

СТАБИЛИЗАЦИЈА ВИСОКО ПЛАСТИЧНЕ ГЛИНЕ ПРИМЕНОМ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА ИЗ ТЕ КОСТОЛАЦ

Мирјана Вукићевић¹

Вељко Пујевић¹

Милош Марјановић¹

Сања Јоцковић¹

Снежана Мараш-Драгојевић¹

УДК: 624.138.23

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.008

Резиме: У раду су приказани резултати лабораторијских испитивања стабилизације глине високе пластичности применом летећег пепела из ТЕ Костолац. Испитан је утицај пепела на однос влажности и суве запреминске тежине, једноаксијалну чврстоћу, CBR, модуле деформабилности и потенцијал бубрења. Добијени резултати су показали да се применом пепела као стабилизатора могу побољшати неке инжењерске карактеристике ове врсте тла. Највеће побољшање је пораст CBR вредности, што ово тло чини употребљивим у путоградњи.

Кључне речи: стабилизација тла, летећи пепео, глина високе пластичности, CBR

1. УВОД

У Србији се годишње произведе око 7 милиона тона пепела и шљаке, од којих се само 3% искористи у индустрији цемента, док се преостала количина депонује на одлагалишта (око 300 милиона тона до данас), која заузимају површину од приближно 1600 ha [1, 2]. Према ASTM C618, летећи пепео се класификује на класе С и F. Ова класификација се у највећој мери заснива на садржају оксида силицијума, алуминијума и гвожђа. Пепео класе С има самовезујућа својства. Пепео класе F има пуцоланске карактеристике, а због ниског садржаја калцијума (мање од 10% CaO) нема самовезујућа својства. Спроведене научне студије [3-11] су показале да је пепео класе С ефикасан и економичан стабилизатор, са широком применом у грађевинарству. Ефекти примене самовезујућег пепела су: смањење влажности тла, смањење бубрења и повећање носивости тла [3, 7, 9].

Пепео из термоелектрана у Србији има низак садржај калцијума и спада у класу F [2]. Иако би приликом стабилизације тла пепео класе F требало користити са везивним додацима (активаторима) као што су креч или цемент [12], поједина истраживања показују да овај тип пепела може побољшати нека инжењерска

¹ Др Мирјана Вукићевић, дипл.инж. грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3218 569, e – mail: mirav@grf.bg.ac.rs

својства тла и без активатора [13-16]. Циљ овог рада је да се прикаже ефикасност стабилизације глине високе пластичности применом пепела из ТЕ Костолац без додатка. Степен побољшања механичких особина стабилизованог тла зависи од особина тла, процента употребљеног пепела, као и заостајања времена збијања у односу на време влажења мешавине [12]. Објављена истраживања су показала да је оптимални садржај пепела 10-30%, у зависности од типа тла и пепела. Препоручује се да се оптималан садржај пепела процени из пажљиво спроведених лабораторијских испитивања [4].

Овај рад приказује неке од резултата лабораторијских испитивања стабилизације тла пепелом која су аутори спровели током 2014. године у Лабораторији за механику тла Грађевинског факултета у Београду у оквиру израде студије „Употреба летећег пепела термоелектрана за стабилизацију тла, самозбијајући и ваљани (RCC) бетон са освртом на трајност цементних малтера и ситнозрних бетона”, финансиране од стране ЈП „Електропривреда Србије”.

2. МАТЕРИЈАЛИ

2.1. Пепео

Летећи пепео (KOS-FA) коришћен у овом истраживању узоркован је из електрофилтера у ТЕ Костолац. Хемијски састав пепела одређен је на Факултету за физичку хемију у Београду и резултати су приказани у Табели 1. Према ASTM C618, KOS-FA је пепео класе F. Пепео је сиве боје, има пуцоланска, али нема самовезујућа својства. Специфична тежина пепела је 2.22.

Табела 1. Хемијски састав летећег пепела [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
56.38	17.57	10.39	7.46	2.13	0.57	0.38	0.52	0.95	0.025

Напомена: Приказане вредности не могу у потпуности репрезентовати испитивани материјал, јер се током времена хемијски састав угља у термоелектрани мења

2.2. Тло

Испитано тло је узорковано са локације позајмишта Радљево, општина Уб. Према USCS тло је глина високе пластичности ($w_L=51\%$, $I_p=32\%$). Специфична тежина тла је 2.67.

3. ЛАБОРАТОРИЈСКА ИСПИТИВАЊА

Узорци за испитивање припремљени су збијањем мешавина тла и пепела са оптималним садржајем воде према стандардном Прокторовом опиту. Мешавине су припремљене тако што је прво помешана одговарајућа количина пепела и тла у сувом стању, а затим је додата вода и извршено збијање без одлагања. Прво је одређен оптимални проценат пепела који је потребно додати тлу, а затим су

мешавине са оптималним процентом пепела испитане при старости узорака од 1, 7 и 28 дана. Извршени су опити једноаксијалне чврстоће, Калифорнијског индекса носивости (CBR) и стишљивости.

