

Odporność na Korozję Geopolimeru na Bazie Popiołu Lotnego

P. Mazur ^a, J. Mikuła ^b, J. S. Kowalski ^{b, *}

^a Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

^b Instytut Inżynierii Materiałowej, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

* Corresponding author. E-mail address: jskowal@mech.pk.edu.pl

Received 25.03.2013; accepted in revised form 06.05.2013

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania w zakresie nowego materiału inżynierskiego jakim staje się geopolimer. Jest materiałem z którego można tworzyć warstwy ochronne, co prawda posiada dużą zdolność do pochłaniania wilgoci jednak jego skład jest silnie zasadowy i przez to jego nasiąkanie nie wpływa niekorzystnie na chronioną konstrukcję. Badania obejmują wpływ różnych środowisk korozyjnych na zmianę masy badanych próbek w trakcie badania jak również na strukturę powierzchni w skali makroskopowej.

Słowa kluczowe: Innowacyjne materiały, Geopolimer, Korozja, Ochrona antykorozyjna, Struktura powierzchni

1. Wprowadzenie

Tworzywa geopolimerowe tworzą rodzinę nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych, wykazujących szereg właściwości umożliwiających im zastąpienie popularnych tworzyw inżynierskich. Prowadzone są intensywne badania w kraju i na świecie mające na celu wprowadzenie tworzyw geopolimerowych do powszechnego użytku. Głównym proponowanym ich zastosowaniem jest zastąpienie przez nie powszechnie stosowanych spoiw budowlanych opartych na bazie cementu portlandzkiego. Wyglądem przypominają wspomniany wcześniej cement portlandzki lub naturalny kamień. Masy geopolimerowe można stosować, jako spoiwo do różnorodnych materiałów, po do daniu do nich kruszywa osiąga się strukturę przypominającą powszechnie stosowane betony cementowe, jednakże materiał powstały z użyciem geopolimeru pod każdym względem przewyższa popularne betony wysokiej jakości.

Głównymi zaletami tworzyw geopolimerowych jest ich wysoka ogniotrwałość, czy wyższą pod każdym względem

wytrzymałość mechaniczną od cementu portlandzkiego, duże znaczenie ma również ich silnie zasadowy skład.

Posiadanie przez tworzywo geopolimerowe składu zasadowego pozwala na jego łączenie z powszechnie stosowanymi w przemyśle i budownictwie stalami, unikając przy tym jednocześnie powstawania w miejscu ich połączenia ogniw korozyjnych. Na Politechnice Krakowskiej prowadzone są szeroko zakrojone badania dotyczące właściwości tegoż tworzywa jak również tworzenia nowych materiałów na jego podstawie i poszukiwania dla nich nowych zastosowań. Jedną z części prowadzonych badań poświęcona jest odporności korozyjnej geopolimeru na szereg środowisk chemicznych jak również możliwości łączenia nowego tworzywa z powierzchniami stalowymi w celu ich ochrony przed korozją.

Duża odporność korozyjna geopolimeru na szereg silnie korozyjnych środowisk występujących w przemyśle chemicznym jak również jego odporność na ścieranie i wysokie temperatury pozwala upatrywać jego nowe zastosowania. Tworzywo to może zostać wykorzystane przy tworzeniu powłok ochronnych na rurociągach i kominach przemysłowych, jak również

innych dużych konstrukcjach nie tylko w przemyśle. Biorąc pod uwagę relatywnie niskie koszty wykonania powłoki geopolimerowe możemy uzyskać skuteczne zabezpieczenie antykorozyjne nawet przy wysokich temperaturach bez ponoszenia wysokich nakładów finansowych, uzyskując zarazem izolację termiczną.

Mimo iż większość tworzyw geopolimerowych posiada dużą chłonność a w środowiskach zawierających elektrolit na granicy metal - geopolimer może pojawić się elektrolit to dzięki silnie zasadowemu składowi tworzywa geopolimerowego na styku powierzchni nie zostaną powstawać ogniwa korozyjne. Duża chłonność wilgoci może być również wykorzystana, jako zaleta np. do osuszania lub kontroli wilgotności pomieszczeń, których ściany są nim pokryte.

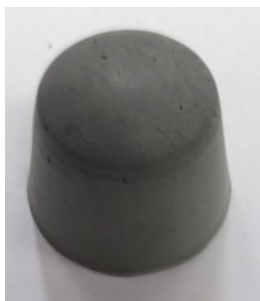
2. Część doświadczalna

2.1. Materiał do badań

Badania antykorozyjne geopolimeru opartego na popiołach i produktach pochodzenia węglowego służące określeniu odporności na działanie różnych środowisk korozyjnych.

