

## USAGE OF RED MUD IN GEOPOLYMER MORTAR MIXTURES

**Jelena Bijeljić**

The Academy of applied technical and preschool studied – Department of Niš, Serbia,  
jelena.bijeljic@akademijanis.edu.rs

**Nenad Stojković**

The Academy of applied technical and preschool studied – Department of Niš, Serbia,  
nenad.stojkovic@akademijanis.edu.rs

**Jovan Mišić**

The Academy of applied technical and preschool studied – Department of Niš, Serbia,  
jovan.misic@akademijanis.edu.rs

**Abstract:** Popular techniques of waste treatment are often very expensive and often difficult to access. Nowadays, billions of tons of valuable waste material are deposited in landfills without using potential. The fact that five to ten percent of the total carbon dioxide emissions coming from civil engineering, actually from the production of cement, means that it is necessary to find some alternative materials. Alkali-activated materials - geopolymers are created in order to prevent carbon dioxide emission and to use waste materials. Geopolymers are the result of a chemical process called geopolymerization. They were developed in order to promote fire protection, but their numerous benefits were observed during the laboratory tests. Materials such as industrial by-products might be used as a binder material because their chemical structure is rich in aluminosilicate compounds. As in well-known building materials, as it is here, the application of different binder materials makes a difference in the material structure. During the process of geopolymer mixtures production, binders and alkali activators required more steps than traditional building materials: like blending the binder materials, dissolving the liquid phase, etc., but in the end, the carbon emission is a few times lower when compared to others mixtures. It is clear that the greatest benefit of geopolymer is their ecological aspects.

The paper presents the results of testing the physical, mechanical, and durability characteristics of geopolymer mixtures. Fly ash was used as the primary material, while its partial replacement was made with the addition of red mud. All geopolymer mortar mixes meet the basic requirements in terms of compressive and flexural strengths.

The testing was continued on frost and thaw up to twenty-five cycles. It can be concluded that the coefficient of resistance, in terms of flexural strength is greater than seventy-five percent only in the mixtures made with fifteen percent red mud and on the etalon sample. By calculating the compressive strength resistance parameter, it was concluded that all samples of geopolymer mortar that are made of fly ash and with the addition of red mud are freezing and thawing resistant up to twenty-five cycles..

**Keywords:** geopolymers, red mud, fly ash, strength, frost and thaw resistance

## UPOTREBA CRVENOG MULJA ZA SPRAVLJANJE GEOPOLIMERNOG MALTERA

**Jelena Bijeljić**

The Academy of applied technical and preschool studied – Department of Niš, Serbia,  
jelena.bijeljic@akademijanis.edu.rs

**Nenad Stojković**

The Academy of applied technical and preschool studied – Department of Niš, Serbia,  
nenad.stojkovic@akademijanis.edu.rs

**Jovan Mišić**

The Academy of applied technical and preschool studied – Department of Niš, Serbia,  
jovan.misic@akademijanis.edu.rs

**Abstrakt:** Tehnike za preradu i tretman otpada su često vrslo skupe, a neretko i teško dostupne. milijarde tona vrednog otpadnog materijala deponuje bez ikakvog prethodnog iskorišćenja njegovog potencijala i zanemarivanja njegove tržišne vrednosti. Činjenica da pet do deset procenata ukupne emisije ugljendioksida nastaje usled proizvodnje cementa, dovodi do toga da je neophodno u što kraćem roku naći alternative u upotrebi ovog materijala.

Alkalima aktivirani materijali – geopolimeri su materijali koji nastaju kao posledica hemijskog procesa nazvanog geopolimerizacija. Ova vrsta materijala počela je da se razvija zbog prevencije zaštite od požara, ali su pri ispitivanjima uočeni i njihovi brojni ekološki benefiti. Materijali poput industrijskih nusprodukata najčešće su upotrebljavani kao polazni aluminosilikatni materijali, a primena različitih materijala dovodi do različitosti u pogledu strukture materijala. Kako je pri samom procesu proizvodnje polaznih komponenti, potrebnih za spravljanje geopolimernih mešavina, emisija ugljen mnogostruko manja u odnosu na iste mešavine sa cementnim vezivima, jasno je da postoje veoma opravdani ekološki aspekti korišćenja geopolimernih materijala.

U radu su predstavljeni rezultati ispitivanja fizičkih, mehaničkih i karakteristika trajnosti geopolimernih mešavina. Kao bazični materijal korišćen je elektrofilterski pepeo, dok je njegova deličična zamena izvršena drugim vezivnim materijalom – crvenim muljem. Sve geopolimerne malterske mešavine ispunjavaju osnovne zahteve u pogledu pritiskih i savojnih čvrstoća.

