



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva

Opatija, 2021.

Potencijal primjene pepela iz drvene biomase u održivoj gradnji cesta

Sanja Dimter

Dr. sc. Sanja Dimter¹, dipl.ing.građ., dr. sc. Martina Zagvozda¹, mag.ing.aedif., dr.sc. Miroslav Šimun², dipl.ing.građ.

¹ Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

²Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb

1. Uvod

- Korištenje kvalitetnih prirodnih zrnatih materijala za izvedbu vezanih i nevezanih nosivih slojeva kolničke konstrukcije
- Ekonomičnost, održivost i utjecaj na okoliš
- Istraživanje mogućnosti primjene nestandardnih, alternativnih materijala u građevinarstvu
- Alternativni materijali se razlikuju po svojim kemijskim i fizičkim svojstvima, izvornom stanju ili dodatnoj obradi kojoj ih treba podvrgnuti prije korištenja
- **Pepeo iz drvne biomase** - nastaje kao ostatak spaljivanja drvne biomase za proizvodnju električne i toplinske energije

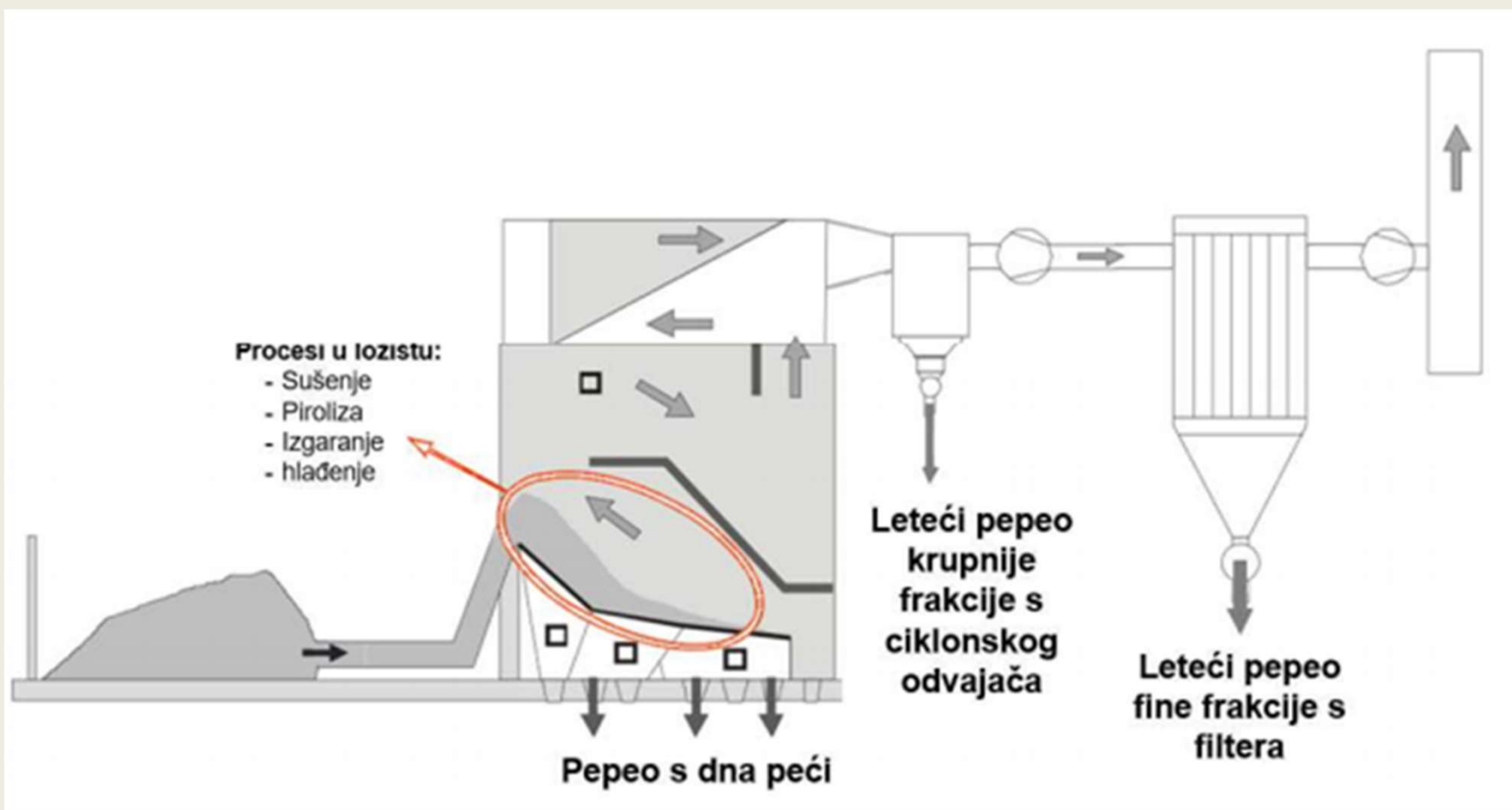


1. Uvod

- Istraživanja moguće primjene počinju se provoditi posljednjih godina, inicirana velikim količinama biopepela koji nastaju u novoizgrađenim elektranama
- Izgradnja elektrana na biomasu u Hrvatskoj intenzivirala se donošenjem Strategije energetskeg razvoja Republike Hrvatske
- U istočnoj Hrvatskoj nalazi se gotovo polovina od ukupnog broja u pogon puštenih elektrana, a one najveće za proizvodnju energije koriste drvnu biomasu
- Osječko-baranjska i Vukovarsko-srijemska županija dio projekta SRCplus (*Projektom je planiran razvoj održive opskrbe lokalnih energana/kogeneracija drvnom biomasom*)



2. Nastajanje i svojstva pepela iz drvene biomase



Izvor: Štirmer, N. (2016). Transformacija pepela iz drvene biomase u građevne kompozite s dodanom vrijednošću, Hrvatska zaklada za znanost, Zagreb, <https://bib.irb.hr/datoteka/929289.Tarec-brosura.pdf>