Tabela 1.
Skład próbek geopolimerowych

Skład próbek	Parametry fizyczne
- 100[g] popiołu lotnego - 3[g] NaOH - 25 [ml] szkła wodnego - 10 [ml] H ₂ O - 2,5 [ml] plastyfikatora	-masa m \cong 15,2 [g]



Rys. 1 Przykładowa próbka przed rozpoczęciem badań

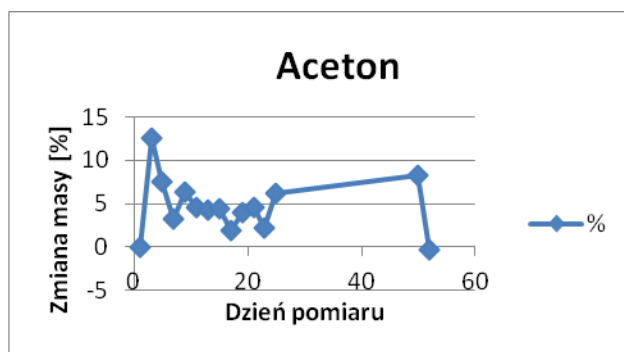
W opracowaniu planu przeprowadzonych badań wzięto pod uwagę aspekty odporności korozyjnej geopolimeru na szereg środowisk jak również jego chłonności i zróżnicowanie stężenia roztworu NaOH jak również kwasu solnego. Cykl badawczy został zaplanowany na okres 49 dni przebywania próbek badawczych w każdym z roztworów. W trakcie trwania badań masa próbek była sprawdzana, co dwa dni do 26 dnia a następnie w 49 dniu, poczym próbki zostały wyjęte z roztworów i osuszane przez dwa dni na wolnym powietrzu.

Tabela 2.
Roztwory użyte do badań

Skład roztworu	Stężenie
H ₂ O (woda sieciowa wodociągowej)	
H ₂ O+NaCl	3%
H ₂ O+NaCl 75°C	3%
H ₂ O+NaOH 3%	3%
H ₂ O+NaOH 5%	5%
H ₂ O+NaOH 10%	10%
Aceton	100%
H ₂ O+HCl 5%	5%
H ₂ O+HCl 10%	10%

2.2. Wyniki badań i ich dyskusja

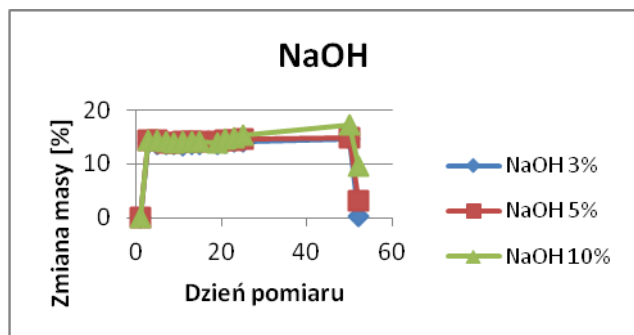
Aby uniknąć błędów w trakcie przeprowadzania badań w każdym z roztworów umieszczono po trzy próbki kontrolne eliminujące możliwość wystąpienia przypadkowych zjawisk wpływających na wyniki końcowe. Przy pomiarach ubytku masy wszystkich próbek zastosowano tą samą procedurę osuszania powierzchni próbek z roztworów przed kontrolą masy, z wyjątkiem próbek umieszczonych w acetonie. Właściwości tworzywa geopolimerowego do oddawania zmagazynowanej wilgoci jak również silnie lotne właściwości acetonu uniemożliwiały powtarzalny pomiar masy. Szybkie oddawanie zmagazynowanej substancji na powierzchni zewnętrznej badanej próbki i silnie lotnym właściwości acetonu umożliwiały jego szybkie odparowanie, co wiązało się z bardzo szybkim ubytkiem masy i uniemożliwiało dokładny pomiar masy. Zastosowano, więc standardową procedurę osuszania powierzchni poczym próbki przez 40 minut odparowywały na wolnym powietrzu umożliwiło to dokonanie pomiaru masy, lecz również nie był on powtarzalny.



Rys. 2. Wykres zależności zmiany masy od dnia pomiaru dla próbek zanurzonych w acetonie.