Ispitivanjem otpornosti na dejstvo mraza u trajanju od dvadeset pet ciklusa može se zaključiti da je koeficijent otpornosti u pogledu čvrstoće pri savijanju veći od sedamdeset pet procenata samo kod mešavina spravljene sa petnaest procenata crvenog mulja i na uzorku etalona spravljenom samo sa cementum kao vezivom. Sračunavanjem compressive strength resistance parameter došlo do zaključka da su svi uzorci geopolimernog maltera spravljani na bazi elektrofilterskog pepela i sa dodatkom crvenog mulja otporni na dejstvo smrzavanja i odmrzavanja u trajanju od dvadeset pet ciklusa.

Ekološke i ekonomske prednosti korišćenja geopolimernih materijala ogledaju se u iskorišćenju otpada, kod kojeg je emisija ugljendioksida prilikom njegovog prevođenja iz nusproizvoda u vezivni materijal mala.

**Ključne reči:** geopolimeri, crveni mulj, elektrofilterski pepeo, čvrstoća, mraz

## 1. UVOD

Poslednjih godina u fokusu pažnje su ekološki građevinski materijali. Geopolimeri su kompozitni materijali karakteristika sličnih tradicionalnim cementnim mešavinama. Geopolimeri su alkalima aktivirani aluminosilikatni materijali with a much smaller CO<sub>2</sub> footprint than traditional Portland cements, and display very mechanical and durability properties koji se uglavnom baziraju na otpadnim nusproizvodima najčešće poreklom iz industrijske proizvodnje.

Do sada je veliki broj autora ispitivao mogućnost primene raznih nusproizvoda za spravljanje geopolimernih maltera pri čemu su ispitivane razne fizičke, mehaničke i druge karakteristike. Ispraživanjima je obuhvaćena i mogućnost primene crvenog mulja kao delimične zamene elektrofilterskog pepela, granulisanе zgure, metakaolina i dr. i njegov uticaj na fizičke i mehaničke čvrstoće geopolimernog maltera. M. Zang i drugi su ispitivali geopolimerne mešavine spravljene sa crvenim muljem i elektrofilterskim pepelom pri čemu je u mešavinama menjan nominalni sadržaj Si/Al i Na/Al molarni odnos sirovina, vreme i temperatura očvršćavanja i dr.. K. Kaya i drugi su ispitivali sturturnalne i mehaničke karakteristike geopolimera spravljanih sa promenljivim sadržajem metakaolina i crvenog mulja (od 0 do 40 %). Z. Pan i drugi su ispitivali razvoj čvrstoća i karakteristike poput karbonizacije, uticaj kiselina, sulfatnu otpornost i dr na geopolimerima spravljanim sa 70 % granulisanе zgure i 30 % crvenom mulja.

U ovom radu istraživana mogućnost primene RM kao vezivnog materijala za spravljanje geopolimernih maltera. Kod ispitivanog geopolimernog maltera na bazi FA izvršena je delimična zamena osnovnog veziva RM pri procentualnom udelu 5 %, 10 %, 15 % i 20 %. Ispitivane su mehaničke karakteristike maltera i uticaj ciklusa smrzavanja-odmrzavanja na karakteristike ovih mešavina.

## 2. MATERIJALI I METODE

U ovom radu su kao vezivni materijali korišćeni elektrofilterski pepeo (FA) i crveni mulj (RM). FA nastaje kao nusproizvod iz termoenergetskog postojenja Kostolac “B”, dok RM je nusproizvod koji nastaje pri preradi aluminijuma poreklom iz “Kombinat aluminijuma” Podgorica, Crna Gora. Najpre su FA i RM osušeni do konstantne mase, a zatim su prosejani kroz laboratorijsko sito otvora 0.09 mm. Korišćeni agregat za spravljanje maltera je rečni agregat poreklom iz Južne Morave, maksimalnog zrna 2mm. Kao aditiv za poboljšanje ugradljivosti sveže malterske mešavine korišćen je superplastifikator (SP) SIKA 5380. U mešavinama gde se javila potreba SP je dodavan do zadovoljavajućeg tečenja, kao i extra water koja je bila ista u svim mešavinama.

