zeolity, zarówno pochodzenia naturalnego, jak i syntetyczne stanowią jeden z ważniejszych obiektów badań, co wynika z ich szerokiego zastosowania i pozytywnego wpływu na właściwości materiałów wykorzystywanych w różnych dziedzinach przemysłu. Pożądane właściwości tych związków oraz ich modyfikujący wpływ na inne produkty powoduje, że badania nad zastosowaniem zeolitów są obecnie prowadzone na szeroka skalę.

### 3. Zeolity a produkty hydratacji cementu

Możliwości wykorzystania dodatków o aktywności pucolanowej zajmują coraz ważniejszą rolę w produkcji kompozytów cementowych. Biorąc pod uwagę omawiane wcześniej właściwości zeolitów, ich wykorzystanie w produkcji cementu i zapraw o matrycy cementowej, zasadnym jest przybliżenie ich wpływu na produkty hydratacji cementu.

Przeprowadzone dotychczas przez Małolepszego i Grabowską [8] badania wykazały, że domieszka zeolitów w kompozytach cementowych modyfikuje ich właściwości związane z użytkowalnością. Wśród tych właściwości wskazuje się na ciepło hydratacji, czas wiązania, wytrzymałość na ściskanie, wodoszczelność i odporność na działanie czynników korozyjnych.

W literaturze przedmiotu podkreśla się, że pomimo wzrostu zainteresowania zeolitami i ich wpływem na właściwości zapraw o matrycy cementowej, jak dotąd nie ma wielu badań, które określałyby wpływ zeolitów na proces hydratacji cementu [8, 9]. W szczególności chodzi tu o badania w warunkach naturalnych, hydrotermalnych i niskoprężnego naparzenia [8].

Małolepszy i Grabowska [8] przeprowadzili badania mające na celu ocenę wpływu klinoptylolitu na proces hydratacji cementu. W badaniach zastosowano metodę mikrokalorymetrii oraz badania skaningowe SEM, proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej XRD i różnicową analizę termiczną z analizą termogravimetryczną DTA/TG. Wykonali oni także wstępną ocenę właściwości wytrzymałościowych spoiw i cementu zawierającego zeolit. Uzyskane wyniki badań wskazały jednoznacznie, że w trakcie badania składu fazowego badanych komponentów cementowych, na rodzaj i ilość powstałych produktów hydratacji wpływa zawartość zeolitu i warunki dojrzewania. Małolepszy i Grabowska [8] stwierdzili, że przy naturalnym dojrzewaniu zaczynów największą grupę produktów hydratacji stanowi faza C-S-H z niewielką ilością hydrogranatu [ $\text{C}_2\text{ASH}_8$ ] oraz uwodnionego glinianu wapienia [ $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ ]. Wykazali, że stopniowe wydłużanie czasu dojrzewania oraz zwiększanie temperatury powodują wzrost ilości produktów hydratacji. Z kolei badania DTA pozwoliły wywnioskować, że zwiększa się aktywność pucolanowa zeolitów proporcjonalnie do wzrostu ilości dodanego zeolitu i w tym samym okresie zmniejsza się ilość portlandytów obecnych w zaprawach cementowych. Poza tym w badaniach mikrokalorymetrycznych wykazano zależność między ilością dodanego zeolitu i ciepłem hydratacji oraz okresem indukcji. Stwierdzono bowiem, że im większy dodatek zeolitu do spoiwa, tym mniejsza ilość ciepła w początkowym etapie hydratacji oraz dłuższy okres indukcji. Badania wykazały również, że zeolit poprawia parametry wytrzymałościowe zapraw cementowych oraz wapienno-cementowych. Wykazano także przydatność zeolitów jako dodatku do autoklawizowanych materiałów, takich jak cegły wapienno-piaskowe i beton komórkowy [8, 9]. Jak wykazała Grabowska [9], modyfikacja składu fazowego komponentów cementowych na skutek dodatku zeolitu polega na zmniejszeniu ilości portlandytu przy zmianie stosunku  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  w fazie C-S-H do wartości 1-1,5. W pracy [8], stwierdzono powstawanie hydrogranatów bogatych w krzemionkę ( $\text{C}_x\text{A}_y\text{S}_m\text{H}_n$ ) oraz hydrogelenitu ( $\text{C}_2\text{ASH}_8$ ), co było główną przyczyną zmniejszonej ilości  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  w stwardniałym zaczynie cementowym i wzrostu odporności na korozję chemiczną.

