



Mirjana Vukićević<sup>1</sup>  
Veljko Pujević<sup>2</sup>  
Miloš Marjanović<sup>3</sup>  
Sanja Jocković<sup>4</sup>  
Snežana Maraš-Dragojević<sup>5</sup>

UDK:624.131.22:624.138.23

### STABILIZACIJA GLINE VISOKE PLASTIČNOSTI PRIMENOM LETEĆEG PEPELA IZ TERMoeLEKTRANE „KOLUBARA”

**Rezime:** U radu su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja stabilizacije gline visoke plastičnosti primenom letećeg pepela iz termoelektrane „Kolubara”, sa i bez aktivatora – cementa ili kreča. Ispitan je uticaj pepela na odnos vlažnosti i suve zapreminske težine, jednoaksijalnu čvrstoću, parametre smičuće čvrstoće, CBR, module deformabilnosti i potencijal bubrenja. Dobijeni rezultati su pokazali da se primenom čistog pepela kao stabilizatora mogu poboljšati neke inženjerske karakteristike ove vrste tla, dok su sa dodatkom cementa ili kreča zabeleženi značajni efekti stabilizacije.

**Gljučne reči:** stabilizacija tla, leteći pepeo, glina visoke plastičnosti

### STABILIZATION OF HIGH PLASTICITY CLAY USING FLY ASH FROM THERMAL POWER PLANT “KOLUBARA”

**Abstract:** This paper presents the results of laboratory research of high plasticity clay stabilization using non self-cementing fly ash from thermal electric power plant “Kolubara”, with and without activator – cement or lime. Effects of fly ash on moisture-density relationship, UCS, shear strength parameters, CBR, deformation parameters and swell potential were evaluated. Results of the research indicate that used fly ash without activator can effectively improve some engineering properties of the soil. After addition of cement or lime the stabilization effects have substantially improved.

**Keywords:** soil stabilization, fly ash, high plasticity clay

<sup>1</sup> Dr, docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, mirav@grf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, vpujevic@grf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, mimarjanovic@grf.bg.ac.rs

<sup>4</sup> Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, borovina@grf.bg.ac.rs

<sup>5</sup> Dr, docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, snezamd@grf.bg.ac.rs

## 1. UVOD

Leteći (elektrofilterski) pepeo je nus produkt sagorevanja uglja u termoelektranama. U Srbiji se godišnje proizvede približno 7 miliona tona pepela i šljake, od kojih se samo 3% iskoristi u industriji cementa, dok se preostala količina deponuje na odlagališta (do sada je deponovano oko 300 miliona tona), koja zauzimaju površinu od približno 1600 ha [22, 23].

Prema standardu ASTM C618, leteći pepeo se, u zavisnosti od hemijskog sastava, klasifikuje na pepeo klase C i pepeo klase F. Ova klasifikacija se u najvećoj meri zasniva na sadržaju (%) oksida silicijuma, aluminijuma i gvožđa - sadržaj  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  za pepeo klase F je min 70%, a za pepeo klase C min 50%. Procenat sumportrioksida ( $\text{SO}_3$ ) je max 5% za obe klase pepela. Pepeo klase F nastaje sagorevanjem antracita i kamenog uglja. Ovaj pepeo ima pucolanske karakteristike, a zbog niskog sadržaja kalcijuma (manje od 10% CaO) nema samovezujuća svojstva. Pepeo klase C uglavnom nastaje sagorevanjem lignita i mrkog uglja. Mrki ugalj ima veću koncentraciju kalcijuma (više od 20% CaO), što pepelu daje samovezujuća svojstva. Prema Evropskom Standardu EN 197-1 pepeo se klasifikuje na kalcitne (tip W), što odgovara pepelu klase C i silikatne (tip V), što odgovara pepelu klase F.

