



5. INTERNACIONALNI NAUČNO-STRUČNI SKUP GRAĐEVINARSTVO - NAUKA I PRAKSA

ŽABLJAK, 17-21. FEBRUARA 2014.

M. Vukićević¹, S. Maraš-Dragojević², S. Jocković³, M. Marjanović⁴, V. Pujević⁵

STABILIZACIJA PRAŠINASTE GLINE PRIMENOM PEPELA IZ TERMoeLEKTRANE „KOLUBARA”, SRBIJA

Rezime

U radu su prikazani neki rezultati laboratorijskih ispitivanja stabilizacije prašinate gline primenom elektrofilterskog pepela iz termoelektrane „Kolubara”. Vršena su ispitivanja fizičkih i mehaničkih karakteristika tla, kao što su: granulometrijski sastav, granice konzistencije, odnos vlažnosti i suve zapreminske težine, jednoaksijalna čvrstoća, parametri smičuće čvrstoće, CBR i moduli deformabilnosti. Rezultati istraživanja su pokazali da se primenom pepela kao stabilizatora povećava CBR vrednost tla, što je naročito značajno za primenu u putogradnji.

Ključne reči

stabilizacija tla, pepeo, prašinata glina, CBR

STABILIZATION OF SILTY CLAY USING FLY ASH FROM THERMOELECTRIC POWER PLANT ”KOLUBARA”, SERBIA

Abstract

This paper presents results of laboratory research of soil stabilization using fly-ash from thermo electric power plant ”Kolubara”. The physical and mechanical properties of soil were investigated: grain size distribution, Atterberg limits, moisture-density relationship, unconfined compression strength, effective shear strength parameters, CBR, deformation parameters. Results of the research indicate that fly ash increases CBR value of soil, which is particularly important for applications in road construction.

Keywords

soil stabilization, fly ash, silty clay, CBR

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

² Dr, docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, snezamd@grf.bg.ac.rs

³ Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, borovina@grf.bg.ac.rs

⁴ Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, mimarjanovic@grf.bg.ac.rs

⁵ Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, vpujevic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

U Srbiji se godišnje proizvede približno 7 miliona tona pepela i šljake, kao rezultat sagorevanja uglja u termoelektranama, od kojih se samo 3% iskoristi u industriji cementa. Ostala količina se deponuje na odlagališta, pri čemu je do sada deponovano oko 300 miliona tona, koja zauzimaju površinu od približno 1600ha [1-2]. Korišćenje elektrofilterskog pepela za stabilizaciju tla može doneti brojne prednosti kao što su zaštita okoline, ušteda novca, mogućnost da se iskoristi i tlo lošijih karakteristika.

Prema standardu ASTM C618, pepeo se klasifikuje, u zavisnosti od hemijskog sastava, na pepeo klase C i pepeo klase F. Ova klasifikacija se u najvećoj meri zasniva na procentu oksida silicijuma, aluminijuma i gvožđa (SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3). Procenat $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ za pepeo klase F je min 70%, a za klasu C min 50%. Procenat sumportrioksida (SO_3) je max 5% za obe klase pepela. Pepeo klase F nastaje sagorevanjem antracita i kamenog uglja. Ovaj pepeo ima pucolanske karakteristike, a s obzirom na nizak sadržaj kalcijuma (manje od 10% CaO) nema samovezujuća svojstva. Pepeo klase C nastaje uglavnom sagorevanjem lignita i mrkog uglja. Mrki ugalj ima veću koncentraciju kalcijuma (više od 20% CaO), što mu daje samovezujuća svojstva. Mnogi istraživači su se bavili ispitivanjima mogućnosti korišćenja pepela za stabilizaciju tla. Sprovedene naučne studije su pokazale da je pepeo klase C efikasan i ekonomičan stabilizator sa širokom primenom u građevinarstvu [3-11]. Efekti primene samovezujućeg pepela su: smanjenje vlažnosti tla, smanjenje bubrenja i povećanje nosivosti tla [3, 7, 9]. Pepeo iz termoelektrana u Srbiji ima nizak sadržaj kalcijuma i prema standardu ASTM C-618 spada u pepeo klase F, koji nema samovezujuća svojstva [2]. Iako bi, prema ACAA 2003 [12], pepeo klase F trebalo koristiti u stabilizaciji tla sa vezujućim dodacima kao što su kreč ili cement, postoje istraživanja koja pokazuju da ovaj tip pepela može poboljšati neka inženjerska svojstva tla i bez aktivatora [13-16]. Cilj ovog rada je da se ispita efikasnost stabilizacije sitnozrnog tla primenom pepela iz termoelektrane „Kolubara”, koji nema samovezujuća svojstva, bez dodataka kreča ili cementa.

