

УПОТРЕБА ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У ИЗГРАДЊИ САОБРАЋАЈНИЦА

Горан Тадић¹, Миладин Глигорић¹, Александар Дошић¹, Раденко Грујић²
gtadic.tf@gmail.com

¹Универзитету Источном Сарајеву, Технолошки факултет,
75400 Зворник, Република Српска, БиХ

²А.Д. Зворникпутеви, 75400 Зворник, Република Српска, БиХ

Извод

Електрофилтерски пепео је користан за разноврсну примјену, јер је у питању пуцолан, односно силикатни или алумино-силикатни материјал који се у изолованом облику и у присуству воде комбинује са калцијум-хидроксидом (из креча, портланд цемента или прашине из пећи за жарење) и формира смјесе са карактеристикама везива. У овом раду је анализирана могућност употребе лебдећег пепела у изградњи саобараћајница, израда рецептура за мјешавану лебдећег пепела, каменог агрегата и везива, те испитивање механичко-физичке параметара направљених смјеса. Извршена су лабораторијска истраживања као и истраживања на терену (*in situ*).

Испитивања показују да се електрофилтерски пепео у путоградњи може користити и као везиво и као минерални агрегат. Мјешавина од пепела, креча и каменог агрегата (туцаник 0-60 мм) се може користити за израду доњих носивих слојева коловозне конструкције. Оптимални састав мјешавине пепела, креча и каменог агрегата се креће у сљедећим односима: 70 % пепео, 20 % камени материјал и 10 % креч. У пројекту је показана могућност употребе пепела у комбинацији са кречом и каменим агрегатом у разним слојевима саобраћајница почев од темељног тла, затим насипа и постељице, па до доњих носећих слојева, под условом да се они заштите застором асфалта.

Кључне ријечи: Електрофилтерски пепео, креч, везиво, камени агрегат, изградња саобраћајница.

УВОД

Лебдећи пепео, као нус-производ сагоријевања угља, почео се примјењивати у грађевинарству у раним 30-тим годинама 20. вијека. Првобитно се лебдећи пепео примјењивао као додаток бетону. Прва истраживања везана уз летећи пепео обављена су 1937. године на Универзитету у Калифорнији, а прва значајнија употреба пепела је код изградње бране Хунгру Хорсе у САД-у 1948. године, гдје је употријебљено 120.000 тона лебдећег пепела. Интензивнија примјена лебдећег пепела у грађевинарству је почела 60-тих година 20. вијека, када је пепео нашао примјену као додаток портланд цементу, у производњи цемента и као материјал испуне (филер) у нискоградњи. Данас се примјењују милиони тона лебдећег пепела, као структурног материјала у грађевинарству, широм свијета [1].

У Републици Српској су у погону термоелектране у Угљевику и Гацком, а у изградњи је и термоелектрана Станари. Термоелектране у оквиру основног процеса производње електричне енергије, стварају велике количине пепела и шљаке, који су производи сагоријевања разних врста угљева. Ови материјали се као баласт депонују на теренима (депонијама) у непосредној близини термоелектрана, гдје поред транспортних трошкова, изазивају и велике еколошке проблеме, деградацију пољопривредних земљишта, директно загађивање ваздуха код мокрог поступка, и индиректно код сувог поступка, путем падавина и различитих временских утицаја. Смањење, или још боље трајно рјешење ових проблема је од општег значаја.

Електрофилтерски пепео је користан за разноврсну примјену, јер је у питању пуцолан, односно силикатни или алумино-силикатни материјал који се у изолованом облику и у присуству воде комбинује са калцијум-хидроксидом (из креча, портланд цемента или прашине из пећи за жарење) и формира смјесу са карактеристикама везива.

ТЕОРЕТСКИ ДИО

Електрофилтерски пепео

Електрофилтерски пепео, који се добија сагоревањем угљене прашине у котловима за сагоревање угља, је фино мљевени, прашкасти материјал који се преноси димним гасом. Пепео се, обично, сакупља помоћу електростатичких таложника, контејнера за прикупљање прашине или уређаја за механичко прикупљање, попут циклона.