Poslednjih decenija se u svetu leteći pepeo sve više primenjuje za stabilizaciju tla. Stabilizacija tla je tehnološki postupak kojim se poboljšavaju geotehničke karakteristike tla. Tradicionalni načini stabilizacije su mehanička stabilizacija (formiranje povoljnog granulometrijskog sastava) i hemijska (dodavanje vezivnog sredstva). Leteći pepeo se koristi za stabilizaciju tla i kao mehanički, a u zavisnosti od sadržaja kalcijum oksida i kao hemijski stabilizator. U zavisnosti od vrste pepela i njegove sposobnosti samovezivanja može se koristiti sam ili uz dodatak cementa ili kreča. Sprovedene naučne studije su pokazale da je pepeo klase C efikasan i ekonomičan stabilizator, sa širokom primenom u građevinarstvu [2, 9, 12, 13, 17, 20, 21, 24, 25]. Pepeo iz termoelektrana u Srbiji ima nizak sadržaj kalcijuma i spada u pepeo klase F koji nema samovezujuća svojstva [3, 4, 5, 23]. Iako bi, prema [1], pepeo klase F trebalo koristiti prilikom stabilizacije tla sa dodacima (aktivatorima) kao što su kreč ili cement, pojedina istraživanja pokazuju da ovaj tip pepela može poboljšati neka inženjerska svojstva tla i bez aktivatora [3, 4, 5, 8, 11, 14, 15].

Korišćenje letećeg pepela za stabilizaciju tla može imati velike prednosti, kao što su zaštita životne sredine, ušteda novca, mogućnost da se tlo lošijih karakteristika učini upotrebljivim. Efekti primene pepela su: smanjenje vlažnosti tla i indeksa plastičnosti, smanjenje bubrenja i povećanje nosivosti tla [9, 13, 20].

Prva istraživanja mogućnosti stabilizacije tla pepelom u Srbiji sprovedli su autori tokom 2011. godine. Ovaj rad prikazuje neke od rezultata laboratorijskih ispitivanja stabilizacije tla pepelom koja su autori sprovedli tokom 2014. godine u Laboratoriji za Mehaniku tla Građevinskog fakulteta u Beogradu u okviru izrade studije „Upotreba letećeg pepela termoelektrana za stabilizaciju tla, samozbijajući i valjani (RCC) beton sa osvrtom na trajnost cementnih maltera i sitnozrnih betona”, finansirane od strane JP „Elektroprivreda Srbije”.

Cilj ovog rada je da se prikaže efikasnost stabilizacije gline visoke plastičnosti primenom pepela iz termoelektrane „Kolubara” bez dodataka i sa dodatkom kreča ili cementa.

## 2. MATERIJALI

### 2.1. Pepeo

Leteći pepeo (KOL-FA) korišćen u ovom istraživanju uzorkovan je iz elektrofiltera u termoelektrani „Kolubara“. Hemijski sastav pepela određen je na Fakultetu za fizičku hemiju u Beogradu i rezultati su prikazani u Tabeli 1. S obzirom da je sadržaj  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  iznad 70% i sadržaj  $\text{SO}_3$  približno 5%, KOL-FA je pepeo klase F (prema ASTM C618). Pepeo je sive boje, ima pucolanska, ali nema samovezujuća svojstva. Specifična težina pepela je 2.11. Granulometrijski sastav prikazan je na Slici 1.