Grabowska [9] wykazała także, że dodanie dużej ilości dodatków mineralnych do cementu powoduje podczas hydratacji powstanie fazy C-S-H przyjmującej postać form żelowych i plastra pszczelego. W późniejszym okresie powstają również submikrokryształiczne włókna. Wszystko to powoduje, że zmienia się struktura mieszaniny, przyjmując postać zwartej mikrostruktury,

w której występuje większa ilość porów zamkniętych, a tym samym zmniejsza się ilość porów kapilarnych.

Na uwagę zasługuje fakt, iż pomimo rosnącego zainteresowania dodatkami mineralnymi do materiałów budowlanych badań w tym zakresie jest wciąż niewiele i, jak zauważa Grabowska [9], dotyczy to szczególnie badań w zakresie udziału zeolitów w procesie hydratacji cementu.

#### 4. Wpływ zeolitu na cechy fizyczne kompozytów o matrycy cementowej

Cement to układ złożony z wielu minerałów, które reagują z wodą w różnym z różną szybkością, dając produkty uwodnienia o różnym składzie i krystaliczności oraz wpływają na właściwości produktu końcowego (zaprawa lub beton). Gdy dojdzie do kontaktu zaczynu cementowo-wodnego z minerałem zeolitym szkielet glinokrzemianowy zeolitu zaczyna się rozkładać pod wpływem działania OH<sup>-</sup> w roztworze o wysokim pH [10].

Badanie Grabowskiej [9] wykazało, że wraz z dodatkiem zeolitu (klinoptylolitu) zwiększa się ilość C-S-H i zmniejsza ilość portlandytu wskutek bezpośredniego wiązania Ca(OH)<sub>2</sub> z udziałem aktywnych składników klinoptylolitu. Klinoptylolit naturalny wpłynął korzystnie na wiązanie jonów siarczanowych w stwardniałym betonie. Cementy z dodatkiem zeolitu naturalnego wykazały zwiększoną odporność na działanie siarczanów. Można z nieodpornego na siarczany cementu CEM I otrzymać cement siarczanoodporny CEM II/B przy zawartości 25% dodatku zeolitu [9].

Konca [11] przeprowadził badanie, którego celem była ocena wpływu zeolitu na cechy fizyczne cementu portlandzkiego. Wykorzystane zostały dwa rodzaje zeolitu. Na podstawie wnikliwych badań stwierdzono, że dodatek zeolitu w proporcji 20% powoduje głównie:

- zmniejszenie nasiąkliwości i niewielki wzrost zawartości powietrza w świeżej zaprawie,
- poprawę wytrzymałości na ściskanie po 14 dniach (tendencja ta utrzymywała się również po 90 dniach),
- zwiększenie wytrzymałości na zginanie o około 30% po 90 dniach,
- zwiększenie mrozoodporności o około 20%.

Konca [11] stwierdził, że zeolit może być stosowany w zaprawach jako alternatywa dla pyłu krzemionkowego. Uzyskał on zbliżone rezultaty badanych parametrów dla obu zapraw.

Procesy zachodzące przy udziale zeolitów są podobne jak podczas hydratacji cementu, co powoduje, że wzrasta wytrzymałość betonów na ściskanie i zginanie. Poprawia się również wodoszczelność, mrozoodporność, odporność na czynniki agresywne, ograniczona zostaje możliwość ewentualnych wykwitów wapiennych oraz zmniejsza się skurcz. Dodatek mineralny do betonu o zawartości klinoptylolitu powyżej 70% pozwala także na zwiększenie plastyczności tynków, szpachli i zapraw [12]. Dodatek zeolitu do zapraw tynkarskich w odpowiednich proporcjach nadaje tym tynkom cechy tynków renowacyjnych [13].

Podsumowując, można stwierdzić, że dodatek zeolitów wpływa pozytywnie na cechy kompozytów o matrycy cementowej, zarówno samych zapraw i spoiw cementowych, jak i betonów oraz zapraw tynkarskich.

#### 5. Przyczynek do badań własnych powiązania właściwości zapraw modyfikowanych zeolitem z morfologią przełomów

W ramach prac własnych podjęto nierozpoznaną jeszcze kwestię powiązania właściwości zapraw z dodatkiem zeolitu, takich jak wytrzymałość na ściskanie i zginanie z morfologią powstałych na skutek zniszczenia powierzchni przełomów tych zapraw.