У производњи енергије примјењују се три начина уклањања пепела из котловског постројења: суви, влажни и циклонски. У пракси се најчешће примењује суви поступак. Када се угљена прашина уклања сувим поступком, око 80% сагорјелог остатка напушта пећ као електрофилтерски пепео садржан у димном гасу.

Г. Тадић, М. Глигорић, А. Дошић, Р. Грујић

Код уклањања влажним поступком (или код пећи са одводом за шљаку), око 50% пепела се задржава у пећима, а других 50% се издваја са димним гасом. Код циклонског типа, гдје се као гориво користи угљена прашина, 70% до 80% пепела се задржава као шљака у котлу и само се 20% до 30% издваја из пећи као сув пепео у димном гасу.

Лебдећи пепео је пуцолански материјал на бази силиција, алуминија и калција, који у комбинацији са кречом и водом ствара цементитни материјал одличних својстава.

УСАД-у је лебдећи пепео (pulverised fly ash – PFA) класификован у складу са америчким нормама ASTMС 618 на [2]:

- Пепео класе Ф – настаје спаљивањем антрацита и битуменизованог угља;
- пепео класе Ц – настаје спаљивањем дјелимично битуменизованог угља или гнита.

Пепео класе Ц има цементитна својства и без додатка креча, а пепео класе Ф ријетко има цементна својства уз додаток само воде.

Према технологији обраде PFA разликујемо:

- **Суви пепео**- који се примјењује за готове мјешавине, бетонске пре фабрикате, производњублокова и ињектирање;
- **Сепарисани пепео**– суви пепео у којем су одстрањени грубљи комади;
- **Обрађени пепео**– PFA са додатком одређене количине воде.

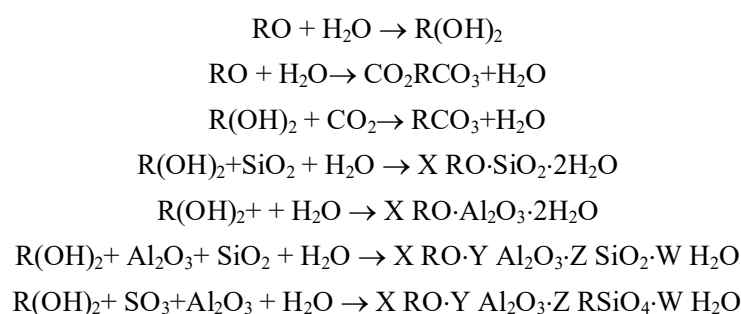
Табела 1. Стандардни садржај хемијских једињења у електрофилтерском пепелу који настаје сагорјевањем различитих типова угља (изражено у процентима по јединици масе)

ЈЕДИЊЕЊЕ	БИТУМЕНИЗИРАНИ УГАЉ (%)	ДЈЕЛИМИЧНО БИТУМЕНИЗИРАНИ УГАЉ (%)	ЛИГНИТ (%)
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
Губитак при жарењу	0-15	0-3	0-5

Г. Тадић, М. Глигорић, А. Дошић, Р. Грујић

Реакције хидратисаног креча и електрофилтерског пепела

Пошто је електрофилтерски пепео хемијски инертна материја, да би попримио цементирајућа својства, додаје му се хидратисани креч. Реакција између креча и електрофилтерског пепела заснива се на реакцијама између хидратисаног креча и киселих састојака пепела: SiO_2 и Al_2O_3 . Могуће хемијске реакције у мјешавини пепела и хидратисаног креча су слjedeће [3]:



Симбол R представља Ca^{2+} и Mg^{2+} катјоне или комбинацију ова два катјона, а симболи X, Y, Z и W стехиометријске коефицијенте.

Главна цементираја једињења одговарају групитоберморита (хидратисани калцијев силикат) и еtringита (калцијум алуминијум сулфа-хидрат). Претпоставља се да једињења калцијума и магнезијума могу да реагују са оксидом гвожђа, а могуће су и друге реакције.