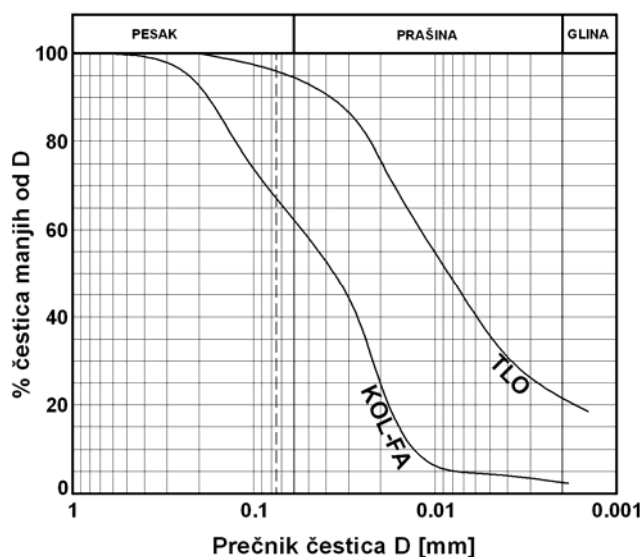
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$
50.21	23.83	9.89	4.79	3.12	0.44	0.35	0.54	5.24	0.06

Napomena: Prikazane vrednosti ne mogu u potpunosti reprezentovati ispitivani materijal, jer se tokom vremena hemijski sastav uglja u termoelektrani menja

Tabela 1. – Hemijski sastav letećeg pepela [%]

### 2.2. Tlo

Tlo je uzorkovano sa lokacije pozajmišta Radljevo, opština Ub, Kolubarski okrug. Prema USCS, tlo je glina visoke plastičnosti (CH). Specifična težina tla je 2.67. Granulometrijski sastav je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Granulometrijske krive pepela i tla

### **2.3. Aktivatori**

Kao aktivatori korišćeni su hidratirani kreč (proizvođač "NEXE", Jelen Do) i metalurški sulfatno-otporni cement niske toplote hidratacije M 20K 32.5N LH/SR (proizvođač "Lafarge", Beočin).

## **3. LABORATORIJSKI OPITI**

Uzorci za ispitivanje pripremljeni su zbijanjem mešavina tla i pepela sa optimalnim sadržajem vode prema Standardnom Proktorovom opitu. Mešavine su pripremljene mešanjem odgovarajuće količine pepela i suvog tla dok se ne dobije homogena mešavina, a zatim je dodata voda i izvršeno zbijanje bez odlaganja. Prvo je određen optimalni procenat pepela koji je potrebno dodati tlu, a zatim su mešavine sa optimalnim procentom pepela ispitane pri starosti uzoraka od 1, 7 i 28 dana. Izvršeni su opiti jednoaksijalne čvrstoće, Kalifornijskog indeksa nosivosti (CBR), direktnog smicanja i stišljivosti.

## **4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA**

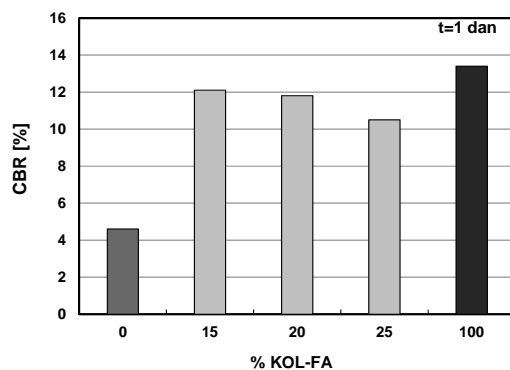
### **4.1. Izbor optimalnog procenta pepela i sadržaja aktivatora**

Stepen poboljšanja mehaničkih osobina stabilizovanog tla zavisi od osobina tla, procenta upotrebljenog pepela, kao i zaostajanja vremena zbijanja u odnosu na vreme vlaženja mešavine [1]. Publikovana istraživanja su pokazala da je optimalni sadržaj pepela od 10 do 30%, u zavisnosti od tipa tla i pepela. Preporučuje se da se optimalan sadržaj pepela proceni iz pažljivo sprovedenih laboratorijskih ispitivanja [21].