U Srbiji su istraživanja mogućnosti stabilizacije tla pepelom prvi put sprovedena tokom izrade projekta regionalnog centra za upravljanje otpadom „Kalenić”, koji je lociran na delu kopa termoelektrane „Kolubara” [17]. Ova istraživanja su sprovedli autori tokom 2011. godine. Ovaj rad prikazuje neke od rezultata laboratorijskih ispitivanja stabilizacije tla pepelom [18], koja su autori sprovedli u periodu 2011-2013. u Laboratoriji za Mehaniku tla Građevinskog fakulteta u Beogradu.

2. MATERIJALI

Pepeo

Hemijski sastav pepela iz termoelektrane „Kolubara” (KFA) je određen na Fakultetu za fizičku hemiju u Beogradu i rezultati su prikazani u Tabeli 1. Hemijski sastav je u skladu sa publikovanim rezultatima [19, 20].

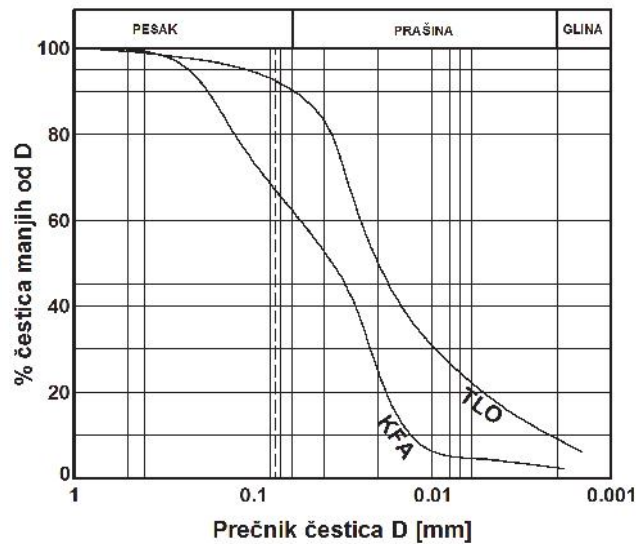
Tabela 1. Hemijski sastav pepela [%]

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	SO_3	P_2O_5
50.21	23.83	9.89	4.79	3.12	0.44	0.35	0.54	5.24	0.06

S obzirom da je sadržaj $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ iznad 70% i sadržaj SO_3 oko 5%, prema ASTM C 618, KFA pripada pepelu klase F. Pepeo je tamno sive boje, ima pucolanska, ali nema samovezujuća svojstva. Specifična težina mu je 2.11. Granulometrijski sastav je prikazan na Slici 1.

Tlo

Tlo je uzeto sa lokacije budućeg vetroparka "Košava" u blizini Vršca u Vojvodini. Čine ga sedimenti eolskog porekla koji su istog mineralnog sastava kao lesovi, izmenjene strukture, sa neizraženom cevastom poroznošću. Prema USCS, ovo tlo je niska do srednje plastična prašinstva glina (CL/CI). Specifična težina tla je 2.74. Granulometrijski sastav je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Granulometrijske krive

3. LABORATORIJSKI OPITI

Stepen poboljšanja mehaničkih osobina stabilizovanog tla zavisi od osobina tla, procenta pepela i vremena proteklog od vlaženja mešavine do njenog zbivanja [12]. Publikovana istraživanja su pokazala da je optimalni sadržaj pepela od 10 do 30%, u zavisnosti od tipa tla i pepela. Ferguson & Leverson [4] preporučuju da se optimalan sadržaj pepela proceni iz pažljivo sprovedenih laboratorijskih ispitivanja. U ovom istraživanju mešavine su pripremljene sa tri sadržaja pepela (10, 15 i 20%, u odnosu na suhu težinu tla). Dodavanjem pepela se smanjila specifična težina mešavine i iznosila je 2.62-2.66.