Примјена у електрофилтерског пепела путоградњи

Увођење лебдећег пепела у асфалтну смјешу (смјеша пепела и асфалта) показује да побољшава особине асфалтних везива на нивоима поређених са онима који су постигнути модификацијом полимерима.

Истраживања нашироко приказују примјену нус-производа, као што су лебдећи пепео у грађевинској индустрији, како би побољшали особине материјала. Примјена лебдећег пепела у битуминозним материјалима је атрактивна како у побољшању перформанси и смањењу трошкова тако и у утицају на заштиту животне средине.

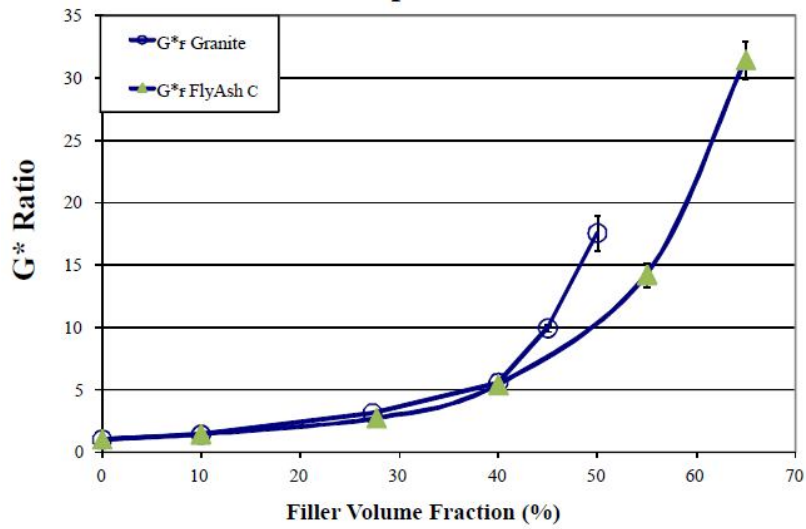
Сврха асфалтних пуниоца је да повећају крутост масе. Ајнштајн је 1911. године [4] посматрао уградњу пуниоца у структуру линеарним порастом крутости композита са брзином раста званом Ајнштајнов коефицијент.

Овај линеарни раст може бити посматран само унутар запреминске концентрације разблажених пунилаца, која варира између 10 % до 40 % зависно од пуниоца и структуре. Пораст крутости објашњен је тако да када је растојање између честица велико пореди се са значењем величине честице, честице се крећу тако споро да њихова кинетичка енергија може бити занемарена и не постоји релативно клизање површина честица. На тај начин, честице пуниоца, као што је лебдећи пепео практично не пролазе кроз структуру, тиме се њихова крутост повећава.

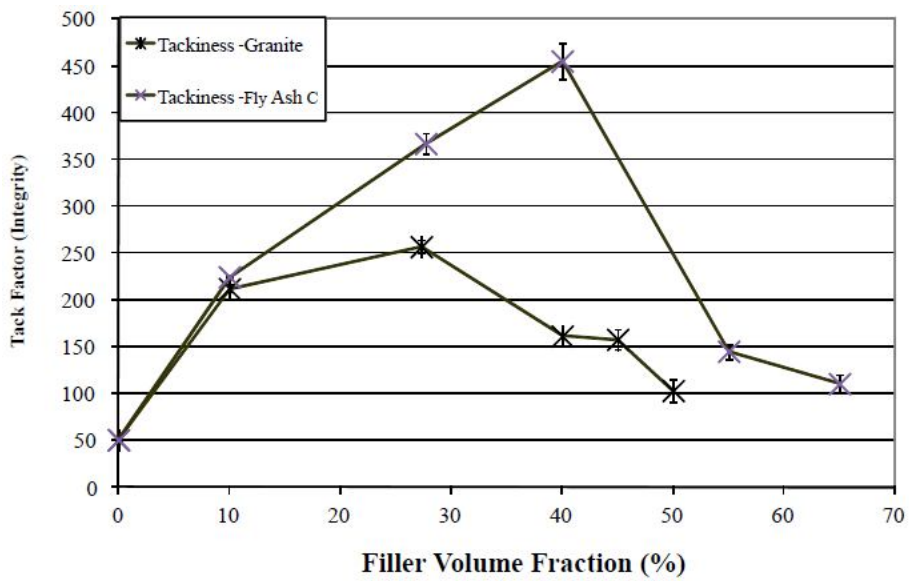
Sankaran and Rao [5], *Henning* [6] и *Tapkin* (2008) [7] су истраживали и открили да додаток лебдећег пепела омогућава асфалту чврстину, влажност, отпорност на замрзавање и одмрзавање, отпорност на трење, замор, густину и затезну чврстоћу. *Suheibani* [8] је истраживао лебдећи пепео као асфалтни додаток и открио да додаток овог пуниоца омогућава супериорни вијек трајања, отпорност на трење и затезну чврстоћу. Базирано на индекс у обрадивости на различитим температурама, *Cabrera and Zoorob* [9] је пронашао да се лебдећи пепео може мијешати и сабијати на ниским температурама као на 110 °С и 85 °С респективно, без икаквих штетних ефеката на инжењеринг и особине. *Faheem and Bahia* [10] указали су на утицај између минералних пунилаца и асфалтних везива, гдје утицај крутост и пуниоца на везива прати линеарни тренд пуњења у којима је утицај између пуниоца и везива минималан.