2. Nastajanje i svojstva pepela iz drvne biomase

- Biopepeo je kruti ostatak potpunog ili nepotpunog izgaranja organskog materijala u biomasi
- Pepeo ložišta, ciklonski leteći pepeo i filterski leteći pepeo
- Raspon veličina čestica i granulometrijski sastav pojedinih frakcija drvnih pepela rezultat su svojstava tehnologija za razdvajanje i prikupljanje pepela, ali i porijekla biomase



2. Nastajanje i svojstva pepela iz drvne biomase

- Fizikalna i kemijska svojstva pepela ovise o:
porijeklu drvne biomase, dijelu biljke iz koje nastaje biomasa (granje i korijenje, stablo, kora i lišće) i lokaciji izvora, količini mineralnih nečistoća, načinu prikupljanja i obrade biomase, tehnologiji i temperaturi spaljivanja
- Velik udio CaO u odnosu na ostale biopepele (MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO)
- Širok raspon svojstava i varijabilnost sastava pepela
➔ brojne mogućnosti primjene; detaljna istraživanja svojstava



2. Nastajanje i svojstva pepela iz drvne biomase

Drvni pepeo se može u mješavinama koristiti na dva načina:

(1) kao vezivna komponenta, kada se dodatkom pepela iniciraju određene kemijske reakcije kao posljedice pucolanske aktivnosti (posredan način primjene pepela)

➔ važan kemijski sastav pepela

(2) kao punilo, kada je potrebno poboljšati fizikalna svojstva mješavina povećanjem udjela finih čestica (neposredan način primjene pepela)

➔ važan granulometrijski sastav pepela



3. Primjena pepela iz drvene biomase u slojevima kolničke konstrukcije - projekt GrAFOS

Istraživanjem su obuhvaćene mješavine za izradu različitih slojeva kolničke konstrukcije: nevezani, cementom stabilizirani i asfaltni sloj.