Hemijski sastav veziva FA i RM dat je u tabeli 1 i dobijen je na primenom hemijske analize i standarda ASTM C618. Korišćeni alkalni aktivator je natrijum hidroksid – (SH) u obliku granula (Oltchim, Romania, p.a. 98,5%), I natrijum silikat Sodium silicate – (SS) (Galenika-Magmasil d.o.o. Serbia, sa odnosom sadržaj SiO<sub>2</sub>:Na<sub>2</sub>O=1:2).

**Tabela 1. Hemijski sastav korišćenih vezivnih materijala**

Hemijski sastav	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
<b>FA</b>	51,7	11,6	20,2	7,4	2,4	1,02	0,12	1,04	0,8	1,04
<b>RM</b>	32,8	4,63	9,92	2,37	0,22	-	-	-	0,12	0,12

Za potrebe rada ispitivano je četiri geopolimerne malterske mešavine i jedna standardna cementna malterska mešavina „E“. Geopolimerne malterske mešavine spravljene su sa FA i RM pri čemu je izvršena procentualno-masena zamena FA sa RM u iznosu 5 %, 10 %, 15 % i 20 % u odnosu na ukupnu količinu veziva. Te mešavine označene su „5 RM“, „10 RM“, „15 RM“ i „20 RM“, respectively. Spravljanje malterskih mešavina izvršeno je u laboratorijkom malterskom mikseru gde je maseni odnos vezivnih materijala i peska bio 1:3. 24 časa pre početka spravljanja vršeno je rastvaranje SH, koji je 30 min pre početka mešanja pomešan sa SS. Nakon sjedinjavanja alkalnih aktivatora izvršeno je dodavanje vezivnog materijala i pasta je sjedinjavana u trajanju od 5 minuta. Zatim je izvršeno dodavanje suvog peska kada je mešanje nastavljeno još 5 minuta. Sastav malterskih mešavina dat je u tabeli 2.

**Tabela 2. Sastav mešavina**

Mixture No.	CEM III	FA [g]	RM [g]	SH/SS	W/B	B/S	SP [%]	Voda [g]
<b>5 RM</b>	-	427,5	22,5	0,19	0,45	1:3	0,3	20
<b>10 RM</b>	-	405	45	0,19	0,45	1:3	-	20
<b>15 RM</b>	-	382,5	67,5	0,19	0,45	1:3	-	20
<b>20 RM</b>	-	360	90	0,19	0,45	1:3	-	20
<b>E</b>	450	-	-	-	0,5	1:3	0,5	225

Elektorfilterski pepeo (FA), crveni mulj (RM), natrijumsilikat (SS), natrijumhidroksid (SH), vezivo (B), pesak (S), superplastifikator (SP)

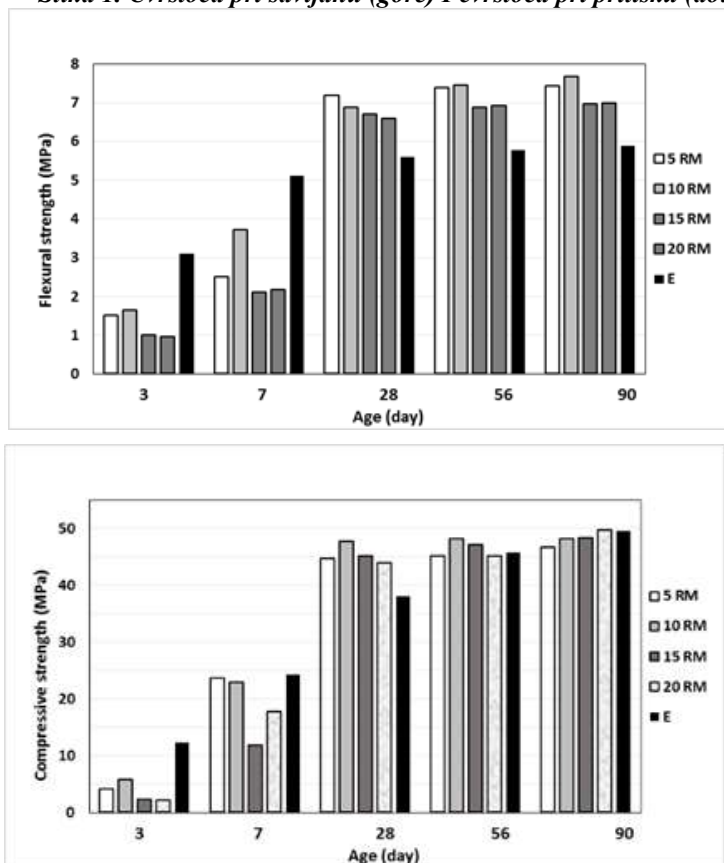
Mehaničke karakteristike geopolimernih malterskih mešavina ispitivane su u očvrslom stanju. Na očvrslim epruvetama oblika prizmi dimenzija 40 x 40 x 160 mm i pri starosti uzoraka od 3, 7, 28, 56 i 90 dana čvrstoća na pritisak i čvrstoća na savijanje prema standardu SRPS EN 196-1:2018. Za svaku maltersku mešavinu napravljen je ukupno petnaest prizmi. Po tri malterske prizme ispitivane su pri svakoj starosti uzoraka.