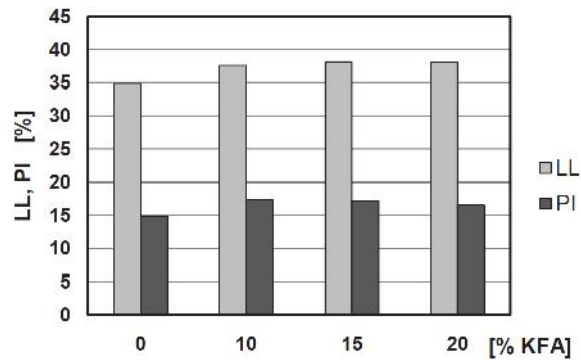
Uzorci su pripremljeni zbivanjem sa optimalnim sadržajem vode prema Standardnom Proktorovom opitu. Pažljivim mešanjem odgovarajuće količine pepela i suvog tla dobijena je homogena mešavina, a zatim je dodata voda i izvršeno zbivanje bez odlaganja. Uzorci su

ispitivani odmah nakon zbijanja i nakon 28 dana. Sprovedeni su opiti jednoaksijalne čvrstoće, Kalifornijskog indeksa nosivosti (CBR), direktnog smicanja i stišljivosti.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Plastičnost

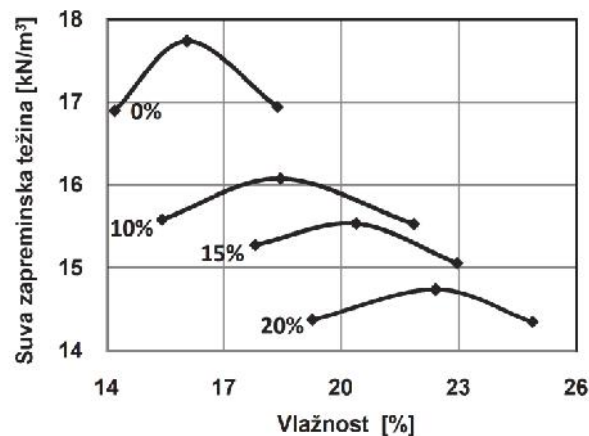
Rezultati laboratorijskih opita (Slika 2) pokazuju da se kod ispitivane vrste tla (prašinsto tlo) sa povećanjem sadržaja pepela značajno ne menjaju granice konzistencije. Treba napomenuti da je kod visoko plastične gline uobičajeni efekat stabilizacije smanjenje granice tečenja i indeksa plastičnosti [3, 5, 9, 14].



Slika 2. Atterberg-ove granice za mešavine u t=0

Zbijenost

Rezultati Standardnog Proktorovog opita (Slika 3) pokazuju da maksimalna suva zapreminska težina opada, a optimalna vlažnost raste sa povećanjem sadržaja pepela.



Slika 3. Zavisnost vlažnosti i suve zapreminske težine

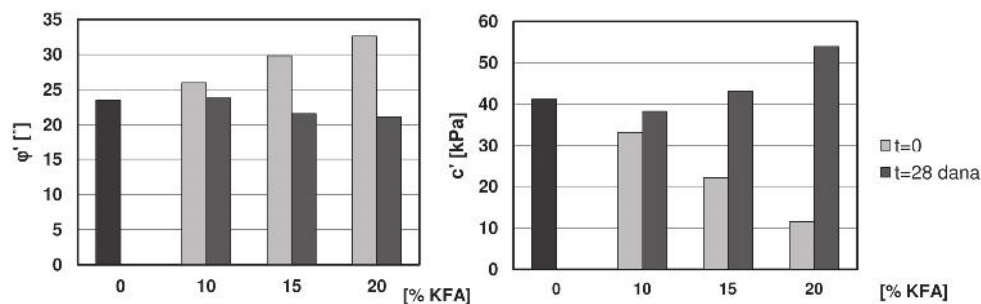
Smanjenje maksimalne suve zapreminske težine je povezano sa činjenicom da primenjeni pepeo ima znatno manju težinu od tla. Maksimalna težina u suvom stanju pepela je 8kN/m^3 , a optimalna vlažnost 50%. Rezultati su u skladu sa rezultatima Senol et al. [11], Santos et al. [21] i Sharma [22], dok se suprotni trend može naći u radovima White et al. [10] i Ramadas et al. [14].

Jednoaksijalna čvrstoća

Sprovedenim ispitivanjima nije dobijeno povećanje jednoaksijalne čvrstoće razmatranog prašinatog tla sa dodatkom pepela. Neophodna su dalja istraživanja efekta stabilizacije primenom KFA uz dodatak aktivatora (npr. kreč ili cement) na čvrstoću tla.