Istraživao se i analizirao utjecaj drvnog pepela na:

- (1) nosivost mješavina od pijeska namijenjenih izradi nevezanih nosivih slojeva,
- (2) svojstva stabilizacijskih mješavina sastavljenih od pijeska, cementa i pepela namijenjenih izradi cementom stabiliziranih nosivih slojeva, te
- (3) svojstva asfaltnih mješavina namijenjenih izradi nosivo-habajućih slojeva kolnika



3.1. Utjecaj drvnog pepela na nosivost mješavina od pijeska za izradu NNS

Materijali: pijesak iz rijeke Drave i drveni ložišni pepeo

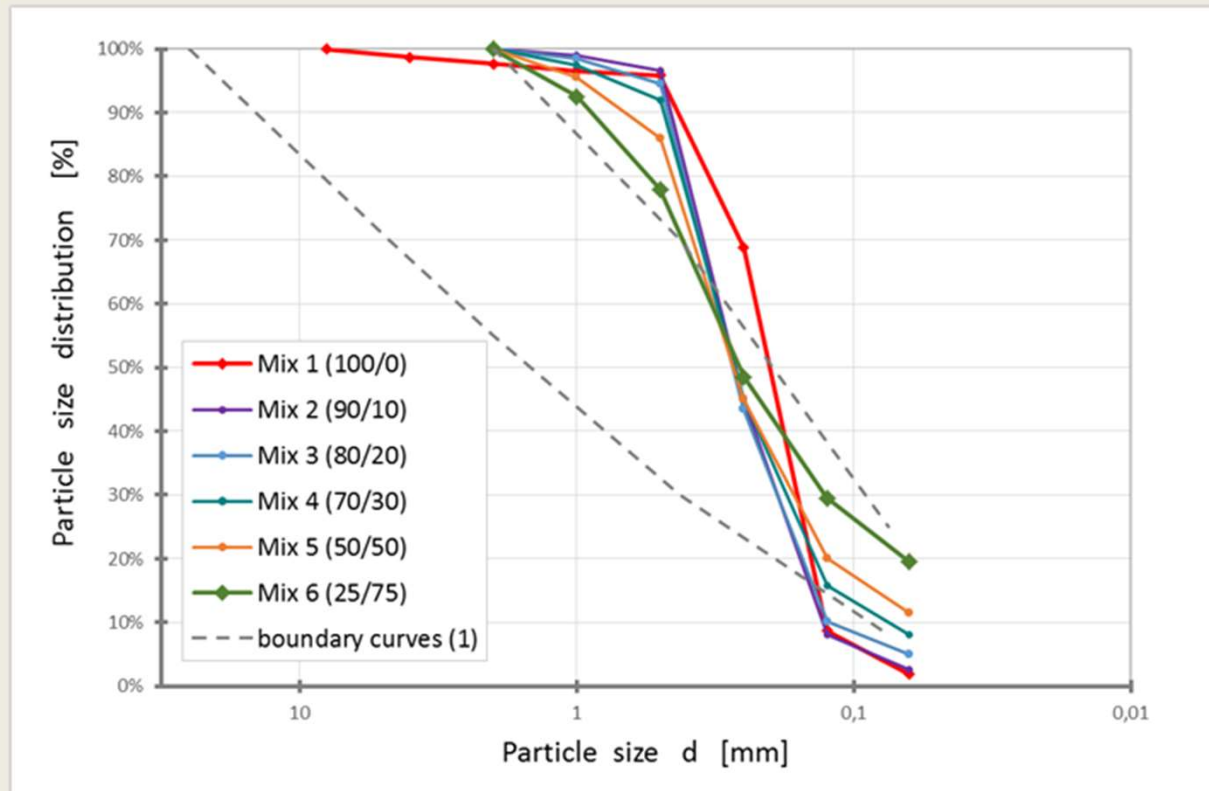
Dravski pijesak je materijal sivosmeđe boje, ujednačenog granulometrijskog sastava srednje veličine zrna $D_{50} = 0,3$ mm i stupnja neravnomjernosti $U = d_{60} / d_{10} = 2$.