Na uzorcima serija istog sastava ispitivana je otpornost na dejstvo mraza. Ispitivanje je vršeno na malterskim epruveta dimenzija 4 x 4 x 16 cm pri čemu je praćena promena pritiska i savojne čvrstoće. Za svaku seriju ispitivane su po tri malterke prizme. Uzorci geopolimernih mešavina negovane su pri ambijentalnim uslovima do starosti od 28 dana pri temperaturi od 22 °C, dok je cementa mešavina negovana u vodozasićenom stanju. Po dostizanju starosti od 28 dana uzorci su podvrgnuti testu ciklusima smrzavanja i odmrzavanja. Jedan ciklus sastoji se iz naizmeničnog smrzavanja i odmrzavanja u vodi pri čemu su u svakom ciklusu uzorci 4 sata zamrznuti na temperaturi -20 °C nakon čega su 4 sata potopljeni u vodi standardne temperature. Test je sproveden prema standardu EN 14617-5:2005 u trajanju od 25 ciklusa. Po sprovedenom testu na epruvetama je određena pritisna i savojna čvrstoća. Takođe, izvršeno je sračunavanje KMf 25 i KMc 25 koeficijenata u pogledu otpornosti čvrstoće pri pritisku i čvrstoće širi savijanju. koji su jednaki odnosu RMf i RMc (čvrstoća pri savijanju uzoraka nakon 25 ciklusa zamrzavanja i odmrzavanja) i Rf i Rc (čvrstoća pri pritisku i čvrstoća pri savijanju uzoraka referentnog sastava koji nisu izlagani dejstvu ciklusa zamrzavanja i odmrzavanaj).

### 3. REZULTATE I DISKUSIJA

Očvrslе malterske epruvete oblika prizme ispitivane su prema proceduri propisanoj standardom. Vrednost savojne čvrstoće dobijena je merenjam na tri uzorka pri svakoj starosti, dok je vrednost pritiska čvrstoće merene na šest uzoraka. Rezultati ispitivanja dati su na slici 1.

Slika 1. Čvrstoća pri savijanju (gore) I čvrstoća pri pritisku (dole)



Rezultati ispitivanja pritisne i savojne čvrstoće pri starosti uzoraka od 3, 7, 28, 56 i 90 dana prikazani su na slici 1. Može se zaključiti se sa povećanjem starosti uzoraka povećavaju i čvrstoće maltera. Pri starosti uzoraka od 3 dana najveću savojnu i pritisnu čvrstoću ima uzorak „10 RM“, a oblik dijagrama na oba segmenta dijagrama prikazanih na slici 1 je isti.