Założono przeprowadzenie badań na zaprawie cementowej z 10% udziałem zeolitu w stosunku do początkowej masy cementu o wskaźniku w/s (woda/spoiwo) 0,51. Zeolit zastosowano jako częściowy substytut cementu. Zaprawę wykonano na cemencie CEM I 42,5 R, piasku płukany kwarcowym frakcji do 2 mm z m. Strzegocice oraz zeolitu Firmy Astra Technologia Betonu. W celu uzyskania odpowiedniej konsystencji zaprawy (rozplływ 19,25 cm) użyto upłynniacza Sikamet 400/30 w ilości 1,98% masy spoiwa. Skład zaprawy zestawiono w tabeli 1.

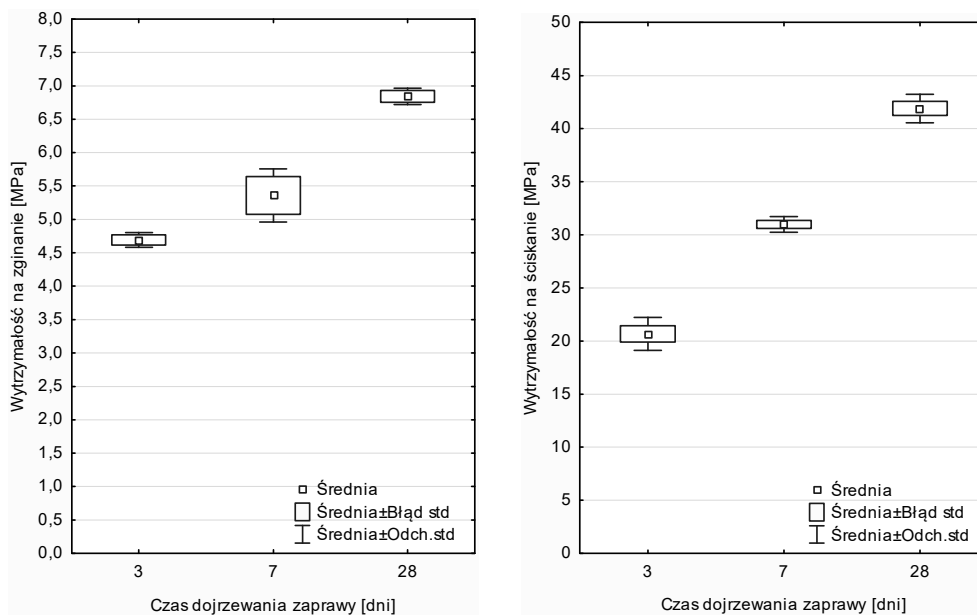
**Tabela 1**Skład zaprawy z 10% udziałem zeolitu o  $w/s = 0,51$ 

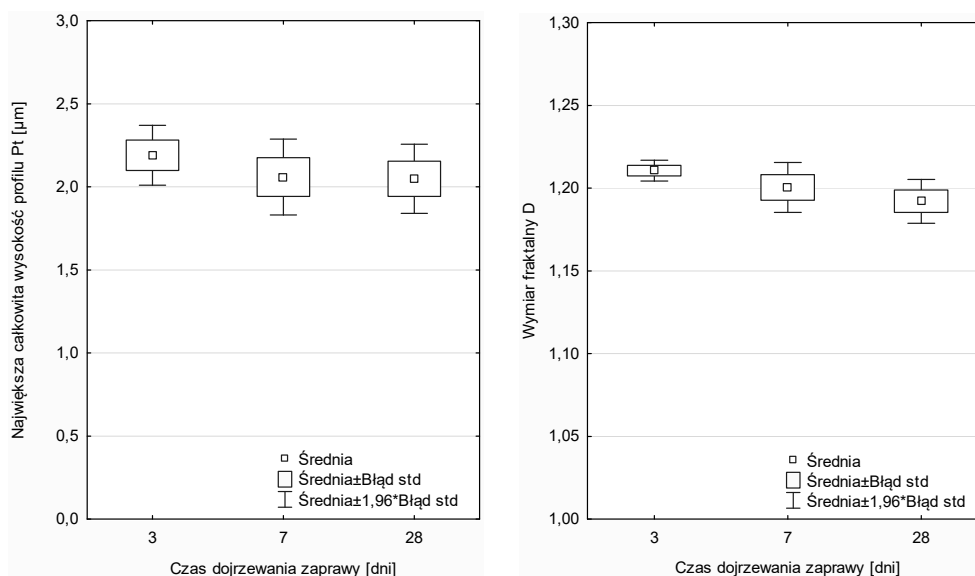
Składniki zaprawy	Ilość składnika, g
Piasek	1350
CEM I 42,5R	405
Zeolit	45
Woda (łącznie ilość wody zarobowej)	229,5
Superplastyfikator	8,9