Drveni pepeo prikupljen je ispod rešetke kotla u bioenergetskom postrojenju tvornice "Strizivojna Hrast d.o.o." Strizivojna.

Kemijski sastav ložišnog pepela (mas. %):
MgO=2.645, Al₂O₃=0.828, SiO₂=3.486, P₂O₅=2.346,
SO₃=1.408, K₂O=7.134, CaO=43.7, Fe₂O₃=0.685.



3.1. Utjecaj drvnog pepela na nosivost mješavina od pijeska za izradu NNS



- M 1 (kontrolna): 100 % pijesak
- M 2: 90 % pijesak + 10 % pepeo
- M 3: 80 % pijesak + 20 % pepeo
- M 4: 70 % pijesak + 30 % pepeo
- M 5: 50 % pijesak + 50 % pepeo
- M 6: 25 % pijesak + 75 % pepeo



3.1. Utjecaj drvnog pepela na nosivost mješavina od pijeska za izradu NNS



(1) **HRN EN 13286-2:2010** Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction

(2) Priprema uzoraka



(3) **HRN EN 13286-47:2012** Unbound and hydraulically bound mixtures -- Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling

Rezultati ispitivanja CBR-a

M 1 (kontrolna): 100 % pijesak

M 2: 90 % pijesak + 10 % pepeo

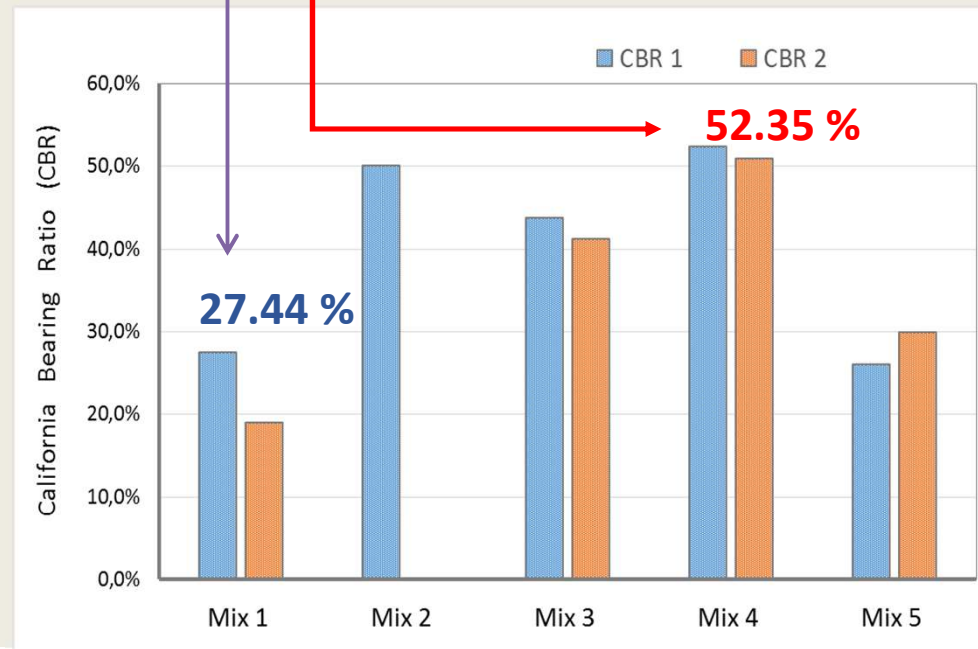
M 3: 80 % pijesak + 20 % pepeo

M 4: 70 % pijesak + 30 % pepeo

M 5: 50 % pijesak + 50 % pepeo

M 6: 25 % pijesak + 75 % pepeo

Test		Mješavine				
		1	2	3	4	5
CBR 1	%	27.44	50.00	43.76	52.35	26.03
CBR 2	%	18.96	0.00	41.16	50.83	29.88
Linearno bubrenje	%	0.02	0.53	2.14	2.33	5.11



3.2 Utjecaj drvnog pepela na svojstva stabilizacijskih mješavina

Materijali: pijesak iz rijeke Drave, ciklonski drveni pepeo, cement CEM II/B-M (P-S) 32,5 N (Našicecement d.d.)