Sobolev i dr. [11, 12, 13] као и у студији *Faheema et al.* [14] измјерен је G^* однос са различитим садржајем пуниоца за лебдећи пепео и гранит помјешан са другим пуниоцима. G^* однос се израчунава дијелењем комплексног модула „лијепила“ (G^*) са углом везива δ . Слика 6. приказује пораст G^* односа са додатком пуниоца. Почетна брзина раста крутости је упоредељива између пуниоца. За гранитни пуниоц, око 35 % запремине, брзина крутости почиње да расте брже док 50 % запремине гдје не може више пуниоца бити додато без увођења ваздуха у празнине. Са друге стране, прелаз лебдећег пепела је постепен. Како је показано на слици 7, након центрације „лијепила“ 50 % (једнако је око 9 % масе од укупне смјеше вреле асфалтне смјеше) крутост гранитног везива је дупло већа од везивања летећег пепела. Ово демонстрира потенцијално продужење опсег а примјене лебдећег пепела у врелој асфалтној смјеши превазилази традиционалне минералне пуниоце.

Г. Тадић, М. Глигорић, А. Дошић, Р. Грујић



Слика 1. Прогресија G^* односа с обзиром на концентрацију упуниоца[14]



Слика 2. Фактор везивања при различитим концентрацијама[14]

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДИО И РЕЗУЛТАТИ

У А.Д. „Зворникпутеви“ Зворник и Технолошком факултету Зворник су обављена истраживања ради утврђивања могућности кориштења пепела из ТЕ "Угљевик" Угљевик као корисних материјала у путоградњи и грађевинарству:

Истраживањима је обухваћено сљедеће:

- Испитивање физичко-хемијских карактеристика електрофилтерског пепела;
- Израда рецептура за разне мјешавине.

Након лабораторијских и теренских истраживања и обраде добијених података, дошло се до значајних сазнања и резултата. Као пуниоц кориштен је електрофилтерски пепео из ТЕ „Угљевик“ који настаје сагоријевањем угља са површинског копа Богутово Село, а његов хемијски састав је дат у табели 4 [15].

Табела 2. Хемијски састав електрофилтерског пепела (%) из ТЕ „Угљевик“

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
31,90	13,3	12,9	15,6	4,5	18,2	0,4	0,5	1,2	1,5

Испитивања су показала да пепео садржи око 10% слободног СаО од укупног садржаја СаО, те се квашењем пепела не повећава температура. Пепео може да прими 250L/m³ воде, а за 28 дана се хемијски веже максимално 2,6 % воде.

Чврстоћа на притисак и на савијање се повећавају са одлежавањем и након 28 дана одлежавања од квашења пепела, максимална чврстоћа на притисак је 8,28 МПа, а чврстоћа на савијање 2,31 МПа.