Badania przeprowadzono na beleczkach o wymiarach 40×40×160 mm po 3, 7 i 28 dniach dojrzewania. Badaniu wytrzymałości zaprawy na zginanie podano po 3 beleczki dla każdego okresu dojrzewania zapraw. Natomiast badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na połówkach beleczek uzyskanych po padaniu wytrzymałości na zginanie.

Powstałe na skutek zniszczenia beleczki w próbie zginania wykorzystano do oceny morfologii powstałych powierzchni przełomu. Do oceny ilościowej wykorzystano dwa parametry fraktograficzne: największą całkowitą wysokość profilu ( $Pt$ ) oraz wymiar fraktalny ( $D$ ). Badania przeprowadzono z użyciem profilometru laserowego Talysurf CLI 1000 oraz programu Taly-Map. Na powierzchniach przełomów zapraw zostały wydzielone po 12 linii profilowych o długości 30 mm każda. Dokonano pomiaru linii profilowych z krokiem dyskretyzacji 1  $\mu\text{m}$ , co dało 30 001 punktów opisujących linię profilową. Badania przeprowadzono metodą pojemnościową, określając wymiar fraktalny na podstawie zależności bilogarytmicznej logarytmu z liczby pudełek, w których znajduje się badana struktura do logarytmu z wielkości pudełka. Wartości średnie każdego parametru fraktograficznego obliczono na podstawie analizy 36 (dla wyników po 3 dniach) lub 24 (dla wyników po 7 i 28 dniach) linii profilowych.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki badań odpowiednio wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie zapraw oraz największej całkowitej wysokości profilu chropowatości  $Pt$  i wymiaru fraktalnego  $D$ .

**Rys. 2.** Wytrzymałość na zginanie i ściskanie zapraw modyfikowanych zeolitem o  $w/s = 0,51$



Rys. 3. Największa całkowita wysokość profilu  $Pt$  i wymiar fraktalny linii profilowych wydzielonych z powierzchni przełomów zapraw modyfikowanych zeolitem o  $w/s = 0,51$

Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariancji testem Fishera-Snedecora przy założonym poziomie istotności 0,05. W wyniku przeprowadzonej analizy wykazano istotność wpływu czasu dojrzewania na określone parametry wytrzymałościowe (wytrzymałość na zginanie i ściskanie) i fraktograficzne (największej całkowitej wysokości profilu chropowatości  $Pt$  oraz wymiaru fraktalnego  $D$ ), wykazano brak podstawy do przyjęcia hipotezy o równości średnich tych parametrów.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono wzrost wytrzymałości na zginanie i ściskanie zapraw modyfikowanych zeolitem w trakcie dojrzewania między 3 a 28 dniem dojrzewania odpowiednio o 45,8 i 102,7% oraz wykazano zmniejszenie stopnia chropowatości powierzchni przełomów zapraw (zmniejszenie największej całkowitej wysokości profilu  $Pt$  oraz wymiaru fraktalnego  $D$ ) odpowiednio o 6,4 i 1,7%. Należy zaznaczyć, że niewielkie zmiany w parametrach fraktograficznych są istotnymi statystycznie, co wykazano w zastosowanym teście Fishera-Snedecora.

Tendencja wzrostowa wytrzymałości na zginanie i ściskanie zaprawy z zeolitem w trakcie 28. dojrzewania koresponduje ze spadkiem wartości obu parametrów fraktograficznych ( $Pt$  i  $D$ ). Można podejrzewać, że jest to spowodowane wzmocnieniem mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego na skutek zachodzących reakcji hydratacji oraz reakcji zeolitu z produktami hydratacji cementu portlandzkiego. Tworzona bardziej zwarta struktura stwardniałego zaczynu cementowego wpływa na uzyskiwanie w wyniku zniszczenia bardziej płaskich powierzchni przełomów zaprawy.