U publikovanim radovima kriterijum za određivanja optimalnog sadržaja pepela je jednoaksijalna čvrstoća. S obzirom na malu jednoaksijalnu čvrstoću pepela i ne značajno povećanje čvrstoće mešavine, nije bilo moguće odrediti optimalni procenat pepela na osnovu ovog opita. Kao kriterijum je odabrana CBR vrednost, kao jedna od bitnih karakteristika čvrstoće i deformabilnosti zbijenog tla, pa su izvršena ispitivanja Kalifornijskog indeksa nosivosti. Ispitivane su mešavine sa dodatkom 15, 20 i 25% pepela pri starosti od 1 dana. Rezultati ovih opita prikazani su na Slici 2.

Dodavanjem pepela CBR vrednosti su povećane više od 2 puta (u poređenju sa nestabilizovanim tlom). Najveći porast dobijen je za mešavine sa 15% i 20% letećeg pepela. Uzimajući u obzir i kriterijum što većeg utroška pepela, usvojen optimalni sadržaj dodatka je 20%.

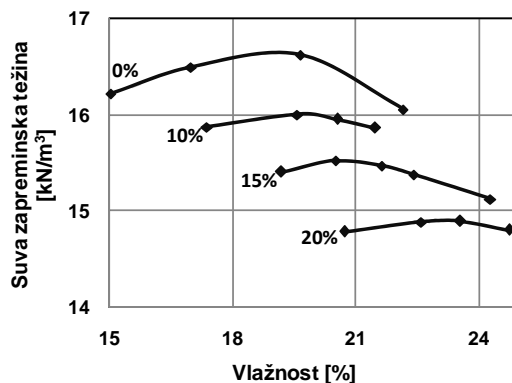
Procenat upotrebljenog cementa određen je iz uslova mogućnosti spravljanja homogene mešavine uz minimalni utrošak cementa. Procenat upotrebljenog kreča određen je iz uslova da pH vrednost mešavine tla, pepela i kreča bude 12.4, čime su obezbeđeni najpovoljniji uslovi za odvijanje procesa hidratacije [19]. Na osnovu ovih kriterijuma, optimalni sadržaj cementa je 3%, a kreča 8%.



Slika 2. CBR vrednosti mešavina tla i pepela

#### 4.2. Zbijenost

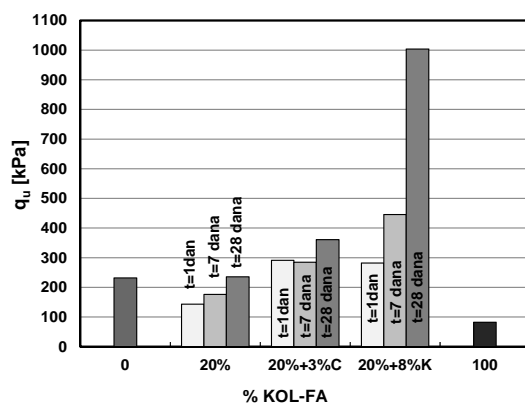
Rezultati Standardnog Proktorovog opita (Slika 3) pokazuju da maksimalna suva zapreminska težina opada, a optimalna vlažnost raste sa povećanjem sadržaja pepela. Ovakvi rezultati su povezani sa činjenicom da primenjeni pepeo, u odnosu na tlo, ima znatno manju maksimalnu suhu zapreminsku težinu i veću optimalnu vlažnost ( $\gamma_{d,max}=8.0\text{kN/m}^3$ ,  $w_{opt}=50.0\%$ ). Rezultati su u skladu sa [16, 17, 18], dok se suprotni trend može naći u radovima [15, 25].



Slika 3. Zavisnost vlažnosti i suve zapreminske težine

#### 4.3. Jednoaksijalna čvrstoća

Rezultati ispitivanja jednoaksijalne čvrstoće mešavine sa optimalnim procentom letećeg pepela sa i bez aktivatora prikazani su na Slici 4. Sa dodatkom pepela nije postignut prirast čvrstoće. Mogući razlog je vrlo mala jednoaksijalna čvrstoća pepela (oko 80 kPa). Iako je konstatovan pad jednoaksijalne čvrstoće nakon jednog dana u odnosu na etalon tla, zahvaljujući evidentnom prirastu čvrstoće kroz vreme, čvrstoća nakon 28 dana je dostigla nivo čvrstoće etalona.

