

Wybrane właściwości geopolimerów z wykorzystaniem żużla powstałego w wyniku zgazowania plazmowego odpadów medycznych

dr inż. Justyna Ciemnicka, dr hab. inż. Karol Prałat, prof. uczelni, dr inż. Artur Koper, mgr inż. Małgorzata Brych-Dobrowolska, Instytut Budownictwa, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska, dr inż. Katarzyna Buczkowska, Department of Material Science, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Liberec, Czech Republic

1. Wprowadzenie

Pandemia COVID-19 spowodowała wytworzenie znaczących ilości odpadów medycznych stanowiących zagrożenie zarówno dla zdrowia ludzi, jak i dla środowiska [1]. Światowa Organizacja Zdrowia podaje, że do listopada 2021 roku w związku z pandemią wyprodukowano 87 tys. ton odpadów medycznych. Szacuje się, że szczepienia przeciwko SARS-COV-2 wygenerują ok 144 tys. ton odpadów medycznych. Niestety nie wszystkie odpady trafiły do utylizacji. WHO podaje, że ok 26 ton środków ochrony osobistej trafiło do mórz i oceanów. Statystyki te ukazują, jak ważnym aspektem jest unieszkodliwienie odpadów medycznych. Proces unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów medycznych polega na ich termicznym przekształceniu, którego produktem ubocznym jest żużel. Zalegające hałdy odpadów stają się poważnym problemem środowiskowym, co sprawia, że podejmowane są działania zmierzające do ich ograniczenia. Jedną z potencjalnych metod częściowej redukcji tych odpadów jest ich powtórne wykorzystanie, np. do modyfikacji materiałów budowlanych. Materiałami, które doskonale nadają się do modyfikowania, są geopolimery. Są to nieorganiczne materiały polimerowe, o amorficznej, trójwymiarowej strukturze sieciowej. Materiały te wytwarzane są przez połączenie bogatych materiałów zawierających krzemionkę i tlenek glinu z roztworami

silnie alkalicznymi [2–7]. Ze względu na wysoką wytrzymałość na ściskanie, niski skurcz, doskonałą mrozoodporność, odporność na wysokie temperatury i kwasoodporność coraz szybciej rośnie zainteresowanie opisywanymi materiałami [8–11]. Oprócz dobrych parametrów technicznych charakteryzują się one również ekologicznością. Synteza geopolimerów pochłania od dwóch do trzech razy mniej energii niż produkcja cementu portlandzkiego [12].

2. Materiały

Wykorzystany w badaniach cieplnych kompozyt geopolimerowy składał się ze spoiwa glinokrzemianowego na bazie metakaolinu. Był on aktywowany szkłem wodnym potasowym. Wykorzystane spoiwo wytworzone zostało przez Baucis LK (České Lupkové Závody, Nové Strašecí, Czech Republic). Do wytworzenia badanych kompozytów na Politechnice w Libercu zastosowano piasek techniczny o wyjątkowo wysokiej zawartości SiO_2 (99,4%) i niskiej zawartości Fe_2O_3 (0,04%). Piasek ten charakteryzował się średnią wielkością ziaren 0,570 mm. Szkło wodne potasowe zostało dodane do proszku glinokrzemowego w stosunku masowym 1:0,9. Tak przygotowany geopolimer modyfikowano dodatkiem żużla powstałego w wyniku zgazowania plazmowego odpadów medycznych. Po zgazowaniu odpad został

dodatkowo zmielony. Geopolimer modyfikowano poprzez dodanie 1, 2, 3, 5, 7, 10 i 15% zmielonego żużla w stosunku masowym do proszku glinokrzemianowego. Skład kompozytu geopolimerowego przedstawiono w tabeli 1.

Otrzymany geopolimer został umieszczony w formach o wymiarach 10x10x10 cm i pozostawiony na dwie godziny. Po tym czasie próbki razem z formą zawinięto w folię na 48 godzin. Po wyjęciu kompozytów z form ponownie owinięto je w folię w celu zminimalizowania odparowania wody z próbki i wydłużeniu czasu reakcji polimeryzacji

Tabela 1. Skład badanych kompozytów geopolimerowych

Badana próbka	Metakaolin [g]	Aktywator [g]	Piasek [g]	Żużel [g]
Próbka referencyjna (P0)	100	90	100	-
P1	100	90	100	1
P2	100	90	100	2
P3	100	90	100	3
P5	100	90	100	5
P7	100	90	100	7
P10	100	90	100	10
P15	100	90	100	15



Rys. 1. Aparat ISOMET 2114 podczas wykonywania pomiaru

geopolimeru. Tak przygotowane próbki pozostawiono na okres 26 dni w temperaturze 20–22°C i wilgotności wynoszącej 52–54%. W dalszym etapie zostały one wyjęte z folii i sezonowane przez trzy dni w tych samych warunkach cieplno-wilgotnościowych. Ze względu na transport próbek z Czech

do Polski, przed badaniami cieplnymi, kompozyty zostały dodatkowo dosuszone w ciągu 48 godzin w cieplarni, w temperaturze 60°C w celu eliminacji ewentualnej wilgoci wynikającej z różnych warunków podczas transportu.

