



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom pepela drvne biomase

Prof. dr. sc. Nina Štirmer

Dr. sc. Ivana Carević

Sonja Cerковиć

prof. dr. sc. Nina Štirmer, dipl. ing. građ., dr. sc. Ivana Carević, dipl. ing. građ.,
Sonja Cerковиć, mag. ing. aedif., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet., Zagreb

CEMENTNA INDUSTRIJA

- glavni uzrok globalnog zatopljenja
→ 5 – 7 % ukupne emisije stakleničkog plina CO₂
- manja dostupnost prirodnih resursa
→ vapnenac, pijesak, prirodni agregati
- povećana potrošnja energije potrebne za miniranje stijena, kao i za transport do tvornice



- udio energije iz OIE u ukupnoj konačnoj bruto potrošnji **najmanje 32 % do 2030.** godine (Direktiva 2018/2001/EU)
- klimatska neutralnost do 2050. godine – OIE će morati opskrbljivati većinu potrošnje energije – **biomasa će imati presudnu ulogu u postizanju tih ciljeva**, osobito energane na krutu i plinovitu biomasu (Direktiva 2008/98/EC)
- povećano korištenje drvene biomase kao OIE → povećana **količina pepela** drvene biomase (PDB) → povećani troškovi zbrinjavanja



PEPEO DRVNE BIOMASE (PDB)

- **PDB** je neizgorivi kruti ostatak koji nastaje nakon potpunog izgaranja drvne biomase i koji sadrži najveći dio mineralnih frakcija koje potječu iz biomase
- **PDB** je kompleksna mješavina anorganskog i organskog sastava



Pepeo s dna peći



Leteći pepeo finije frakcije



Leteći pepeo krupnije frakcije

- HRN EN 450-1:2013 *Leteći pepeo za beton - 1. dio: Definicije, specifikacije i kriteriji sukladnost* → dobiven izgaranjem drobljenog ugljena, s materijalima za suspaljivanje ili bez njih.

Svojstvo	Norma	Kriterij
Gubitak žarenjem	HRN EN 196-2:2013	Razred A < 5,0 mas. %
		Razred B < 7,0 mas. %
		Razred C < 9,0 mas. %
Sadržaj klorida, Cl ⁻	HRN EN 196-2:2013	< 0,10 mas. %
Sadržaj sulfata, SO ₃	HRN EN 196-2:2013	< 3,0 mas. %
Sadržaj slobodnog kalcijevog oksida	HRN EN 451-1:2017	< 1,5 mas. %
Sadržaj reaktivnog kalcijevog oksida*	HRN EN 197-1-:2012	< 10,0 mas. %
Sadržaj reaktivnog silicijevog dioksida**	HRN EN 197-1-:2012	> 25 mas. %
SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ **	HRN EN 196-2-:2013	> 70 mas. %
Ukupni sadržaj alkalija**, Na ₂ O _{eq}	HRN EN 196-2-:2013	< 5,0 mas. %
Sadržaj magnezijevog oksida**, MgO	HRN EN 196-2-:2013	< 4,0 mas. %
Sadržaj ukupnog fosfata**, P ₂ O ₅	ISO 29581-2	< 5,0 mas. %
Sadržaj topivog fosfata***, P ₂ O ₅	HRN EN 450-1:2013, Dodatak C	< 100 mg/kg
*Ako ukupni sadržaj kalcijevog oksida nije veći od 10,0 %, smatra se da udio reaktivnog kalcijevog oksida zadovoljava		
**Provjerava se u slučaju suspaljivanja (ako se radi samo o izgaranju ugljena, smatra se da leteći pepeo zadovoljava)		
***Kod početnog ispitivanja tipa letećeg pepela u slučaju suspaljivanja		



PRIMJENA PDB-a U BETONSKOJ I CEMENTNOJ INDUSTRIJI

Alternativna
sirovina u
**proizvodnji
klinkera**

Mineralni
dodatak u
**proizvodnji
cementa**
(sastavni dio
cementa)

Mineralni
dodatak u
**proizvodnji
betona** (uz ili
djelomično
zamjenjuje
cement)



„Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom biopepela”, KK.01.2.1.01.0049

- Provedba Projekta: 1.2.2019. – 1.2.2023.
- Korisnik: Beton Lučko RBG d.o.o.
- Partner: Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet