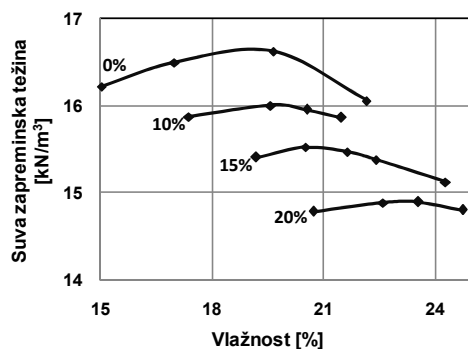
4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

4.1. Одређивање оптималног процента пепела

У циљу одређивања оптималног процента пепела извршени су опити једноаксијалне чврстоће на узорцима са додатком 10, 15, 20 и 25% пепела у односу на суву масу тла, при старости узорака од 1 дана. Пораст чврстоће добијен је за мешавине са додатком 10 и 15% пепела и износи 28%, док је за преостале две мешавине добијено смањење једноаксијалне чврстоће за 8-15%. С обзиром да није добијено значајно повећање чврстоће, извршена су додатна испитивања CBR вредности. Испитиване су мешавине са додатком 15, 20 и 25% пепела при старости од 1 дана. Додавањем пепела постигнут је пораст CBR вредности од 54-104% у односу на нестабилизано тло. Највећи пораст добијен је за мешавину са 20% летећег пепела, што је и усвојено као оптимални проценат додатка.

4.2. Збијеност

Резултати стандарног Прокторовог опита (Слика 1) показују да максимална сува запреминска тежина опада, а оптимална влажност расте са повећањем садржаја пепела. Овакви резултати су повезани са чињеницом да примењени пепео, у односу на тло, има знатно мању максималну суву запреминску тежину и већу оптималну влажност ($\gamma_{d,max}=9.85 \text{ kN/m}^3$, $w_{opt}=37.6\%$).



Слика 1. Зависност влажности и суве запреминске тежине

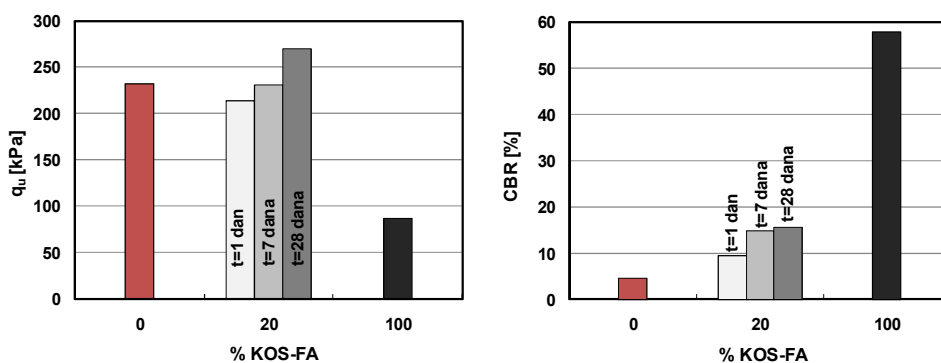
4.3. Калифорнијски индекс носивости (CBR)

Резултати испитивања Калифорнијског индекса носивости мешавине са оптималним процентом летећег пепела приказани су на Слици 2. Испитивана

глина високе пластичности има релативно малу CBR вредност (4.6%). Са додатком 20% летећег пепела, при старости узорака од 28 дана добијена је CBR вредност од 15.5%, што представља повећање од око 240%. Ово је врло значајно побољшање, с обзиром да стабилизовано тло постаје употребљиво у путоградњи. Добијени резултати су у складу са [6, 7, 10, 11, 17].

4.4. Једнооксијална чврстоћа

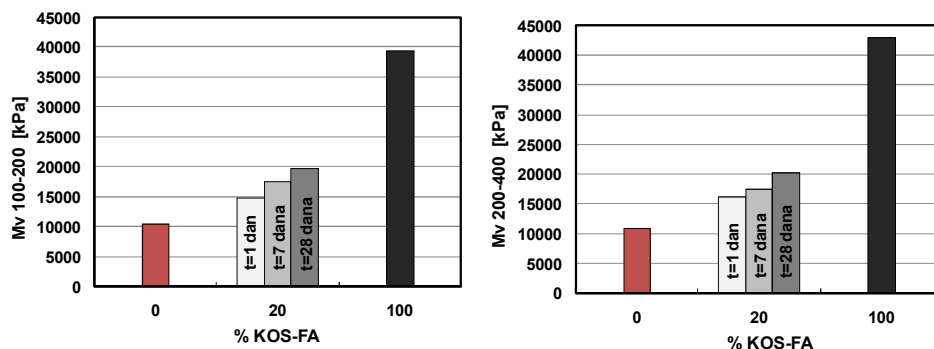
Резултати испитивања једнооксијалне чврстоће мешавине са оптималним процентом летећег пепела приказани су на Слици 2. Добијено повећање при старости узорака од 28 дана није значајно и износи 17%. Могући разлог за мали прираштај чврстоће је релативно мала вредност једнооксијалне чврстоће пепела (око 87 kPa).