3. Stanowisko pomiarowe

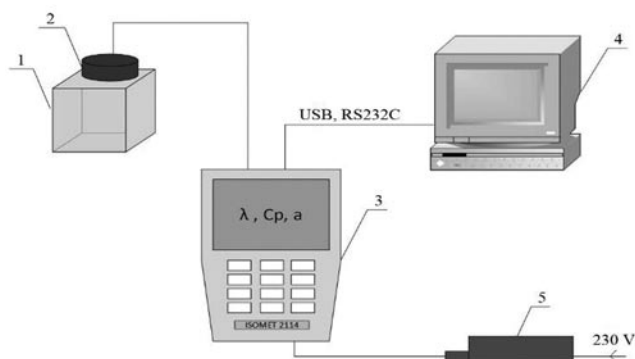
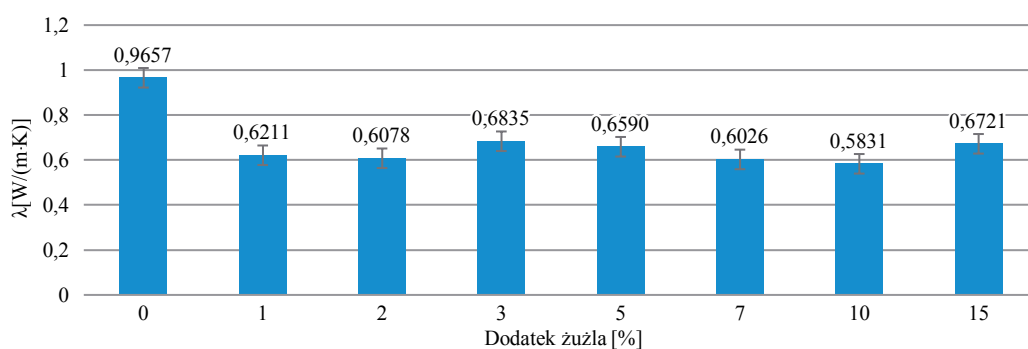
Właściwości cieplne nie są związane z trwałością materiałów budowlanych, jednak mają one bardzo duży wpływ na ich zachowanie podczas różnych warunków eksploatacyjnych. W ocenie autorów dopiero znajomość zarówno parametrów cieplnych oraz mechanicznych nowych materiałów geopolimerowych może wykazać pełniejszy obraz ich ewentualnej przydatności w budownictwie.

Do badań parametrów cieplnych wytworzonych geopolimerów wykorzystano urządzenie Isomet 2114 (rys. 1). Jego działanie opiera się na analizie zmian temperatury wynikających z odpowiedzi badanego materiału na przepływ impulsów cieplnych. Znana jest ilość ciepła wytwarzanego przez urządzenie podczas trwania badania. Wzrost temperatury próbki zmienia się liniowo wraz z logarytmem czasu. Dzięki tej zależności możliwe jest obliczenie przewodności cieplnej próbki. Schemat wykorzystanego stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 2.

4. Uzyskane wyniki badań

Wykonano pomiary cieplne wszystkich modyfikowanych próbek, mierząc: przewodnictwo cieplne λ , objętościową pojemność cieplną C_v , oraz dyfuzyjność cieplną a , zawsze wykonując 6 serii pomiarowych

Rys. 3. Wartości przewodnictwa cieplnego λ w zależności od ilości zastosowanego dodatku żużla



Rys. 2. Schemat stanowiska eksperymentalnego do pomiaru właściwości cieplnych materiałów budowlanych [13, 14]: 1 – badana próbka, 2 – sonda, 3 – urządzenie Isomet 2114, 4 – komputer, 5 – zasilacz