Faze istraživanja i razvoja

Industrijsko
istraživanje

Eksperimentalni
razvoj



IDEJA PROJEKTA

- **CILJ:** doprinijeti jačanju gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija u građevnoj industriji kroz razvoj inovativnih ekoloških proizvoda, tehnologija i poslovnih procesa
- primjena PDB – a kao zamjene dijela cementa i/ili sitnog agregata u betonu u proizvodnji betonske galanterije



ENERGANE

- posjećeno 9 energana u RH
- prikupljeno 10 uzoraka drvene sječke i 12 uzoraka PDB – a
- ANKETA → Ispunilo 9 energana ukupne instalirane snage 18,325 MW_e i 66,2 MW_t

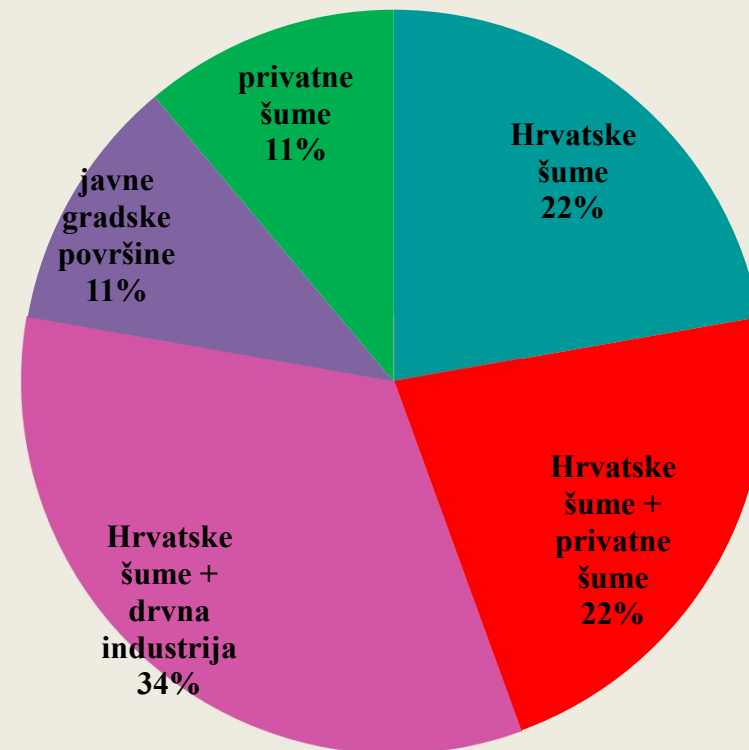
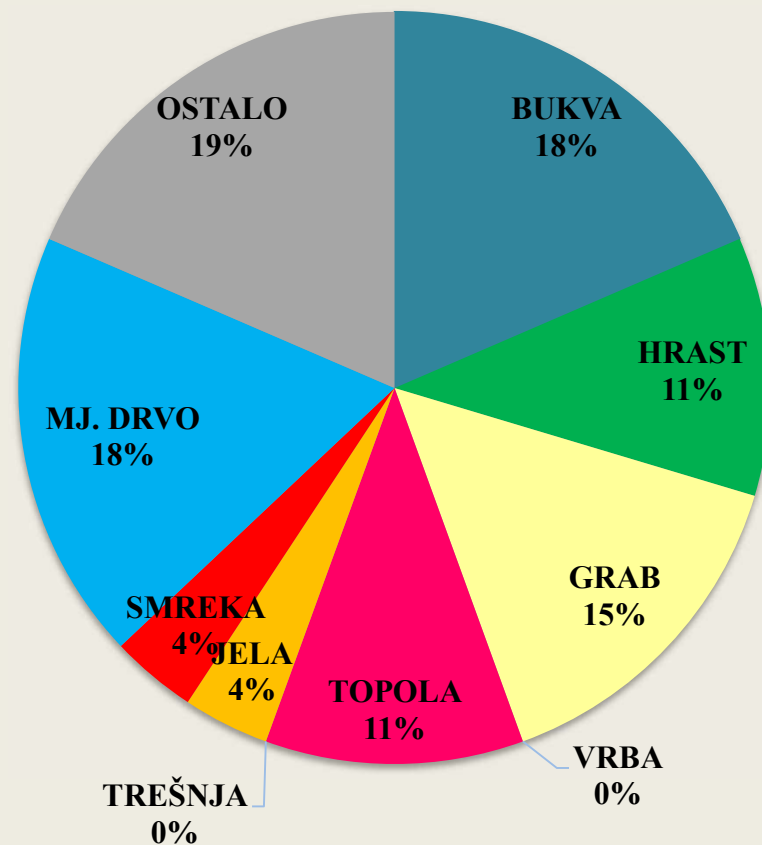
R.BR.	OZNAKA	VRSTA
0	CEM	Cement
1	Pepeo 1	Pepeo s dna peći
2	Pepeo 2	Leteći pepeo finije frakcije (elektrostatski filter)
3	Pepeo 3	Pepeo s dna peći i leteći pepeo krupnije frakcije (ciklonski odvajač)
4	Pepeo 4	Pepeo s dna peći
5	Pepeo 5	Leteći pepeo finije frakcije (elektrostatski filter)
6	Pepeo 6	Pepeo s dna peći i leteći pepeo krupnije frakcije
7	Pepeo 7	Leteći pepeo krupnije frakcije (ciklonski odvajač)/(starije postrojenje)
8	Pepeo 8	Pepeo s dna peći i leteći pepeo krupnije frakcije (ciklonski odvajač)/(novije postrojenje)
9	Pepeo 9	Pepeo s dna peći
10	Pepeo 10	Pepeo s dna peći
11	Pepeo 11	Leteći pepeo finije frakcije
12	Pepeo 12	Pepeo s dna peći i leteći pepeo finije frakcije (elektrostatski filter)