Na podstawie otrzymanych wyników próbek umieszczonych w acetonie a więc nieznacznemu ubytkowi masy rzędu niespełna 1% (mogący wynikać z cyklu pomiaru masy) i braku wyraźnych zmian powierzchni zewnętrznych wynika, iż tworzywo wykazuje odporność na ten związek.

W roztworów NaOH w przypadku każdego stężenia roztworu zaobserwowano przechodzenie z roztworu w głąb materiału Na, co powodowało w trakcie trwania badań znaczący wzrost masy próbek jak i utratę twardości powierzchni.

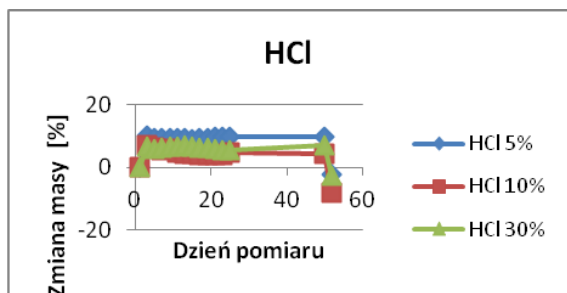


Rys. 3. Wykres zależności zmiany masy od dnia pomiaru dla próbek zanurzonych w NaOH.

Po osuszeniu próbek jedynie próbki z 3% roztworu zachowały swoją masę początkową i strukturę. Przy pozostałych stężeniach roztworu a więc 5% i 10% wystąpiło przesylenie powierzchni zewnętrznych tworzywa geopolimerowego i wzrost masy próbek, co prowadziło do powstania pęknięć w materiale po jego osuszeniu. Stężenie 5% spowodowało płytkie pęknięcia powierzchniowe jednakże przy stężeniu 10% pęknięcia były tak głębokie iż eliminowały materiał całkowicie z użycia w tym środowisku.



Rys. 4. Próbkę z roztworu NaOH 10%



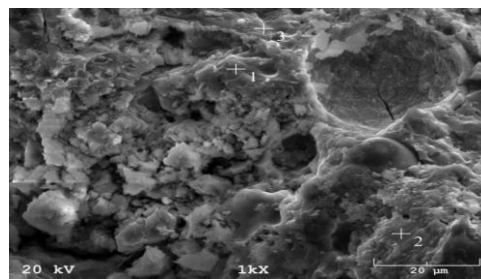
Rys. 5. Mikrostruktura Geopolimeru a roztworu NaOH 10%

Stężenie Na w badanych próbkach z roztworu NaOH 10% przy powierzchni przekraczało wartość 20% i malało wraz z odległością od powierzchni zewnętrznej. Tak znaczące przejęcie Na z roztworu spowodowało jego przesylenie co przełożyło się na zniszczenie materiału.

Tabela 3. Skład geopolimeru umieszczonego w NaOH 10%

Elt.	Intensity (c/s)	Conc	Error 2-sig	MDL 3-sig
O	139,17	54,188	1,743	0,728
Na	136,61	23,667	0,777	0,364
Mg	2,33	0,401	0,259	0,369
Al	43,80	5,835	0,383	0,319
Si	116,70	13,568	0,492	0,272
K	7,88	0,870	0,166	0,185
Ca	9,58	1,097	0,174	0,179
Fe	1,60	0,376	0,224	0,299
		100,000		

Jako jedyne ze wszystkich badanych próbek znaczący ubytek masy zanotowały próbki z roztworów HCl. Wzrost ubytek masy w badanych próbkach nie był związany ze wzrostem stężenia roztworu kwasu solnego.



Rys. 6. Wykres zależności zmiany masy od dnia pomiaru dla próbek zanurzonych w HCl

Jak widać z przedstawionego wykresu przy stężeniu kwasu solnego wynoszącego 5% i 30% zaobserwowano podobny ubytek masy wynoszący około 2,5%, a przy stężeniu pośrednim wynoszącym 10% kwasu solnego ubytek masy wynosi 8,2%.

Niski ubytek masy próbek z roztworu HCl 5% związany jest z odpornością tworzywa geopolimerowego na kwas solny w roztworach zawierających niskie stężenia tego kwasu.