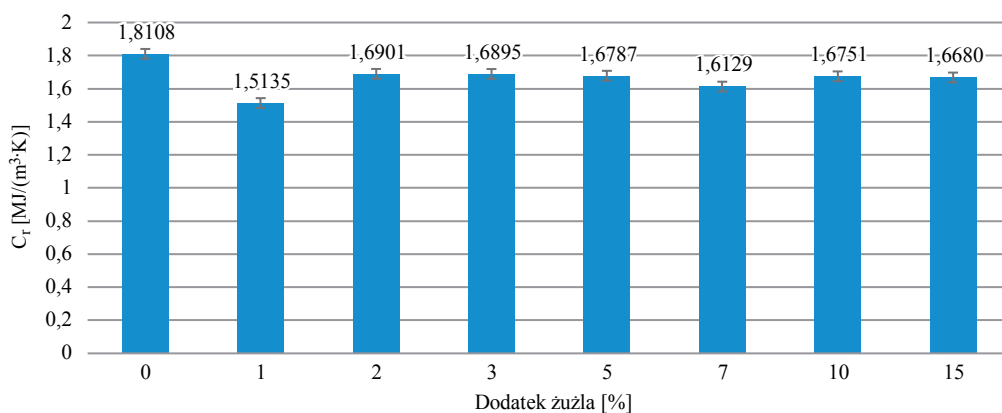
dla 6 próbek każdego wariantu. Otrzymane wyniki badań charakteryzowały się średnim współczynnikiem zmienności o wartości 0,84%. Współczynnik ten w żadnym z badanych kompozytów nie przekroczył 2,2%. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 3–5.

Próbka referencyjna charakteryzowała się współczynnikiem przewodzenia ciepła o wartości 0,9657 W/(m·K). Dodatek żużla będącego odpadem po plazmowym zgazowaniu odpadów medycznych spowodował wyraźny spadek wartości tego parametru. Już zastosowanie w mieszanke 1% masowego żużla w stosunku do suchego proszku glinokrzemianowego spowodowało spadek współczynnika przewodzenia ciepła do 0,6211 W/(m·K). Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że najkorzystniejsze parametry cieplne modyfikowanych geopolimerów uzyskano poprzez dodatek 10% masowych żużla w stosunku do suchego proszku glinokrzemianowego.

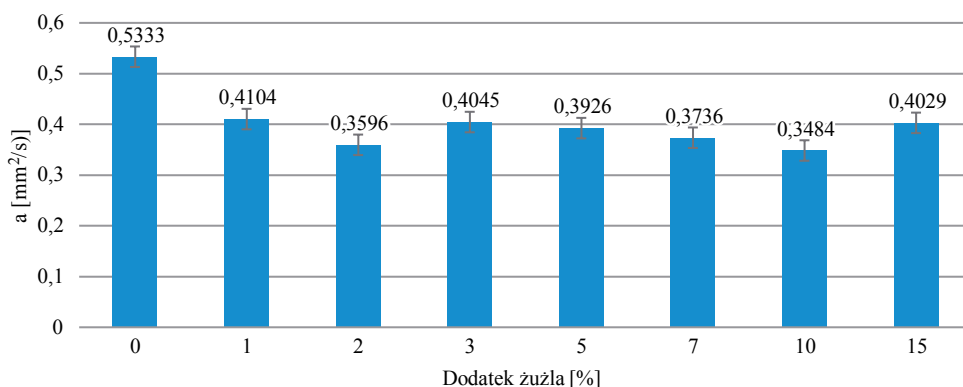
Kolejnym badanym parametrem była objętościowa pojemność cieplna. Wartości tego parametru dla poszczególnych kompozytów geopolimerowych zestawiono na rysunku 4. Dodatek żużla spowodował spadek objętościowej pojemności cieplnej geopolimeru. Największy spadek wartości tego parametru odnotowano dla kompozytu zawierającego dodatek 1% masowego żużla.

Trzecim badanym parametrem cieplnym była dyfuzyjność cieplna, czyli stosunek przewodnictwa cieplnego substancji do zdolności magazynowania ciepła przez substancję. Materiały mające mniejszą dyfuzyjność cieplną potrzebują więcej czasu,

Rys. 4. Wartości objętościowej pojemności cieplnej C_v , w zależności od ilości zastosowanego dodatku żużla



Rys. 5. Wartości dyfuzyjności cieplnej a w zależności od ilości zastosowanego dodatku żużla



aby osiągnąć stan ustalony. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 5. Kompozyty zawierające dodatek żużla charakteryzują się znacznie niższymi wartościami dyfuzyjności cieplnej niż próbka referencyjna. Spotykane są publikacje opisujące wykorzystanie żużla w wytwarzaniu produktów geopolimerowych [15–17]. Prace te zawierają jednak badania związane z wytrzymałością na zgnanie i wytrzymałością na ściskanie otrzymanych kompozytów. Autorzy niniejszej publikacji również prowadzą takie badania, dotychczas jeszcze nie opublikowane.