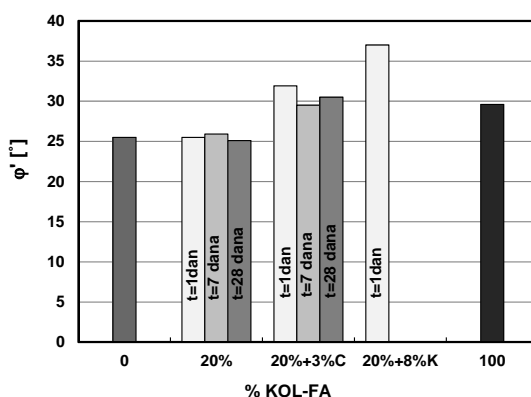


Slika 4. Jednoaksijalna čvrstoća mešavina bez i sa aktivatorima

Rezultati ispitivanja potvrđuju očekivani trend prirasta čvrstoće kroz vreme, karakterističan za mešavine sa pepelom klase F sa dodatkom aktivatora. Za mešavine sa dodatkom 3% cementa zabeleženo je povećanje jednoaksijalne čvrstoće od 20-50%, zavisno od proteklog vremena. Za mešavinu sa krečom jednoaksijalna čvrstoća se povećala 4 puta.

#### 4.4. Efektivni parametri smičuće čvrstoće

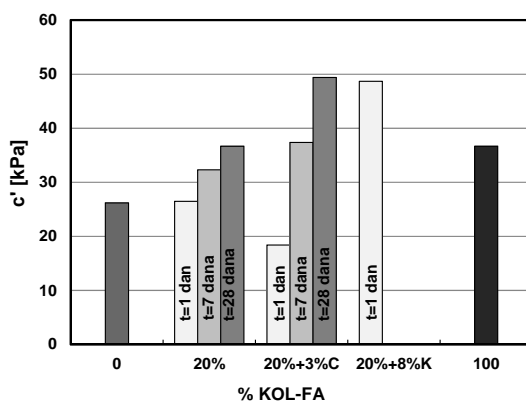
Efektivni parametri smičuće čvrstoće određeni dreniranim opitom direktnog smicanja na uzorcima sa optimalnim procentom pepela i aktivatorima prikazani su na Slikama 5 i 6. Rezultati prikazani na Slici 5 pokazuju da nije došlo do povećanja ugla unutrašnjeg trenja za mešavinu sa dodatkom pepela. Dodavanjem cementa kao aktivatora, ugao unutrašnjeg trenja je povećan 20%, dok se efekti primene kreča ogledaju u drastičnom povećanju ugla već posle jednog dana (45%).



Slika 5. Ugao unutrašnjeg trenja mešavina bez i sa aktivatorima

Za mešavinu tla i pepela dobijeno je umereno povećanje kohezije od 40% (Slika 6). Za mešavine sa aktivatorima povećanje kohezije je značajno. U slučaju primene

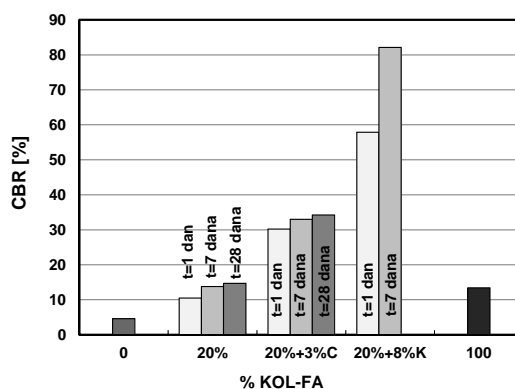
cementa povećanje iznosi oko 90% nakon 28 dana, a u slučaju primene kreča već nakon 1 dana je zabeleženo povećanje od 85%. Dodatkom cementa i kreča aktivirana su pucolanska svojstva pepela i formirane cementne veze između zrna u mešavini, što je uslovilo uočeno povećanje kohezije.