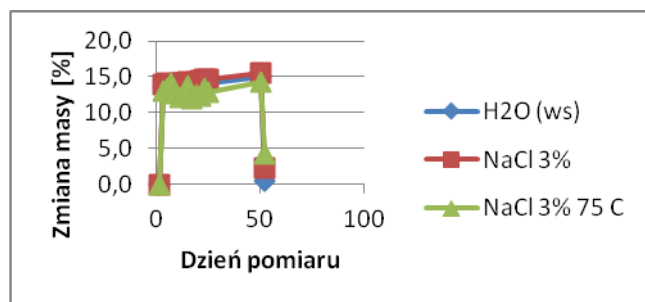
W przypadku próbek znajdujących się w roztworze HCl 30% na powierzchni próbek utworzyła się szczelna warstwa dobrze przylegającego osadu hamującego procesy korozyjne.



Rys. 7 Próbki z roztworu HCl 30%

Na próbkach w roztwoże HCl 10% również zaczęła tworzyć się warstwa osadu jak przy stężeniu 30% jednakże nie powstała szczelna warstwa osadu na powierzchni próbki. Zważywszy na wysokie stężenie kwasu i brak szczelnej warstwy osadu próbki ulegały szybkiemu procesowi korozji.

W pozostałych roztworach nie zaobserwowano postępowania procesów korozyjnych a jedynie tworzenie się osadu powstałego z związków mineralnych zawartych w roztworach.



Rys. 8. Graficzne zestawienie wyników zmiany masy

Z otrzymanych wyników dla wszystkich roztworów wynika iż tworzywo posiada bardzo dobre właściwości hidroskopijne pozwalające na zwiększenie masy nawet o 15% poprzez wchłanianie roztworu. Zauważyć należy jednak iż zależności procentowe wchłoniętego roztworu różnią się między sobą o około 5%. Ilość wchłoniętego roztworu określa różnica masy pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem masy badanych próbek, z kolei tworzywo geopolimerowe było w stanie oddać

cały wchłonięty roztwór (wilgoć) do otoczenia w ciągu poniżej 48 godzin. Masa końcowa próbek to masa początkowa próbek plus osad wytrącony z roztworu lub masa przejętych przez geopolimer jonów z roztworu.

3. Podsumowanie

Badania wykazały szereg właściwości tworzywa geopolimerowego umożliwiających zastosowanie go jako materiału odpornego na działanie różnych środowisk agresywnych. Dzięki swoim unikalnym właściwościom higroskopijnym tworzywo to może być używane do kontroli wilgotności w środowiskach chemicznych, poprzez wchłanianie nadmiaru wilgoci z produktów przemysłu chemicznego. Pomieszczenia lub zbiorniki magazynowe których ściany wykonane były by z tworzywa geopolimerowego umożliwiały by utrzymanie w magazynowanej substancji stałego poziomu wilgotności.

Wykazano dużą odporność tworzywa na 30% kwas solny. Wskazuje to na możliwość stosowania tegoż tworzywa w rurociągach przemysłowych transportujących również stężone kwasy, a jego zasadowy skład uniemożliwiałby tym samym powstawanie procesów korozyjnych na stalowych ściankach, które pokryte byłyby materiałem geopolimerowym. Wszystkie otrzymane wyniki są bardzo obiecujące jednakże wymagają przeprowadzenia szerszych badań potwierdzających poprawność otrzymanych wyników.

Literatura

- [1] Stansbury, E. E. & Buchanan, R. A. (2000). *Fundamentals of Electrochemical Corrosion*. ASM International.
- [2] Surowska, B. (2002). *Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją*. Lublin: Politechnika Lubelska.
- [3] Bartoszewski, M., Filipowicz, S. F. (2007). *Wybrane zagadnienia ochrony katodowej rurociągów przed korozją*. Praca instytutu elektrotechniki. 232.
- [4] Mięka, J. (1979). *Technika wytwarzania powłoki ochronnej*. Rzeszów: Wyd. Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.

Corrosion Resistance of Geopolymer – Based Fly Ash

Abstract

Geopolymer is a material that could form a protective layer on the metal. Geopolymer well as a material absorbing moisture, for example, can be used to control other humidity. Is a material which can easily remove the moisture from the solid material and transport it to the atmosphere. Geopolymer the moisture absorption does not increase its volume. My work contains tables of weights placed in their samples in specific environments. Charts weight change during the study as well as a description and photos of the surface changes. I hope that my work will contribute to increased knowledge about to expand the knowledge of corrosion and its negative impact. It will also help to familiarize yourself with the material that is geopolymer and its properties in different environments.