5. Podsumowanie

Stwierdzono, że dodatek żużla z procesu plazmowego spalania odpadów medycznych znacząco zmniejsza przewodzenie ciepła kompozytów geopolimerowych. Dodatek 10% masowych zmielonego żużla w stosunku do proszku glinokrzemianowego zmniejszył wartość współczynnika przewodzenia ciepła o 40%. Poza oczywistym aspektem poprawy parametrów cieplnych materiału należy zauważyć, że zastosowanie żużla jest sposobem zagospodarowania pozostałości po zgazowaniu odpadów, co stanowi niezwykle pozytywny aspekt ekologiczny.

Kompozyty modyfikowane żużlem charakteryzują się również niższymi wartościami dyfuzyjności cieplnej i objętościowej pojemności cieplnej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wieczorek A., Siekiński M., Gospodarka odpadami Odpady medyczne, MAZOWSZE Studia Regionalne, 40, 2022, str. 9–26
- [2] Davidovits J., Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. J. Ceram. Sci. Technol. 8(3)2017, str. 335–350
- [3] Kalaw M. E. et al., Optimizing and Characterizing Geopolymers from Ternary Blend of Philippine Coal Fly Ash, Coal Bottom Ash and Rice Hull Ash, Materials 9(7)2016, str. 580

- [4] Hájková P., Kaolinite claystone-based geopolymer materials: Effect of chemical composition and curing conditions. Minerals 8(10)2018, str. 444
- [5] Prochon P. et al., Influence of activators on mechanical properties of modified fly ash based geopolymer mortars, Materials 13(5)2020, str. 1033
- [6] Samantasinghar S., Singh S. P., Effect of synthesis parameters on compressive strength of fly ash-slag blended geopolymer, Constr. Build. Mater. 170, 2018, str. 225–234
- [7] Rocha S. et al., Metakaolin-based geopolymer mortars with different alkaline activators (Na+ and K+), Constr. Build. Mater. 178, 2018, str. 453–461
- [8] Xie J. et al., Sulfate resistance of recycled aggregate concrete with GGBS and fly ash-based geopolymer, Materials 12(8)2019, str. 1247
- [9] Yan, D. et al., Compositional Dependence of Pore Structure, Strength and Freezing-Thawing Resistance of Metakaolin-Based Geopolymers, Materials 13(13)2020, str. 2973
- [10] Rovnaník P., Šafránková K., Thermal Behaviour of Metakaolin/Fly Ash Geopolymers with Chamotte Aggregate, Materials 9(7)2016, str. 535
- [11] Punurai W., Kroehong W., Saptamongkol A., Chindaprasit P., Mechanical properties, microstructure and drying shrinkage of hybrid fly ash-basalt fiber geopolymer paste. Constr. Build. Mater. 186, 2018, str. 62–70
- [12] Alsaman A. et al., Energy and CO₂ emission assessments of alkali-activated concrete and Ordinary Portland Cement concrete: A comparative analysis of different grades of concrete. Cleaner Environmental Systems, 3/2021, str. 100047
- [13] Prałat K. et al., Comparison of the Thermal Properties of Geopolymer and Modified Gypsum. Polymers, 13(8)2021, str. 1220, doi:10.3390/polym13081220
- [14] Prałat K., Kubissa W., Jaskulski R., Pilarczyk S., Wpływ wybranych mikro-dodatków na przewodnictwo cieplne oraz mikrostrukturę powierzchni modyfikowanych gipsów (in Polish). (Influence of selected micro-additives on thermal conductivity and microstructure of modified gypsum), Acta Sci. Pol. Archit. 18, 2019, str. 69–75
- [15] Zarębska K., Klima K., Ziótkowski A., Kamienowska M., Czuma N., Baran P., Synteza geopolimerów z wykorzystaniem żużla wielkopiecowego, Przemysł Chemiczny 2019, 98
- [16] Ram G. H., Sreenivas B. S., Seshu D. R., Wytrzymałość betonu geopolimerowego opartego na żużlu i popiole lotnym, Cement Wapno Beton, tom 22/84 nr 2, 2019, str. 85–91
- [17] Sikora, S., et al., Wpływ granulowanego żużla wielkopiecowego na kształtowanie właściwości mechanicznych zaczynów geopolimerowych z popiołu krzemionkowego, Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych 10, 2017