Drveni pepeo prikupljen na ciklonskom otprašivaču u bioenergetskom postrojenju tvornice "Strizivojna Hrast d.o.o." Strizivojna.

Kemijski sastav pepela (mas. %):
MgO=3.06, Al₂O₃=0.44, SiO₂=4.05,
P₂O₅=2.90, SO₃=1.59, K₂O=2.82, CaO=46.91



3.2 Utjecaj drvnog pepela na svojstva stabilizacijskih mješavina

Projektirane su stabilizacijske mješavine sljedećeg sastava:

M 1: 70 % pijesak + 30 % drvni pepeo + 2 % cementa

M 2: 70 % pijesak + 30 % drvni pepeo + 4 % cementa



(1) **HRN EN 13286-2:2010** Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction

(2) Priprema uzoraka

(3) **HRN EN 13286-41:2003** Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test method for the determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures

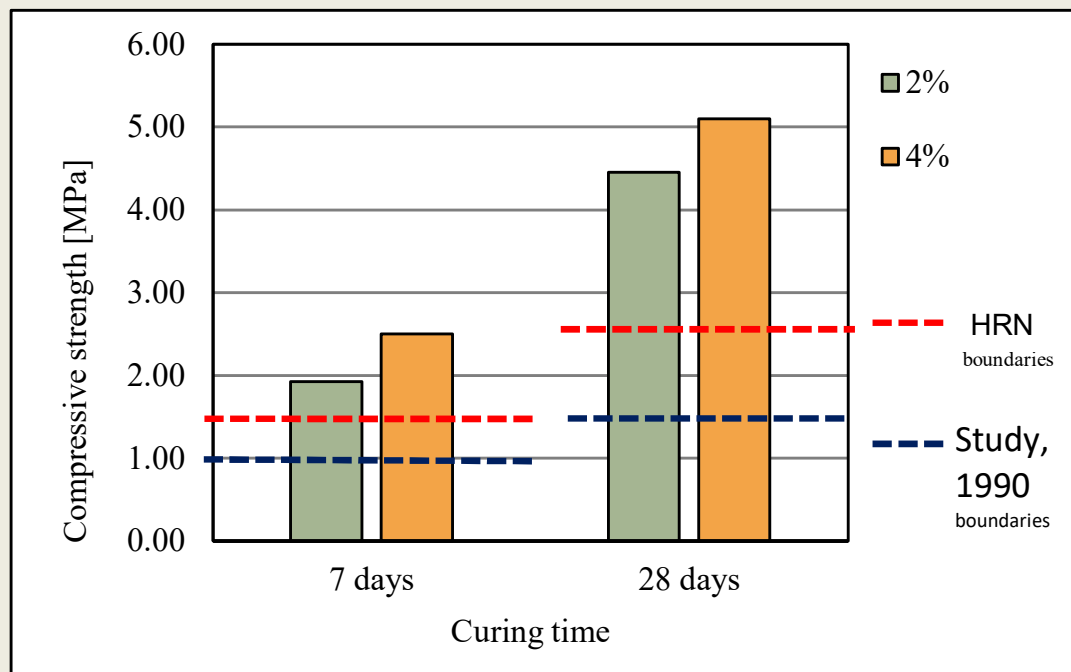
3.2 Utjecaj drvnog pepela na svojstva stabilizacijskih mješavina



Ispitivanje tlačne čvrstoće uzoraka provedeno je nakon njege uzoraka na temperaturi 20 °C nakon 7 i 28 dana prema normi HRN EN 13286-41.