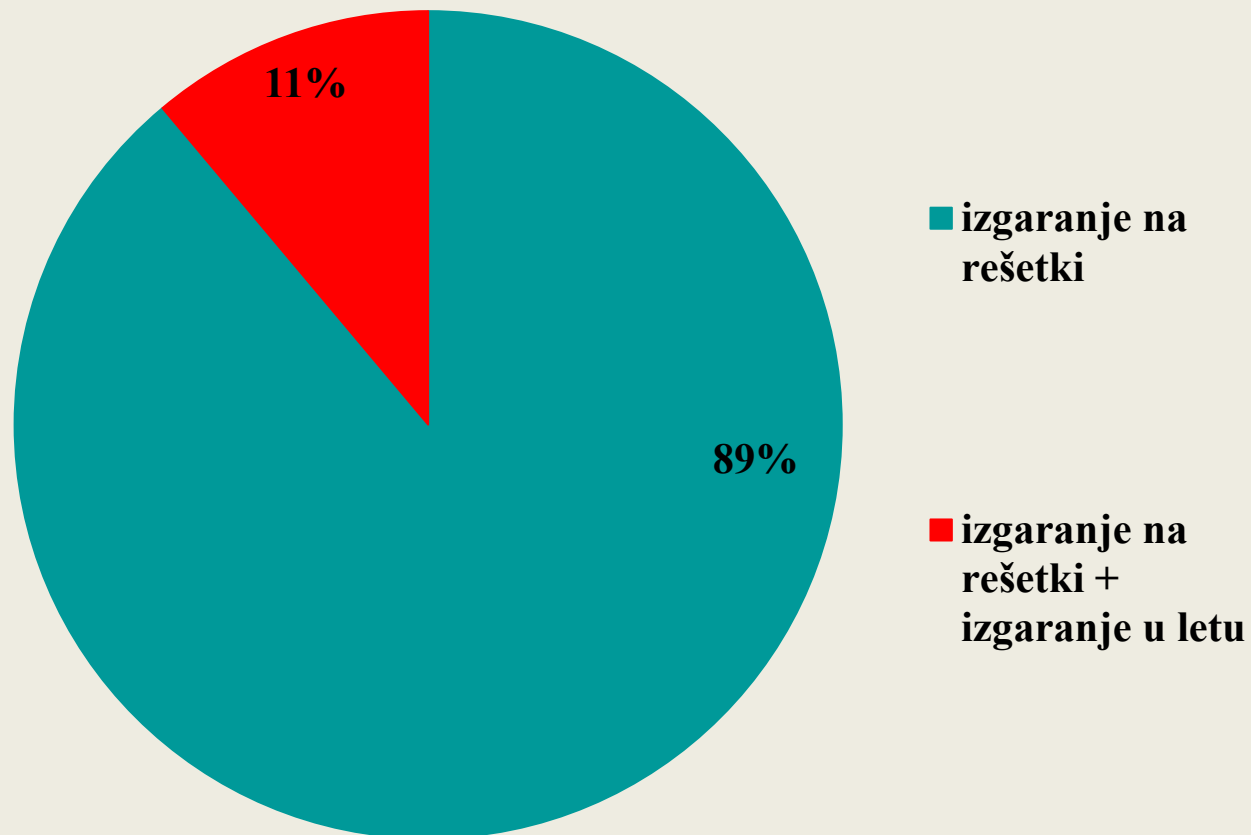


Drvena biomasa iz 9 postrojenja u Republici Hrvatskoj – a) Bjelovar; b) Benkovac; c) Fužine; d) Vukovar; e) Grubišno Polje; f) Glina g) Vinkovci; h) Požega; i) Zagreb