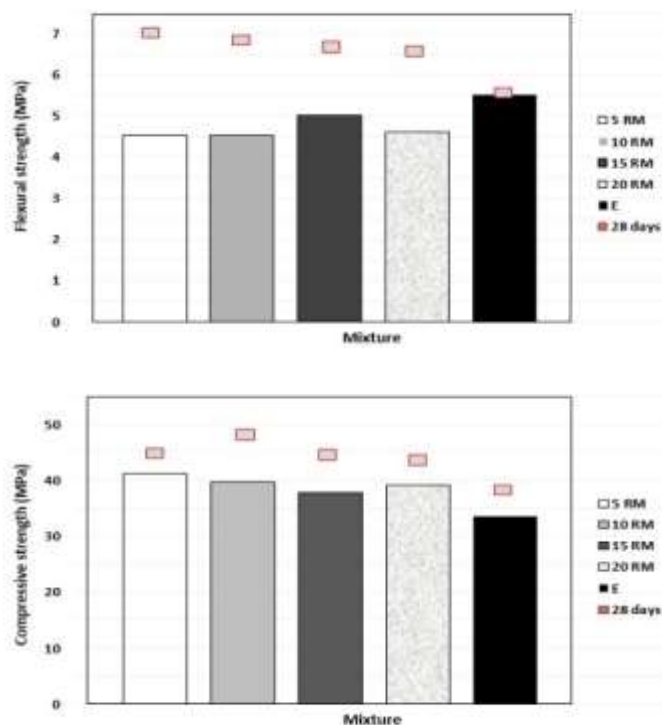
Čvrstoća na savijanje kod uzoraka mešavine „10 RM“ pri starosti od 7 i 28 dana izmerena je 3,73 MPa i 6,87 MPa, respektivno. Pri starosti uzoraka od 28 dana najveća vrednost izmerena je kod uzoraka mešavine „5 RM“ i iznosi 7,2 MPa, što je za oko 4,5% više od mešavine „10 RM“. U kasnijim starostima uzoraka ove dve mešavine imaju približno iste vrednosti. Pri ispitivanju savojne čvrstoće kod mešavina oznaka „15 RM“ i „20 RM“ pri starosti uzoraka od 28 dana izmerene su vrednosti 6,7 MPa i 6,6 MPa (respektivno) i do kraja ispitivanja izmereno je povišenje savojne čvrstoće do oko 5 %.

Prema rezultatima ispitivanja pritisne čvrstoće, prikazanih na slici 1, najveću vrednost čvrstoće na pritisak pri ispitivanoj starosti uzoraka od 3 dana imaju epruvete mešavine etalona „E“ što je za oko 2,1 puta više nego mešavina „10 RM“ kod koje je izmerena najviša pritisna čvrstoća.

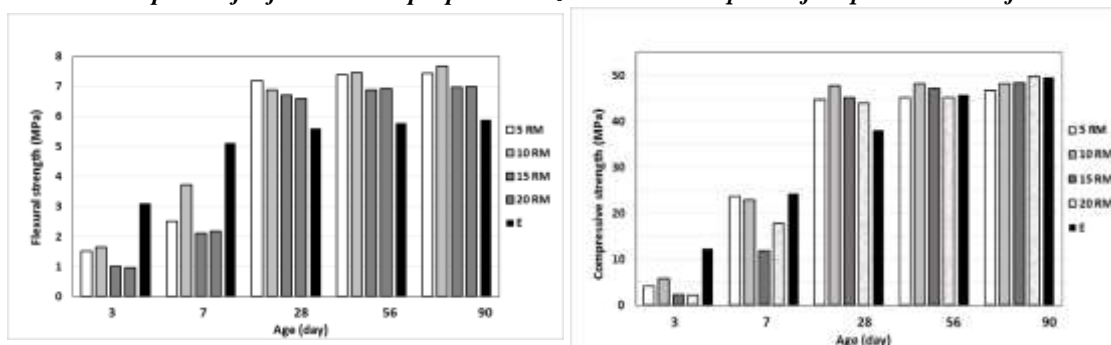
Pri starosti epruveta 28 dana najveća vrednost pritisne čvrstoće izmerena je kod epruveta mešavina oznake „10 RM“ i iznosila je 47,82 MPa što je za oko 25 % više od mešavine etalona „E“ spravljene sa cementom CEM III.

Oblik dijagrama pritisnih čvrstoća pri starosti uzoraka od 28 i 56 dana je isti sa blagim prirastom čvrstoća do 2 MPa koliko je izmereno kod mešavine „15 RM“. Pri starosti uzoraka od 28, 56 i 90 dana uočljiv je prirast pritisnih čvrstoća ali su one, kao i kod ispitivanja savojne čvrstoće, blage sa maksimalnim prirastom do 12 %.

Može se zaključiti da sve geopolimerne malterske mešavine ispunjavaju osnovne zahteve u pogledu pritisnih i savojnih čvrstoća.



Slika 2. Čvrstoća pri savijanju i čvrstoća pri pritisku uzoraka nakon ispitivanja otpornosti na dejstvo mraza



Prilikom merenja savojne čvrstoće i sračunavanja koeficijena otpornosti na dejstvo mraza kod svih uzoraka geopolimernih mešavina sa dodatkom RM primećene je pad savojne čvrstoće. Vrednost ovog koeficijenta određen je za mešavine „5 RM“, „10 RM“, „15 RM“, „20 RM“ i „E“ i iznosi 63 %, 66 %, 75 %, 70 % i 98 %, respektivno.