Пуцоланска својства пепела ТЕ "Угљевик" испитана су према европском стандарду за пуцолане EN 196-5, а добијене вриједности износе:

$$[\text{OH}^-] = 4,2 \text{ mmol OH}^-/\text{dm}^3 \text{ и } [\text{CaO}] = 5,26 \text{ mmol}/\text{dm}^3$$

Налаз пуцоланитета према стандарду EN 196-5 за овај пепео је позитиван.

Рецептуре

Ради утврђивања могућности кориштења електрофилтерског пепела у комбинацији са кречом и каменим агрегатом код изградње саобраћајница и платоа за разне намјене урађене сурецептуре за разне мјешавине. За одређивање параметара физичко-механичких особина (притисне чврстоће, отпорности на мраз и CBR вриједности) и геомеханичких параметара уградње (оптимална влажност и максимална сувазапреминска маса), од сваке мјешавине урађен је потребан број епрувета у складу са одредбама стандарда SRPS U.E9.026.

Г. Тадић, М. Глигорић, А. Дошић, Р. Грујић

Епрувете су рађене машински у *Proctorovom* апарату са енергијом збијања према стандардном и модификованом *Proctorovom* поступку - SRPS U.B1.038, уз прописано његовање у трајању од 28 дана.

Рецептуре у масеним процентима за поједине мјешавине и резултати лабораторијских испитивања су:

МЈЕШАВИНА "М1"

Мјешавина која је означена са "М1" имала је сљедећи састав:

- електрофилтерски пепео = 95 %

- креч 5 %

Они заједно чине хидраулино пуцоланско везиво: ВЕЗ1

а) Геомеханички параметри уградње по стандардном Proctoru су:

- оптимална влажност $W_{opt.} = 57,1 \%$
- максимална сува запреминска маса = $8,2 \text{ kN/m}^3$

б) Физичко-механичке карактеристике његованих епрувета урађених од наведене мјешавине су:

Притисна чврстоћа:

- након 7 дана 1,09 МПа
- након 28 дана 1,71 МПа
- након смрзавања (14 циклуса) 1,63 МПа

Пад чврстоће након смрзавања је 4,7 %, што је мање од допуштених 20%.

Калифорнијски индекс носивости (CBR):

- након справљања 7,9 %
- након 7 дана 21,0 %

МЈЕШАВИНА "М2"

Мјешавина која је означена са "М2" имала је сљедећи састав:

- Хидраулино пуцоланско везиво: ВЕЗ1: 40 %
- Agregat 0-60 mm: 60 %

а) Геомеханички параметри уградње по стандардном Proctoru су:

- оптимална влажност $W_{opt.} = 30,1 \%$
- максимална сува запреминска маса = $15,4 \text{ kN/m}^3$
- коефицијент растреситости $K_r = 1,70$

(од $1,70 \text{ m}^3$ растресите мјешавине добије се $1,0 \text{ m}^3$ збијене мјешавине), што указује да код уградње треба вршити надвишење слоја за 70 %.

Г. Тадић, М. Глигорић, А. Дошић, Р. Грујић

б) Физичко-механичке карактеристике његованих епрувета урађених од наведене мјешавине су:

Притисна чврстоћа:

- након 7 дана 2,11 МПа
- након 28 дана 3,04 МПа
- након смрзавања (14 циклуса) 2,81 МПа

Пад чврстоће након смрзавања је 7,6 %, што је мање од допуштених 20%.

Калифорнијски индекс носивости (CBR):

- свјеже након справљања 20,9 %
- након 7 дана 33,7 %.

Током изградње огледне асфалтне површине извршена су текућа и контролна испитивања у складу са важећим техниким прописима за изградњу саобраћајница. Резултати извршених испитивања на огледној асфалтној површини су:

Дио огледне асфалтне површине са мјешавином "М1"

Ова мјешавина је употребљена на дијелу огледне дионице на дужини од 30 метара. Током изградње наведене дионице вршена су испитивања на терену и у лабораторији, а која се према техниким прописима обављају приликом изградње саобраћајница.