VRSTE I IZVORI DRVNE BIOMASE - ankete



TEHNOLOGIJE IZGARANJA - anketa





Pepeo 1



Pepeo 2



Pepeo 3



Pepeo 4



Pepeo 5



Pepeo 6



Pepeo 7



Pepeo 8



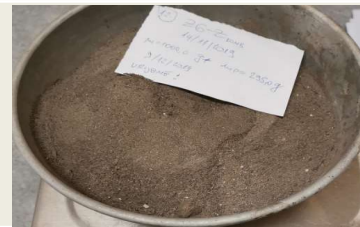
Pepeo 9



Pepeo 10

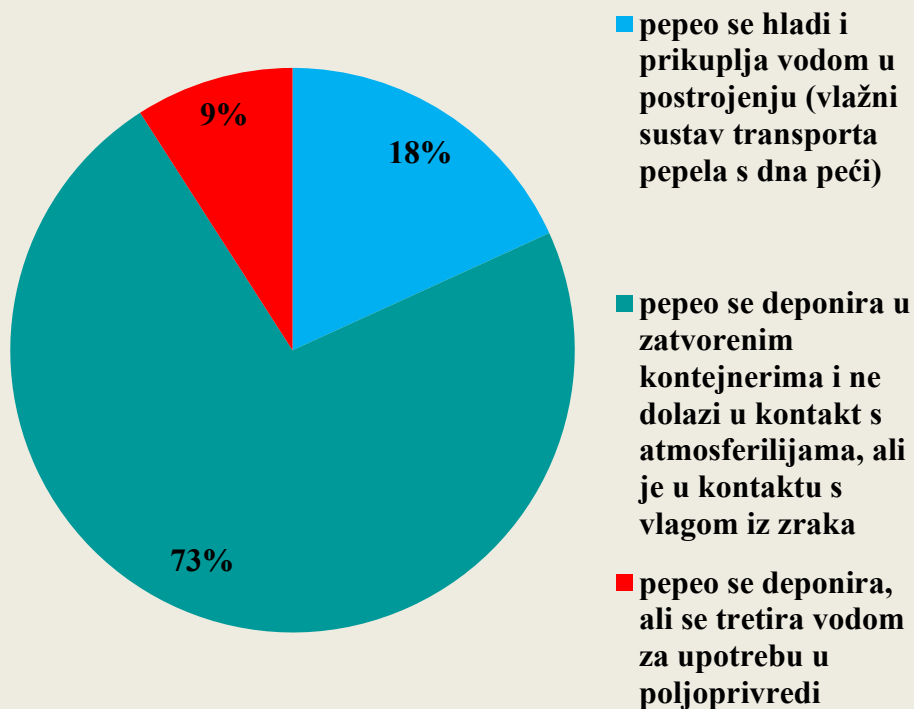


Pepeo 11

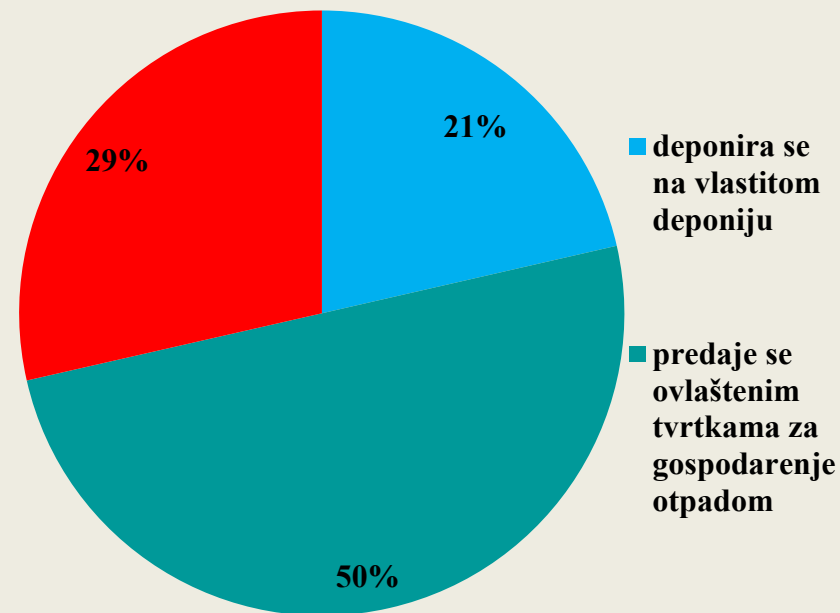


Pepeo 12

UPRAVLJANJE PDB-om - ankete



a) skladištenje



b) gospodarenje



PLAN ISPITIVANJA BETONA S PDB-om

Plan ispitivanja sastavnih komponenti