Slika 6. Kohezija mešavina bez i sa aktivatorima

#### 4.5. Kalifornijski indeks nosivosti (CBR)

Rezultati ispitivanja Kalifornijskog indeksa nosivosti mešavina sa optimalnim procentom letećeg pepela prikazani su na Slici 7. Ispitivana glina visoke plastičnosti ima relativno malu CBR vrednost (4.5%). Sa dodatkom 20% letećeg pepela, pri starosti uzoraka od 28 dana dobijena je CBR vrednost od 14.7%.



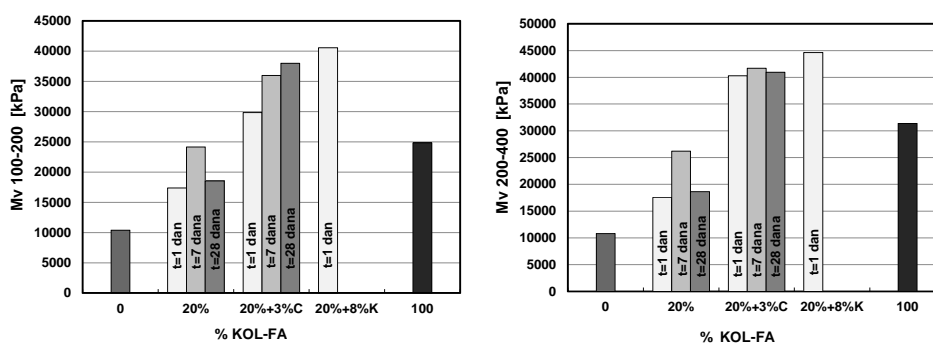
Slika 7. CBR vrednosti mešavina bez i sa aktivatorima

Sa dodatkom aktivatora, CBR vrednosti mešavina su višestruko povećane. Efekti su nešto izraženiji u slučaju primene kreča. CBR vrednosti zavise od proteklog vremena kreću se u intervalu od 30-32% u slučaju mešavina sa dodatkom cementa, odnosno 60-80% za mešavine sa dodatkom kreča. Dobijeni rezultati su u skladu sa [2, 6, 9, 17, 25].

Veličina CBR vrednosti bitno utiče na upotrebljivost tla u izgradnji donjeg stroja saobraćajnica, kao i na dimenzionisanje slojeva gornjeg stroja. Navedeni rezultati ispitivanja pokazuju da stabilizacijom slabo nosivog tla pepelom, bez i sa dodacima cementa/kreča, dobijamo tlo koje ima karakteristike posteljice srednjeg kvaliteta (stabilizacija samo pepelom) do posteljice odličnog kvaliteta (stabilizacija pepelom sa dodatkom cementa/kreča).

#### 4.6. Parametri deformabilnosti

Parametri deformabilnosti su ispitani u edometarskom opitu, sa opterećenjem do 400 kPa. Sa dodatkom pepela dobijeno je značajno povećanje modula stišljivosti, u iznosu od 70% (Slika 8), što nedvosmisleno potvrđuje efikasnost primene letećeg pepela u stabilizaciji ove vrste tla. U slučaju mešavina sa dodatkom aktivatora uočeno je dalje povećanje parametara deformabilnosti. U zavisnosti od proteklog vremena, moduli stišljivosti su povećani 3-4 puta u slučaju mešavina sa dodatkom cementa, odnosno više od 4 puta u slučaju mešavina sa dodatkom kreča.