Влажност мјешавине и сува запреминска маса су параметри уградње по стандардном Proctoru. У вријеме мијешања и уграђивања, маса је имала сљедеће вриједности:

Влажност при уградњи:

(траса) $W = 48,2 \%$

Сува запреминска маса:

(траса) $\gamma = 8,29 \text{ kN/m}^3$

Након уградње, параметри влажности и суве запреминске масе мјешавине "М1" мјерени су свака два дана.

Кретали су се у сљедећим границама: $W = 46,4 - 63,8 \%$ и $\gamma = 7,22 - 9,26 \text{ kN/m}^3$.

Оптималне вриједности су: $W = 57,1 \%$ и $\gamma = 8,2 \text{ kN/m}^3$. Отварене су када се хомогенизирање врши у одговарајућем машинском постројењу.

Физичко-механичке карактеристике

Направљене су епрувете за испитивање физико-механиких особина мјешавине. Након његовања епрувета у лабораторијским условима, оне су испитане и добијени су сљедећи резултати:

Притисна чврстоћа након седам дана је: $\sigma = 0,40 - 0,81$ МПа

Притисна чврстоћа а након 28 дана је: $\sigma = 0,49 - 0,98$ МПа

Ове вриједности су мање од вриједности добијених испитивањем епрувета справљених у лабораторији од истих композита. Разлог овим разликама је неадекватна хомогенизација.

Модул стишљивости

Одређен је модул стишљивости (M_s) слојева приликом уградње масе (мјешавина "М1") непосредно након ваљања и након отврдњавања масе, као и прије уградње застора (асфалт).

Резултати испитивања појединих слојева су:

Подтло: $M_s = 11,2$ МПа

I слој: $M_s = 21,4$ МПа

II слој: $M_s = 48,1$ МПа

Завршни слој: $M_s = 118,5$ МПа

Према техниким условима за изградњу регионалних и магистралних путева, критеријум модула стишљивости (M_s) за слојеве постелице и завршног носивог слоја подлоге су: завршни слој $M_s \geq 80,0$ МПа и постелица $M_s \geq 40,0$ МПа.

Дио огледне асфалтне површине са мјешавином са композитом "М2"

Ова мјешавина је употребљена на дијелу огледне дионице на дужини од 30 метара. Током изградње наведене дионице вршена су испитивања на терену и у лабораторији, а која се према техниким прописима обављају приликом изградње саобраћајница.

Влажност мјешавине и сува запреминска маса су параметри уградње по стандардном Proctoru. У вријеме мијешања и уграђивања, маса је имала сљедеће вриједности:

Влажност:

(траса) $W = 34,9$ %

Сува запреминска маса:

(траса) $\gamma = 13,87$ kN/m³

Г. Тадић, М. Глигорић, А. Дошић, Р. Грујић

Након уградње, параметри влажности и суве запреминске масе мјешавине "М2" мјерени су свака два дана.

Кретали су се у сљедећим границама: $W = 47,6 - 65,5 \%$ и $\gamma = 7,59 - 9,05 \text{ kN/m}^3$.

Оптималне вриједности су: $W = 30,1 \%$ $\gamma = 15,4 \text{ kN/m}^3$ и остварују се када се хомогенизирање врши у одговарајућем машинском постројењу, а адсу при уградњи постигнуте вриједности влажности и запреминске масе приближне оптималним вриједностима.

Физичко-механичке карактеристике

Направљене су епрувете за испитивање физико-механиких особина мјешавине. Након његовања епрувета у лабораторијским условима, оне су испитане и добијени су сљедећи резултати:

Притисна чврстоћа након седам дана је: $\sigma = 0,72 - 0,85 \text{ МПа}$

Притисна чврстоћа након 28 дана је: $\sigma = 1,24 - 1,71 \text{ МПа}$

Ове вриједности су мање од вриједности добијених испитивањем епрувета справљених у лабораторији од истих композита. Разлог овим разликама је неадекватна хомогенизација.