Svojstva	Metoda ispitivanja
Gustoća	HRN EN 1097-6, ASTM C 188
Vlažnost	HRN EN 1097-5
Apsorpcija	HRN EN 1097-6, ASTM C 188
Određivanje granulometrijskog sastava	HRN EN 933-1
Procjena sitnih čestica	HRN EN 933-10

Plan ispitivanja u svježem stanju

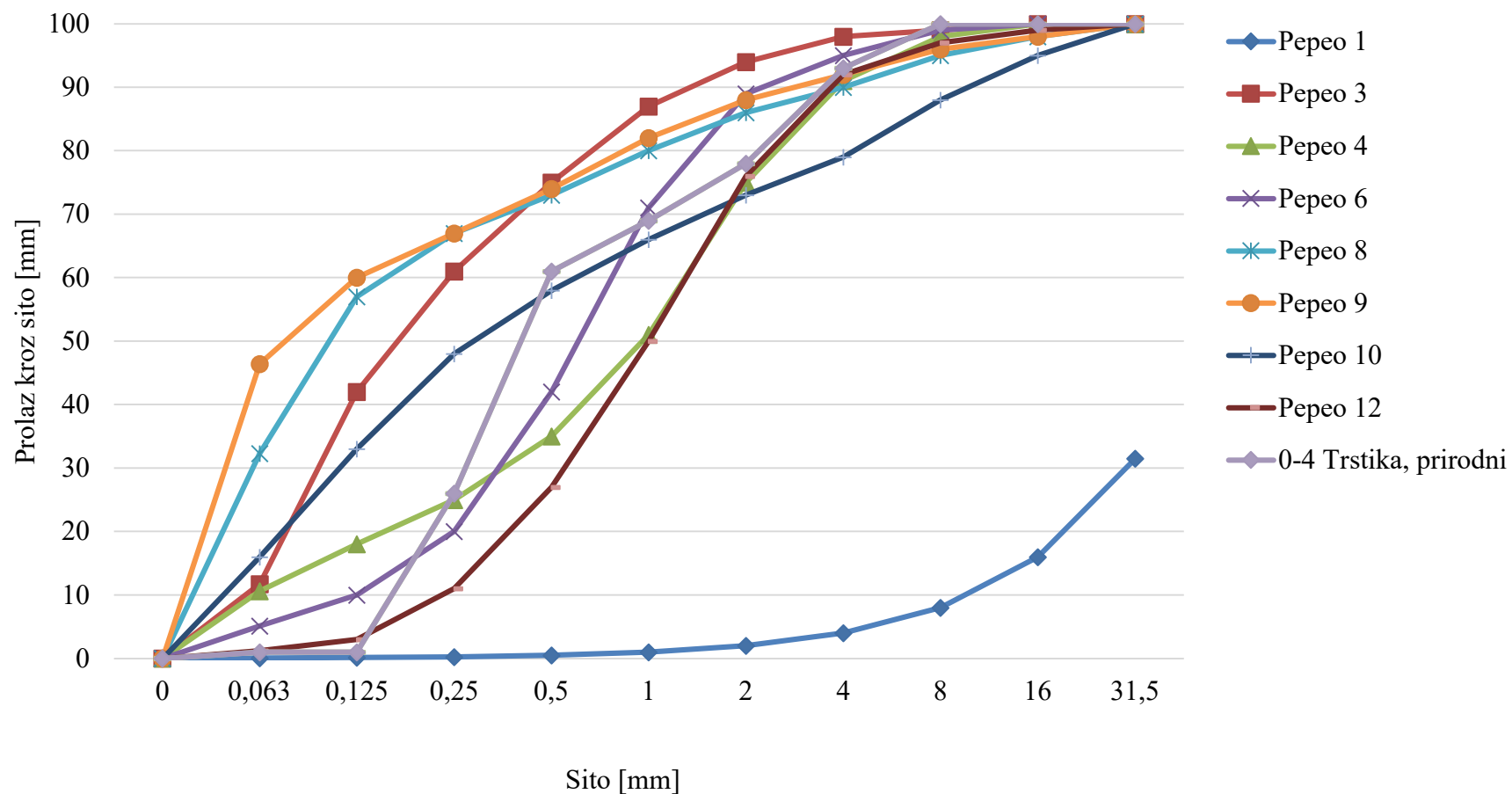
Svojstva	Metoda ispitivanja
Konzistencija slijeganjem - Slump test	HRN EN 12350 - 2:2019
Gustoća	HRN EN 12350 - 6:2019
Temperatura	HRN EN 12350-1:2019
Udio pora	HRN EN 12350 - 7:2019