Efektivni parametri smičuće čvrstoće

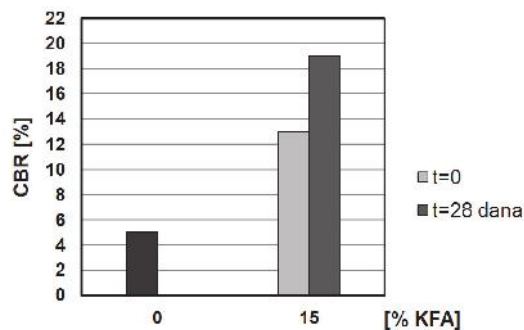
Efektivni parametri čvrstoće su određeni opitom direktnog smicanja. Iako je u početnom trenutku zabeležen porast ugla smičuće čvrstoće sa porastom sadržaja pepela, dobijeni rezultati (Slika 4) pokazuju da se posle 28 dana ovaj efekat izgubio. S druge strane, izvesno povećanje kohezije sa vremenom je dobijeno za mešavinu sa 20% KFA.



Slika 4. Promena efektivnih parametara smičuće čvrstoće

Kalifornijski indeks nosivosti (CBR)

Na slici 5 prikazani su rezultati CBR opita na uzorcima sa 15% pepela. Sa dodatkom pepela postignut je porast CBR vrednosti sa 5 na 13, neposredno nakon mešanja, odnosno na 19 posle 28 dana. Ovo je vrlo značajno poboljšanje sa aspekta primene ove vrste tla u putogradnji.

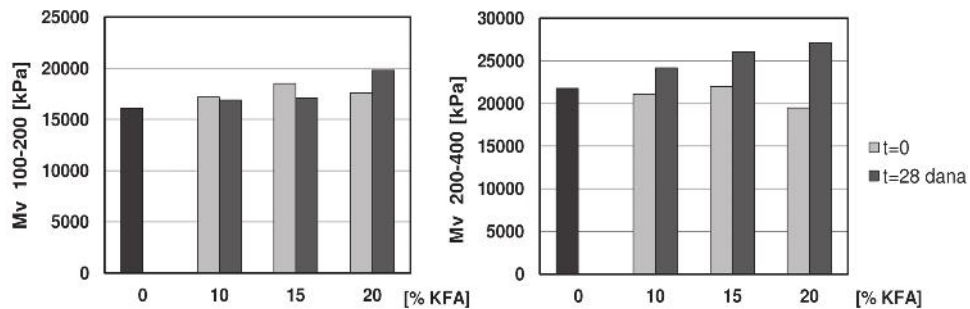


Slika 5. Vrednosti CBR

Povećanje CBR vrednosti je u skladu sa rezultatima Acosta et al. [6], Mackiewicz and Ferguson [7], White et al. [10], Senol et al. [11] and Edil et al. [23].

Parametri deformabilnosti

Parametri deformabilnosti su dobijeni edometarskim opitom, sa opterećenjem do 800kPa. Sa dodatkom pepela moduli stišljivosti su se sa vremenom povećali do 20% (Slika 6).



Slika 6. Moduli stišljivosti

5. ZAKLJUČCI

Pepeo iz termoelektrane „Kolubara” je pepeo klase F, koji nema samovezujuća svojstva. Iako se ova vrsta pepela najčešće koristi za stabilizaciju tla uz dodatak aktivatora, kao što su cement ili kreč, sprovedeni laboratorijski opiti su pokazali da se KFA može koristiti za poboljšanje nekih inženjerskih svojstava prašinastog tla i bez ovih aktivatora. Dodavanjem pepela dobijeno je povećanje modula stišljivosti do 20%, dok se čvrstoća tla nije značajnije povećala. Sa dodatkom 15% pepela značajno je povećana CBR vrednost ispitivanog tla (sa 5 na 13 i 19), što je vrlo značajno poboljšanje sa aspekta primene ove vrste tla u putogradnji.

S obzirom da stepen poboljšanja mehaničkih osobina stabilizovanog tla zavisi od osobina tla, vrste i procenta pepela, neophodno je za određeni tip tla i pepela sprovesti detaljna laboratorijska ispitivanja kako bi se odredio optimalan procenat pepela, definisala tehnologija i uočili efekti poboljšanja tla. Prikazani rezultati potvrđuju da je neophodno nastaviti istraživanja u ovoj oblasti s obzirom da se u Srbiji godišnje proizvede oko 7 miliona tona pepela, koji se sada deponuje na odlagališta, i da korišćenje elektrofilterskog pepela za stabilizaciju tla može doneti brojne prednosti kao što su zaštita okoline, ušteda novca kao i mogućnost da se u putogradnji iskoristi i tlo lošijih karakteristika.