Слика 2. Једнооксијална чврстоћа и CBR вредности мешавине са оптималним процентом пепела (20%)

4.5. Параметри деформабилности

Параметри деформабилности су испитани у едометарском опиту, са оптерећењем до 400 kPa. Са додатком пепела добијено је значајно повећање модула стишљивости, у износу од 85-90% (Слика 3).



Слика 3. Модули стишљивости мешавине са оптималним процентом пепела (20%)

4.6. Потенцијал бубрења

Испитивано тло пре додавања летећег пепела показивало је извесну склоност ка бубрењу. Притисак бубрења одређен у едометарском опиту је 156 kPa, а деформација бубрења је $\epsilon=2.16\%$. Додавањем летећег пепела склоност тла ка бубрењу је елиминисана, што указује на то да је примењени пепео ефикасан стабилизатор тла са становишта бубрења. Резултати су у складу са резултатима других аутора [3, 5, 9, 14, 18, 19].

5. ЗАКЉУЧЦИ

Иако се пепео класе F најчешће користи за стабилизацију тла уз додаток цемента или креча, спроведена лабораторијска испитивања су показала да се пепео из ТЕ Костолац може користити за побољшање неких инжењерских својстава тла и без активатора. Добијено је повећање модула стишљивости тла у износу 85-90%. Такође, значајно побољшање карактеристика тла је и повећање CBR вредности (око 240%) и елиминација бубрења, што чини овако стабилизано тло погодним за примену у путоградњи. За испитивану врсту пепела и тла није уочен битан утицај старости узорака на ефекте стабилизације. Упркос приказаним позитивним ефектима, није могуће дефинисати универзални принцип стабилизације тла применом летећег пепела, па је неопходно спровести детаљна лабораторијска испитивања за одређени тип тла и пепела, како би се одредио оптималан проценат пепела, дефинисала технологија и уочили ефекти побољшања тла.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цмиљанић, С., Јотић, С., Тошовић, С.: Претходни резултати истраживачко-развијног програма - примена електрофилтерског пепела у путоградњи. *Симпозијум о истраживању и примени савремених достигнућа у нашем грађевинарству у области материјала и конструкција*, 2008, стр. 3-13

- [2] 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. *Proceedings of 14th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering: From Research to Design in European Practice, Bratislava, Slovak Republic, 2010.*
- [3] Ferguson, G.: Use of Self-Cementing fly ashes as a soil stabilization agent. *ASCE Geotechnical Special Publication, 1993*, 36, pp. 1-14
- [4] Ferguson, G., Levenson, S.M.: Soil and Pavement Base Stabilization with Self-Cementing Coal Fly Ash. *American Coal Ash Association, 1999.*
- [5] Çokça, E.: Use of Class C fly ashes for the stabilization of an expansive soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001*, 127 (7), pp. 568-573
- [6] Acosta, H.A., Edil, T.B., Benson, C.H.: Soil stabilization and drying using fly ash. *Geo Engineering Report No. 03-03, 2003.*
- [7] Mackiewicz, S.M., Ferguson, E.G.: Stabilization of Soil with Self-Cementing Coal Ashes. *2005 World of Coal Ash (WOCA), Lexington, Kentucky, USA, 2005.*
- [8] Parsons, R.L.: Subgrade improvement through fly ash stabilization. *Miscellaneous Report, 2002.*
- [9] Parsons, R.L., Kneebone, E.: Field performance of fly ash stabilised subgrades. *Ground Improvement, 2005*, 9 (1), pp. 33-38
- [10] 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, 2005.*
- [11] 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, 2006*, 46 (4), pp. 365-376
- [12] American Coal Ash Association: Fly Ash Facts for Highway Engineers, Technical Report. *Report No. FHWA-IF-03-019, 2003.*
- [13] 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*, pp. 183-186
- [14] 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*, pp. 459-466
- [15] 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, 2011*, 3:2
- [16] 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, 2011*, pp. 212-215
- [17] Edil, T.B., Acosta, H.A., Benson, C. H.: Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering, 2006*, 03/04, pp. 283-294
- [18] Zia, N., Fox, P.J.: Engineering properties of loess-fly ash mixtures for road bases. *Transportation Research Record, 2000*, 1717, pp. 49-56

[19] Nalbantoglu, Z., Gucbilmez, E.: Utilization of an industrial waste in calcareous expansive clay stabilization. *Geotechnical Testing Journal*, 2002, 25 (1), pp. 78-84

STABILIZATION OF HIGH PLASTICITY CLAY USING FLY ASH FROM POWER PLANT "KOSTOLAC"

Summary: *This paper presents the results of laboratory research of fly ash soil stabilization. Tests were performed on mixtures with high plasticity clay and fly ash sampled from thermal electric power plant "Kostolac". Effects of fly ash on moisture-density relationship, UCS, CBR, deformation parameters and swell potential were evaluated. Results of the research indicate that fly ash can improve some engineering properties of this type of soil. The most significant improvement is the increase in CBR values which makes this material usable for road construction.*

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