Модул стишљивости

Одређен је модул стишљивости (M_s) слојева приликом уградње масе (мјешавина "М2") непосредно након ваљања и након отврдњавања масе, као и прије уградње застора (асфалт).

Резултати испитивања појединих слојева су:

Подтло: $M_s = 12,1 \text{ МПа}$

I слој: $M_s = 22,4 \text{ МПа}$

II слој: $M_s = 68,9 \text{ МПа}$

Завршни слој: $M_s = 142,9 \text{ МПа}$

На огледној асфалтној површини изграђеној са мјешавином "М2" (садржи камен), у односу на мјешавину "М1" добијени су бољи резултати физико-механиких карактеристика и модула стишљивости (M_s) али, су ти резултати, ипак, слабији од лабораторијских вриједности. Разлог је неадекватно мијешање и дозирање компоненти.

У табели 6 се дају критеријуми за физичко-механичке особине стабилизације кречом по стандарду SRPS U.E9.026. са модулом стишљивости.

Табела 3. Физичко-механичке особине стабилизације кречом (SRPSU.E9.026.)

СЛОЈ	ПРИТИСНА ЧВРСТОЋА (МПа)		КАЛИФОРНИЈСКИ ИНДЕКС НОСИВОСТИ (СВР) (%)		МОДУЛ СТИШЉИВОСТИ (М _s) (МПа)
	након 7 дана	након 28 дана	svježa masa	након 7 дана	
Темељно тло	0,2	0,3	5	-	20-40
Насип	0,3	0,4	5	-	20-40
Постељица	0,4	0,5	-	15	≥ 40
Носећи слој	1,0	1,4	-	15	≥ 80

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧЦИ

На основу теренских и лабораторијских испитивања пепела ТЕ "Угљевик", као и резултата испитивања мјешавина направљених са овим сировинама у лабораторијама А.Д. „Зворникпутеви“ и Технолошког факултета Зворник, а с обзиром на критеријуме стандарда SRPS U.E9.026 можемо извести следеће закључке

- Мјешавина од пепела, креча и каменог агрегата (туцаник 0-60 mm) се може користити за израду доњих носивих слојева коловозне конструкције;
- Оптимални састав композита пепела, креча и каменог агрегата се креће у следећим односима: 70 % пепео, 20 % камени материјал и 10 % креч;
- Вриједности притисних чврстоћа мјешавина справљених са наведеним материјалима, након 28 дана, крећу се од 0,49 до 1,71 МПа. Притисне чврстоће након 28 дана за поједине слојеве требају имати вриједности од 0,3 до 1,4 МПа. То указује на могућност употребе пепела у комбинацији са кречом и каменим агрегатом у разним слојевима саобраћајница почев од темељног тла, затим насипа и постељице, па до доњих носећих слојева, под условом да се они заштите застором асфалта;
- Прављење мјешавина према предложеним рецептурама вршити у постројењу за хомогенизацију, а уградњу уз кориштење одговарајућих машина. Током уградње је неопходно одржавање оптималне влажности, али и минимално седам дана након уградње или до заштите наредним слојем;
- Притисне чврстоће након 7 и 28 дана су због неадекватног мијешања и дозирања компоненти ниже од лабораторијских вриједности, али су приближне захтјеваним критеријима за све слојеве стабилизације кречом према SRPSU.E9.026.