Koeficijent otpornosti u pogledu čvrstoće pri pritisku je takođe sračunat za mešavine „5 RM“, „10 RM“, „15 RM“, „20 RM“ i „E“ i iznosi 92 %, 83 %, 84 %, 89 % i 88 %, respektivno. Koeficijent otpornosti je veći od 75 % za sve uzorke. Može se zaključiti da su ispitivani uzorci geopolimernog maltera spravljani na bazi FA i sa dodatkom RM otporni na dejstvo smrzavanja i odmrzavanja u trajanju od 25 ciklusa.

## 5. ZAKLJUČAK

Prema dobijenim karakteristikama, može se zaključiti da geopolimerni malteri na bazi FA poreklom iz termoelektrane „Kostolac B“ i sa dodatkom RM mogu biti adekvatna zamena tradicionalnim cementnim mešavinama. Takođe, može se zaključiti sledeće:

- Pri starosti uzoraka od 28 dana sve svi ispitivani uzorci imali su pritisnu čvrstoću preko 44 MPa, tj. preko 46,5 MPa pri starosti od 90 dana.
- Sve geopolimerne malterske mešavine ispunjavaju osnovne zahteve u pogledu pritisnih i savojnih čvrstoća.

- Ispitivanjem otpornosti na dejstvo mraza u trajanju od 25 ciklusa može se zaključiti da je koeficijent otpornosti u pogledu čvrstoće pri savijanju veći od 75 % samo kod mešavina „15 RM“ i „E“.
- Sračunavanjem compressive strength resistance parameter došlo do zaključka da su svi uzorci geopolimernog maltera spravljani na bazi elektrofilterskog pepela i sa dodatkom crvenog mulja otporni na dejstvo smrzavanja i odmrzavanja u trajanju od 25 ciklusa.
- Ekološke i ekonomske prednosti korišćenja geopolimernih materijala ogledaju se u iskorišćenju otpada, kod kojeg je emisija CO<sub>2</sub> prilikom njegovog prevođenja iz nusproizvoda u vezivni materijal mala.
- Neophodno je sprovesti detaljnija ispitivanja fizičkih i mehaničkih karakteristika na malterima, kao i na betonima.

#### LITERATURA

- Abdulkareem O. A., Ramli M., & Matthews J. C. (2019). Production of geopolymer mortar system containing high calcium biomass wood ash as a partial substitution to fly ash: An early age evaluation. *Composites Part B*, Vol. 174, 106941
- Bijeljić J., Ristić N., Grdić Z., Ćurčić G.T., Grdić D., & Krstić D. (2018). Effects of ground granulated blast furnace slag on physical – mechanical characteristics of geopolymer mortars based on fly ash. *14th International Scientific Conference (iNDiS), with Subconference "Eco build"*. University of Novi Sad, Faculty of technical sciences
- Bijeljić J., Ristić N., Grdić Z., Ćurčić G. T., & Đorđević D. (2020). Durability properties of ladle slag geopolymer mortar based on fly ash. *Science od sintering*. Vol. 52(2), pp.
- Candamano S., Luca P. De, Frontera P., & Crea F. (2017). Production of geopolymeric mortars containing forest biomass ash as partial replacement of metakaolin. *Environments*, Vol. 4 (4)
- Dezfouli H. R., & Rangaraju P. R. (2017). A comparative study on the durability of geopolymers produced with ground glass fiber, fly ash, and glass-powder in sodium sulfate solution. *Construction and building materials*. Vol. 153, pp. 996-1009
- Elyamany H. E., Elmoaty A. E. M. A., & Elshaboury A. M. (2018). Magnesium sulfate resistance of geopolymer mortar. *Construction and building materials/* Vol. 184, pp. 111-127
- Gokhan, G., & Gokhan K. (2013). The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolymer mortar cured at different temperatures. *Composites: Part B*. 58. 371-377.
- Pan Z., Li, D., Yu, J., & Yang, N. (2003). Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material, *Cement and concrete research*, 33, 1437-1441
- Pachamuthu S., & Thangaraju P. (2017). Effect of incinerated paper sludge ash on fly ash-based geopolymer concrete. *Grđevinar*. Vol. 69, pp. 851-859
- Sathonsaowaphak, A., Chindaprasirt, P., & Pimraksa, K. (2009). Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar. *Journal of hazardous materials*. 168, 2009, 44-50
- Zhang, M., El-Korchi, T., Zhang, G., Liang, J., & Tao, M. (2014). Synthesis factors affecting mechanical properties, microstructure and chemical composition of red mud-fly ash based geopolymers. *Fuel*. 134, 315-325.