Slika 8. Moduli stišljivosti mešavina bez i sa aktivatorima

#### 4.7. Potencijal bubrenja

Ispitivano tlo pre dodavanja letećeg pepela pokazivalo je izvesnu sklonost ka bubrenju – pritisak bubrenja određen u edometarskom opitu je 156 kPa, a deformacija bubrenja je  $\varepsilon=2.16\%$ . Dodavanjem letećeg pepela sklonost tla ka bubrenju je eliminisana, što ukazuje na to da je KOL-FA efektivan stabilizator tla sa stanovišta bubrenja. Rezultati su u skladu sa rezultatima i drugih autora [7, 10, 13, 15, 20, 24].

### 5. ZAKLJUČCI

Iako se pepeo klase F (silikatni pepeo), koji nema samovezujuća svojstva, najčešće koristi za stabilizaciju tla uz dodatak cementa ili kreča, sprovedeni laboratorijski opiti su pokazali da se pepeo iz termoelektrane „Kolubara” može koristiti za poboljšanje nekih inženjerskih svojstava tla i bez ovih dodataka. Najznačajnije poboljšanje



karakteristika tla je povećanje CBR vrednosti i eliminacija bubrenja, što čini ovako stabilizovano tlo pogodnim za primenu u putogradnji.

Sa dodatkom aktivatora zabeleženo je značajno povećanje svih parametara mehaničkog ponašanja i postoji opšti trend povećanja u funkciji vremena.

Rezultati sprovedenih istraživanja su značajni, s obzirom da se primenom letećeg pepela za stabilizaciju tla mogu postići značajni ekonomski efekti jer tlo loših mehaničkih karakteristika postaje pogodno za upotrebu za donji stroj saobraćajnica, a sa druge strane se smanjuje količina deponovanog pepela. Imajući u vidu da se u Srbiji godišnje proizvede velika količina pepela koja se deponuje na odlagališta, korišćenje ovih materijala u rekonstrukciji i izgradnji saobraćajne infrastrukture može doneti brojne prednosti i u oblasti zaštite životne sredine.

U primeni pepela za stabilizaciju tla nije moguće definisati univerzalni princip, već je neophodno sprovesti detaljna laboratorijska ispitivanja za određeni tip tla i pepela, kako bi se odredio optimalan procenat pepela, definisala tehnologija i uočili efekti poboljšanja tla.

## 6. REFERENCE

- [1] American Coal Ash Association: Fly Ash Facts for Highway Engineers, Technical Report. Report No. FHWA-IF-03-019, 2003.
- [2] Acosta H.A., Edil T.B., Benson C.H.: Soil stabilization and drying using fly ash, Geo Engineering Report No. 03-03, Geo Engineering Program University of Wisconsin-Madison, 2003.
- [3] Vukićević M., Maraš-Dragojević S., Jocković S., Marjanović M., Pujević V.: Research results of fine-grained soil stabilization using fly ash from Serbian electric power plants, Proc. of the 18th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2013, pp. 3267-3270.
- [4] Vukićević M., Pujević V., Marjanović M., Jocković S., Maraš-Dragojević S.: Stabilizacija alevrita primenom pepela iz termoelektrane „Kolubara”, Geotehnički aspekti građevinarstva, Sokobanja, 2013.
- [5] Vukićević M., Pujević V., Marjanović M., Jocković S., Maraš-Dragojević S.: Fine grained soil stabilization using class F fly ash with and without cement, XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Edinburg, in September 2015 (prihvaćen rad).
- [6] Edil T.B., Acosta H.A., Benson C.H.: Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE 03/04 2006, 2006, 283-294.
- [7] Zia N., Fox P.J.: Engineering properties of loess-fly ash mixtures for road bases, Transportation Research Record 1717, Transportation Research Board, USA, 2000, 49-56.
- [8] Kolay P.K., Sii H.Y., Taib S.N.L.: Tropical Peat Soil Stabilization using Class F Pond Ash from Coal Fired Power Plant, International Journal of Civil and Environmental Engineering 3:2, 2011.
- [9] Mackiewicz S.M., Ferguson E.G.: Stabilization of Soil with Self-Cementing Coal Ashes, 2005 World of Coal Ash (WOCA), Lexington, Kentucky, USA, 2005.
- [10] Nalbantoglu Z., Gucbilmez E.: Utilization of an industrial waste in calcareous expansive clay stabilization, Geotechnical Testing Journal, 25 (1), ASTM International, USA, 2002, 78-84.
- [11] Pandian N.S., Krishna K.C., Leelavathamma B.: Effect of Fly Ash on the CBR Behaviour of Soils. Proc. Indian Geotechnical Conference, Allahabad, Vol. 1, 2002, 183-186.
- [12] Parsons R.L.: Subgrade improvement through fly ash stabilization, Miscellaneous Report, Kansas University Transportation Center, University of Kansas, USA, 2002.