## 6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury oraz wstępnych badań własnych stwierdzono:

1. Zeolity są cennym materiałem modyfikującym właściwości materiałów, w tym zapraw i betonów, nadając im pożądane cechy. Wiele badań wskazuje, że dodatek zeolitu do zaprawy cementowej i betonów wpływa na właściwości tych produktów, podnosząc ich wytrzymałość na ściskanie, zginanie, wodoodporność, mrozoodporność oraz odporności na czynniki agresywne.

2. Modyfikacja właściwości materiałów o matrycy cementowej z udziałem zeolitów nie jest dokładnie rozpoznana, pomimo wzrostu zainteresowania ich wykorzystaniem i rozwojem w budownictwie.
3. Zastosowanie dodatków o aktywności pucolanowej wynika z różnych przesłanek: ekonomicznych, ekologicznych oraz polityki zrównoważonego rozwoju.
4. Możliwe jest powiązanie właściwości zapraw modyfikowanych zeolitem z morfologią powstałych na skutek zniszczenia powierzchni przełomów opisanych parametrami fraktograficznymi, w tym wymiarem fraktalnym.

## Literatura

- [1] Hashimoto S., Zeolite photochemistry: impact of zeolites on photochemistry and feedback from photochemistry to zeolite science, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 2003 4, 19–49.
- [2] Petranowski V., Chaves-Rivas F., Hernandez Espinoza M.A., Pestryakov A., Kolobova E., Potential uses of natural zeolites for the development of new materials: short review, *Matec Web of Conferences*, 85, 1-5.
- [3] Feng C., Khulbe K.C., Matsuura T., Farnood R., Ismail A.F., Recent Progress in Zeolite/Zeotype Membranes, *Journal of Membrane Science and Research* 2015, 1, 49-72.
- [4] Łach M., Mikuła J., Greła A., Alkaliczna aktywacja metakaolinu oraz jego mieszanin z popiołem lotnym, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2014, 4, 63-76.
- [5] Franus W., Wdowin M.: Wykorzystanie popiołów lotnych klasy F do produkcji materiału zeolitowego na skalę półtechniczną, *Polityka Energetyczna* 2011, 2, 79-91.
- [6] Ściubidło A., Majchrzak-Kucęba I., Nowak W., Wpływ składu chemicznego popiołów lotnych na efektywność procesu syntezy zeolitów Na-X, [w:] J. Ozonek, A. Pawłowski (red.), *Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, Warszawa 2009, 225-237.
- [7] Żygadło M., Seweryn A., Woźniak M., Synteza zeolitów na bazie popiołów lotnych z wybranych instalacji odzysku ciepła, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2010, 1, 15-26.
- [8] Małolepszy J., Grabowska E., Wpływ zeolitów na proces hydratacji spoiw mineralnych, *Budownictwo i Architektura* 2013, 3, 185-192.
- [9] Grabowska E., Wpływ zeolitu na hydratację cementu i jego właściwości, *Rozprawa doktorska AGH, Kraków* 2016.
- [10] Vogiatzis D., Kantiranis N., Filippidis A., Tzamos E., Sikalidis C., Hellenic Natural Zeolite as a Replacement of Sand in Mortar: Mineralogy Monitoring and Evaluation of Its Influence on Mechanical Properties, *Geosciences* 2012, 2, 298-307.
- [11] Konca P., The effect of pozzolans addition on cement mortars, *Czasopismo Inżynierii lądowej, Środowiska i Architektury* 2018, 65, 109-116.
- [12] <https://www.liderbudowlany.pl/artykul/materialy-budowlane/beton/dodatek-mineralny-do-betonu-astraz-50/>, odczyt z dnia 06.04.2020.
- [13] Barnat-Hunek D., Klimek B., Franus W., Wpływ dodatku zeolitu na właściwości fizykomechaniczne tynków renowacyjnych, *Izolacje* 2014, 9.

## Zeolite as an additive for mortars and concretes

### ABSTRACT:

Nowadays, zeolites are being used more and more in various fields of industry. Conclusions from numerous studies indicate their favourable properties for use in construction and architecture. The aim of the article is to provide a description of zeolites' influence on the properties of cement composites and to present the author's own test results. The tests were conducted on mortar with the addition of zeolite in the amount of 10% cement weight, and determined the flexural and compressive strength, after 3,7 and 28 days of curing. Some fractographic research was also conducted on the obtained results from the flexural strength test, and surface breakthroughs.

### KEYWORDS:

zeolite; mortar; flexural strength; compressive strength; fractography