LITERATURA

- [1] S. Cmiljanić, S. Jotić, S. Tošović: "Prethodni rezultati istraživačko-razvojnog programa - primena elektrofilterskog pepela u putogradnji", Simpozijum o istraž. i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, 2008, pp. 3-13
- [2] S. Cmiljanić, V. Vujanić, B. Rosić, B. Vuksanović, S. Tošović, S. Jotić: "Physical-mechanical properties of fly-ash originating from thermo-electric power plants of Serbia", Proc. of XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering: From Research to Design in European Practice, Bratislava, Slovak Republic, 2010.
- [3] G. Ferguson: "Use of Self-Cementing fly ashes as a soil stabilization agent", ASCE Geotechnical Special Publication, No. 36, ASCE, USA, 1993.
- [4] G. Ferguson and S.M. Levenson: "Soil and Pavement Base Stabilization with Self-Cementing Coal Fly Ash", American Coal Ash Association, USA, 1999
- [5] E. Çokça: "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, pp. 568-573.
- [6] H. A. Acosta, T. B. Edil and C. H. Benson: "Soil stabilization and drying using fly ash", Geo Engineering Report, No. 03-03, Geo Engineering Program University of Wisconsin-Madison, 2003.
- [7] S.M. Mackiewicz and E.G. Ferguson: "Stabilization of Soil with Self-Cementing Coal Ashes", 2005 World of Coal Ash (WOCA), Lexington, Kentucky, USA, 2005.
- [8] R.L. Parsons: "Subgrade improvement through fly ash stabilization", Miscellaneous Report, Kansas University Transportation Center, University of Kansas, USA, 2002.
- [9] R.L. Parsons and E. Kneebone: "Field performance of fly ash stabilised subgrades", Ground Improvement (2005)9, No. 1, 2005, pp. 33-38.
- [10] D.J. White, D. Harrington, Z. Thomas: "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, 200.5
- [11] A. Senol, T.B. Edil, M.S. Bin-Shafique, H. A., Acosta, C.H. Benson: "Soft subgrades' stabilization by using various fly ashes", Resources, Conservation and Recycling 46 (4), 2006, pp. 365-376.
- [12] American Coal Ash Association: "Fly Ash Facts for Highway Engineers", Technical Report, Report No. FHWA-IF-03-019, 2003.
- [13] N.S. Pandian, K.C. Krishna, and B. Leelavathamma: "Effect of Fly Ash on the CBR Behaviour of Soils", Proc. Indian Geotechnical Conference, Allahabad, Vol.1, 2002, pp.183-186.
- [14] T.L. Ramadas, N.D. Kumar, G. Yesuratnam: "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, from II-459 to II-466.
- [15] P.K. Kolay, H.Y. Sii and S.N.L. Taib: "Tropical Peat Soil Stabilization using Class F Pond Ash from Coal Fired Power Plant", International Journal of Civil and Environmental Engineering 3:2, 2011.
- [16] S.M. Prasanna Kumar: "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 (2011) © (2011) IACSIT Press, Singapore, 2011, pp. 212-215.

- [17] Elaborat o geotehničkim istraživanjima terena za potrebe izgradnje regionalnog centra za upravljanje otpadom "Kalenić" u selu Kalenić (Report - Geotechnical investigation of the ground conditions for the construction of regional waste management center "Kalenic" in village Kalenic), 2011. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu (Faculty of Civil Engineering University in Belgrade)
- [18] M. Vukićević, S. Maraš-Dragojević, S. Jocković, M. Marjanović, V. Pujević: "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.
- [19] Z. Bašćarević, M. Komljenović, Lj. Petrašinović: "Ispitivanje svojstava eletro-filterskog pepela termoelektrana u cilju njegove upotrebe kao sekundarne sirovine za proizvodnju Portland cementnog klinkera", Chemical Industry, 60, 2006, pp. 245-252
- [20] Institut za ispitivanje materijala – IMS: "Studija: Primena i plasman pepela nastalog u elektranama EPS-a", 2011.
- [21] F. Santos, L. Li, Y. Li, F. Amini: "Geotechnical Properties of Fly Ash and Soil Mixtures for Use in Highway Embankments", World of Coal Ash (WOCA) Conference, Denver, CO, USA, 2011
- [22] R.K. Sharma: "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, pp. 177-181.
- [23] T.B. Edil, H.A. Acosta and C.H. Benson: "Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash", Journal of Materials in Civil Engineering © ASCE March/April 2006, pp. 283-294.