- Proctor-ови параметри уградње: оптимална влажност W и сува запреминска маса γ би били приближнији оптималним вриједностима уколико би се примјенио адекватан систем мијешања и хомогенизирања масе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Projekat: „Uputstvo za korisnike nusproizvoda i upotrebu sekundarnih sirovina u izgradnji puteva“, G2G09/SB/5/4 u okviru kratkog G2G programa, Agentschap NL TerrAdvies EVD Unit Internationale Publieke Samenwerking, (2010).
- [2] ASTM C618-05 standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in Portland cement concrete. In: Annual book of ASTM standards. ASTM; West Conshohocken, Pennsylvania: (2005).
- [3] ACI CBešlagić, S., Begić, Z., Mogućnosti upotrebe elektrofilterskog pepela, Zbornik radova sa savjetovanja o primjeni elektrofilterskog pepela i šljake u izgradnji putne infrastrukture, Tuzla, (2003).
- [4] Einstein, A., Berichtigung zumeiner Arbeit: Eineneue Bestimmung der Molekül dimensionen. Ann. Phys. 34, (1911).
- [5] Sankaran, K.S., Rao, D.R., The influence of the quality of filler in asphaltic paving mixtures. Indian Roads Congress, (1973).
- [6] Henning, N.E., Evaluation of lignite fly ash as a mineral filler in asphaltic concrete. Report No. Item 2 (73).Twin City Testing and Engineering Laboratory, St.Paul, Minnesota, (1974).
- [7] Tapkin, S., Improved asphalt aggregate mix properties by portland cement modification. Can. J. Civ. Eng. 35: (2008).
- [8] Suheibani, A.R.S., The use of fly ash as an asphalt extender. PhD dissertation. University of Michigan, Ann Arbor, (1986).
- [9] Cabrera, J.G., and Zoorob, S., Design of low energy hot rolled asphalt. The Civil Engineering Materials Unit, Department of Civil Engineering, University of Leeds, UK (1994).
- [10] Faheem, A.F., Bahia H.U., Modeling of Asphalt Mastic in Terms of Filler-Bitumen Interaction, (2010).
- [11] Sobolev K., Flores I., Bohler J. D., Faheem A., Covi A., Application of Fly Ash in ASHphalt Concrete: from Challenges to Opportunities, World of Coal Ash Association. Lexington, KY (2013).

- [12] Sobolev K., Flores I., Wasiuddin (Wasi) N.M. The Effect of Fly Ash on the Rheological Properties of Bitumen Materials. Submitted to Fuel, (2012).
- [13] Sobolev, K., Flores, I., N. M. Wasiuddin (Wasi), "The Use of Fly Ash as Filler in Asphalt Cement: Phase I," Final Report, UWM-We Energies, (2011).
- [14] Faheem, A.F., Conceptual phenomenological model for interaction of asphalt binders with mineral fillers (Doctoral dissertation, University of Wisconsin Madison, 2009).
- [15] Stojanović, B., Balast pepeo – pogodna sirovina za gradnju puteva, Zbornik radova sa savjetovanja o primjeni elektrofilterskog pepela i šljake u izgradnji putne infrastrukture, Tuzla, (2003).

UDK: 662.613.11:625.712

DOI: 10.7251/JEPMSR1507125T

Professional paper

USE OF FLY ASH IN ROADS BUILDING

Goran Tadić¹, Miladin Gligorić¹, Aleksandar Došić¹, Radenko Grujić²
gtadic.tf@gmail.com

¹University of East Sarajevo, Faculty of Technology, 75400 Zvornik, Republic of Srpska, B&H

²A.D. «Zvornikputevi», 75400 Zvornik, Republic of Srpska, B&H

Abstract

Fly ash is useful for a variety of applications, because it is a plaster or silicate or aluminosilicate material which is in an isolated form and in the presence of water is combined with calcium hydroxide (from lime, portland cement or dust from furnaces) and formed mixtures with the characteristics of the binder. In this project analyzed the possibility of using fly ash in road constructions, making recipe for mixture of fly ash, stone aggregate and binder, as well as testing of mechanical and physical parameters of the mixture. The performed laboratory research as well as research in the field (in situ).

Tests show that the fly ash in road construction can be used as a binder and a mineral aggregate. A mixture of ash, lime and stone aggregate (crushed stone 0-60 mm) can be used to produce lower supporting layers of pavement. The optimum composition of the mixture of ash, lime and stone aggregates are moving in the following relationships: 70% ash, 20% of the stone material and 10% lime. The project demonstrated the possibility of using ash in combination with lime and stone aggregate in various layers of roads starting from the foundation soil, then, to the lower supporting layers, provided that they are protecting the asphalt surfacing.

Keywords: *fly ash, lime, connective tissue, stone aggregate, roads construction.*