- [13] Parsons R.L., Kneebone E.: Field performance of fly ash stabilised subgrades, *Ground Improvement*, 9, No. 1, 2005, 33–38.
- [14] Prasanna Kumar S.M.: Cementitious compounds formation using pozzolans and their effect on stabilization of soils of varying engineering properties, *Proc. 2011 International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE Vol.8*, IACSIT Press, Singapore, 2011, 212-215.
- [15] Ramadas T.L., Kumar N.D., Yesuratnam G.: A study on strength and swelling characteristics of three expansive soils treated with fly ash, *Proc. of International Symposium TC 211 IS-GI. Recent Research, Advances & Execution Aspects of Ground Improvement Works, Vol. II*, Brussels, Belgium, 2012, 459-466.
- [16] Santos F., Li L., Li Y., Amini F.: Geotechnical Properties of Fly Ash and Soil Mixtures for Use in Highway Embankments, *World of Coal Ash (WOCA) Conference*, Denver, CO, USA, 2011.
- [17] Senol A., Edil T.B., Bin-Shafique M.S., Acosta H.A., Benson C.H.: Soft subgrades' stabilization by using various fly ashes, *Resources, Conservation and Recycling*, 46 (4), Elsevier, 2006, 365-376.
- [18] Sharma R.K.: Subgrade Characteristics of Locally Available Soil Mixed With Fly Ash and Randomly Distributed Fibers, *Proc. of International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICEES 2012)*, Bangkok, 2012, 177-181.
- [19] Sharma N.K., Swain S.K., Umesh C.S.: Stabilization of a Clayey Soil with Fly Ash and Lime: A Micro Level Investigation, *Geotechnical and Geological Engineering*, 2012.
- [20] Ferguson G.: Use of Self-Cementing fly ashes as a soil stabilization agent, *ASCE Geotechnical Special Publication No. 36*, ASCE, USA, 1993, 1-14.
- [21] Ferguson G., Levenson S.M.: Soil and Pavement Base Stabilization with Self-Cementing Coal Fly Ash, *American Coal Ash Association*, USA, 1999.
- [22] Cmiljanić S., Jotić S., Tošović S.: Prethodni rezultati istraživačko-razvojnog programa - primena elektrofilterskog pepela u putogradnji, *Simpozijum o istraživanju i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija*, 2008, 3-13.
- [23] Cmiljanić S., Vujanić V., Rosić B., Vuksanović B., Tošović S., Jotić S.: Physical-mechanical properties of fly-ash originating from thermo-electric power plants of Serbia, *Proc. of XIV<sup>th</sup> Danube-European Conference on Geotechnical Engineering: From Research to Design in European Practice*, Bratislava, Slovak Republic, 2010.
- [24] Çokça E.: Use of Class C fly ashes for the stabilization of an expansive soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (7), PWS Publishing Company, USA, 2001, 568-573.
- [25] White D.J., Harrington D., Thomas Z.: Fly ash soil stabilization for non-uniform subgrade soils, Volume I: Engineering properties and construction guidelines. Report No. IHRB Project TR-461. FHWA Project 4, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, 2005.