Napomena: Ispitivanja na sastavnim materijalima i fizikalno-mehaničkim svojstvima mješavina namjenjenih izradi nosivih slojeva provedena su u Geotehničkom i cestograđevnom laboratoriju Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek.

3.2 Utjecaj drvnog pepela na svojstva stabilizacijskih mješavina



SLOJ KOLNIČKE KONSTRUKCIJE	TLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)		TLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)	
	prema HRN U.E9.0246		prema Studiji primjene pijeska	
	nakon 7 dana	nakon 28 dana	nakon 7 dana	nakon 28 dana
Gornji nosivi slojevi kolničke konstrukcije	2.0-5.5	3.0-6.5	1.5-3.0	2.5-5.5
Donji nosivi slojevi kolničke konstrukcije	1.5-4.5	2.5-6.0	1.0-2.0	1.5-3.0

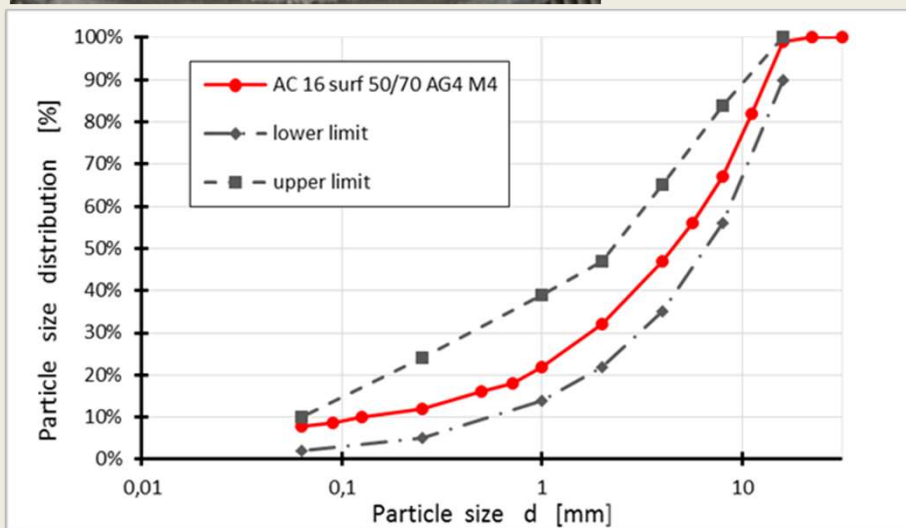
- Dobiveni rezultati potvrdili su kako se drvnim letećim pepelom (u udjelu mas. % 30) u stabilizacijskoj mješavini pijeska mogu postići vrijednosti tlačnih čvrstoća u propisanim granicama potrebnim za izradu nosivih slojeva stabiliziranih hidrauličnim vezivom.
- Pri tome, minimalna količina cementa u stabilizacijskoj mješavini iznosi 2 %.