Plan ispitivanja u očvrslulom stanju

Svojstva	Metoda ispitivanja
Tlačna čvrstoća	HRN EN 12390-3:2019; HRN EN 12930-3:2009/Ispr.1:2012
Kapilarno upijanje	HRN EN 13057:2003
Upijanje vode	HRN EN 1340:2004; HRN EN 1340:2004/AC:2007
Vodonepropusnost	HRN EN 12390-8:2019
Otpornost na djelovanje mraza i soli (56 ciklusa)	HRS CEN/TS 12390-9:2016
Procjena otpuštanja opasnih tvari (izluživanje teških metala)	HRS CEN/TS 16637-2



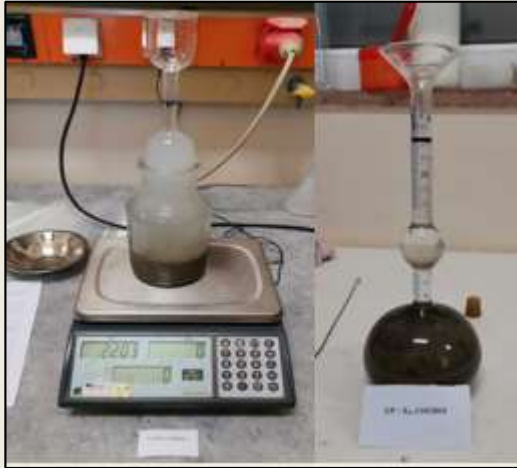
GRANULOMETRIJSKI SASTAV PDB-a



- Referentna mješavina (M0) i 8 mješavina (M1-M12) s 15 % udjela PDB-a kao zamjene sitnog agregata (frakcija 0 - 4 mm)



PROVEDBA ISPITIVANJA



Ispitivanje gustoće



Ispitivanje granulometrijskog sastava



Ispitivanje svojstava u svježem stanju



Ispitivanje svojstava u očvrsluom stanju

- M4 - najmanja gustoća, M1 i M3 najveće gustoće
- Gustoća M4 je manja za ~10 %, a M1 i M4 za ~ 3 % u odnosu na referentnu mješavinu M0
- M0 i M3 - razred slijeganjem S5, M8 razred slijeganjem S3
- Udio pora u referentnoj mješavini M0 - 5 %
- Sve mješavine s PDB-om imaju veći udio pora u odnosu na M0, a najveći udio pora ima mješavina M10 (8,5 %)



- Tlačna čvrstoća referentne mješavine M0 iznosi 26 MPa nakon 1 dana te 64 MPa nakon 28 dana
- Od mješavina s PDB-om, najveću tlačnu čvrstoću ima mješavina M1 (21 MPa nakon 1 dana; 49 MPa nakon 28 dana)
- NAPOMENA! → odbačena mješavina M9



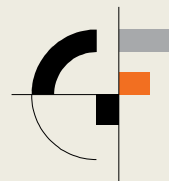
ZAKLJUČAK

- Veliki potencijal primjene PDB-a u betonu
- Kod pojedinih pepela potrebna je prethodna obrada (prosijavanje, mljevenje)
- Sljedeća faza – odabir prikladnih pepela kao zamjene za dio pijeska i/ili cementa i provođenje detaljnih ispitivanja
- Izrada izjave o svojstvima betonskog proizvoda s PDB-om





BETON-LUČKO
RBG d.o.o.



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



HVALA NA PAŽNJI!



*Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj
„Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom biopepela“, referentni broj
KK.01.2.1.01.0049*