3.3 Utjecaj drvnog pepela na svojstva asfaltnih mješavina

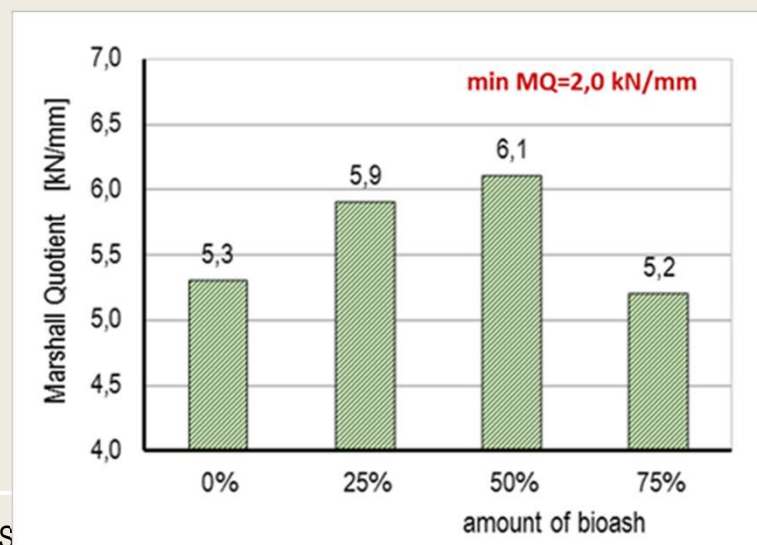
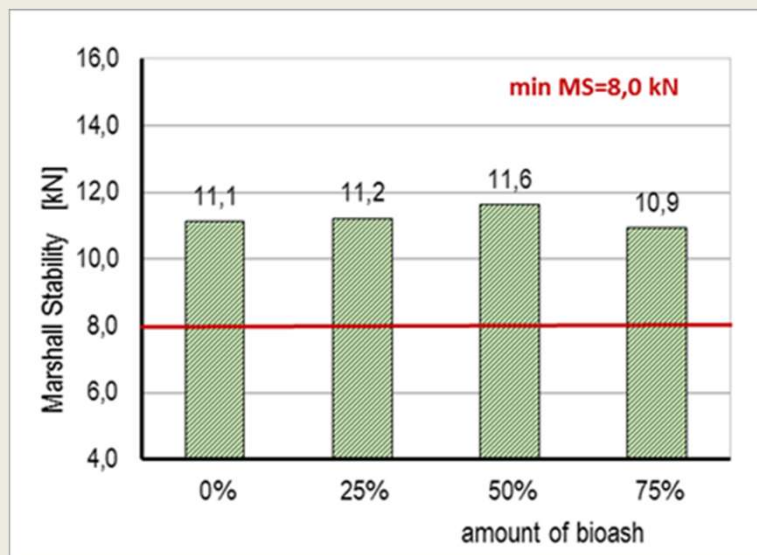


- Kao osnovno punilo u asfaltnoj mješavini AC 16 surf koristilo se mineralno punilo (kamenno brašno) te punilo od drvnog pepela (ciklonski pepeo) u različitim masenim udjelima: 25 %; 50 %; 75 %



- 1) ispitati svojstva pepela kao dodanog punila
- 2) ispitati otpuštanje opasnih tvari pepela (utjecaj otpadnog materijala na okoliš)
- 3) utvrditi fizikalno-mehanička svojstva asfaltnih mješavina
- 4) utvrditi otpornost asfaltnih uzoraka na djelovanje vode

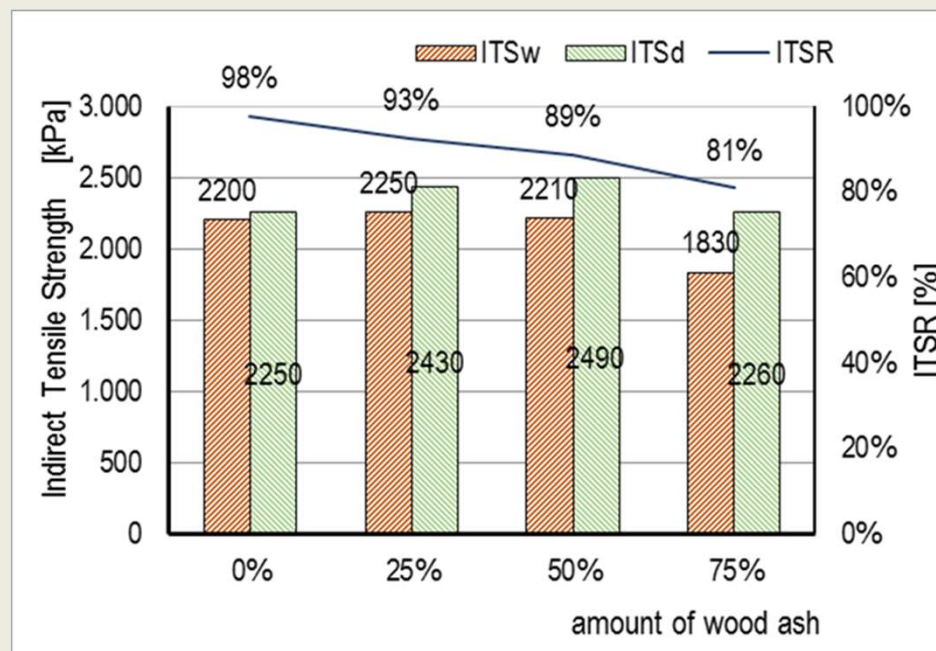
3.3 Utjecaj drvnog pepela na svojstva asfaltnih mješavina



- Marshallov stabilitet (MS) i Marshallov kvocijent (MQ) imaju najveću vrijednost kod mješavina s udjelom 50% pepela u punilu i odnos deformacija - tečenje je najniži što ukazuje na poboljšanu otpornost asfalta na kolotražnje
- minimalna vrijednost stabilnosti asfaltne mješavine za habajuće slojeve i teško prometno opterećenje, prema „Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama” iznosi 8.0 kN te, sa sniženom vrijednošću stabiliteta u odnosu na ostale ispitane mješavine, mješavina s 75 % pepela ispunjava kriterij potrebne stabilnosti za primjenu u izvedbi asfaltnog sloja



3.3 Utjecaj drvnog pepela na svojstva asfaltnih mješavina



- vrijednosti indirektne vlačne čvrstoće na vodom zasićenim uzorcima (ITSw) najviše su kod mješavina s udjelom 25% pepela u punilu, dok su kod suhih uzoraka (ITSd) najviše kod mješavina s udjelom 50% pepela u punilu, a što utječe na povećanu otpornost asfalta na pojavu pukotina
- rezultati omjera indirektne vlačne čvrstoće (ITSR) vodom zasićenih uzoraka (ITSw) i suhih uzoraka (ITSd) kreću se od 81% do 98% kod svih ispitanih uzoraka što potvrđuje dobru otpornost asfaltnih uzoraka na djelovanje vode

Napomena: Sva ispitivanja na sastavnim materijalima i fizikalno-mehaničkim svojstvima asfaltnih mješavina te osjetljivosti asfaltnih uzoraka na vodu provedena su u akreditiranom ispitnom laboratoriju Instituta IGH d.d. u Zagrebu.

4. Zaključak

- 1) Provedena istraživanja potvrđuju mogućnost primjene drvnog pepela:
 - a) Ložišnog; u mješavinama pijeska gdje u udjelu do 30 % povećava nosivost mješavine
 - b) Ciklonskog; u mješavinama pijeska i min 2 % cementa gdje u udjelu do 30 % povećava tlačnu čvrstoću mješavine nakon 7 i 28 dana
 - c) Ciklonskog; u asfaltnim mješavinama gdje kao dio punila (do max 50 %) poboljšava otpornost asfalta na kolotraženje, povećava otpornost asfalta na pojavu pukotina te otpornost na djelovanje vode
- 2) Primjena rezultata istraživanja je u racionalnijem i ekonomičnijem projektiranju i izvođenju slojeva kolničke konstrukcije, posebno u područjima sa znatnim količinama pepela iz drvne biomase i pijeska kao lokalnog materijala.



Hvala vam na pažnji.

*Istraživanja opisana u radu provedena su u internom znanstveno-istraživačkom projektu “**Primjena pepela iz drvne biomase u slojevima kolničke konstrukcije - Bio PAV**” IZIP-GrAFOS-2018 Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek.*

Dr.sc. Sanja Dimter, dipl.ing.građ.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

sdimter@gfos.hr

