

EKOLOŠKI MORTOVI ZA SANACIJU POVIJESNIH GRAĐEVINA

Studenti: Marija Bezinović, univ. bacc. ing. aedif.
Keti Kristović, univ. bacc. ing. aedif.
Jelena Šantek Bajto, mag. ing. aedif.

Mentor: doc. dr. sc. Ana Baričević



TARECO²

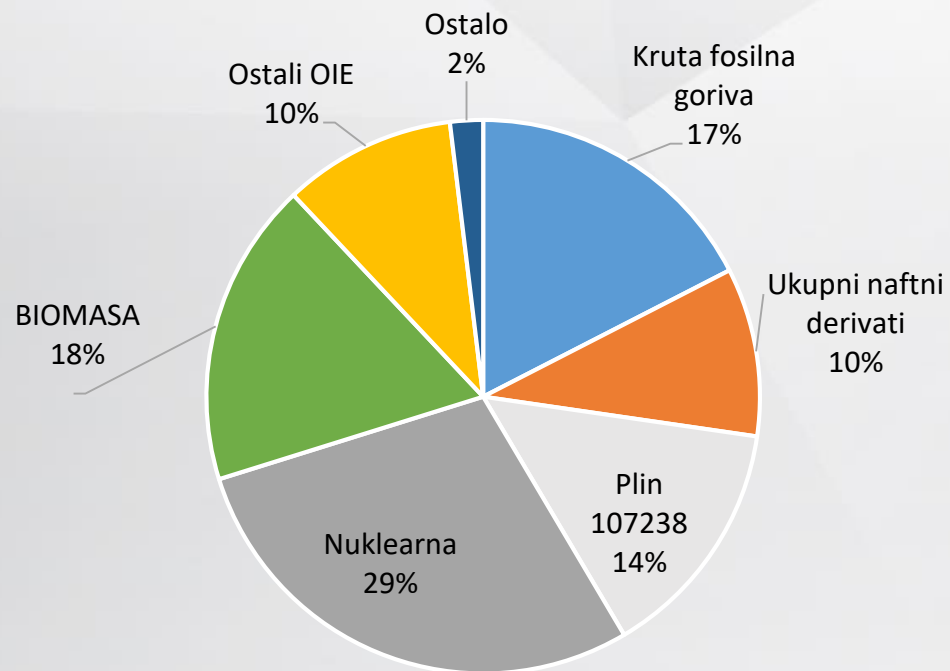


SANACIJA POVIJESNIH GRAĐEVINA

- Izazovi
 - Kompatibilnost povijesnih i suvremenih materijala
 - Odabir pravilnog materijala za sanaciju
 - Sastav povijesnih mortova



PEPEO DRVNE BIOMASE



Doprinos biomase u ukupnoj proizvodnji primarne energije u zemljama članicama EU u 2016

Izvor : Bioenergy Europe, Statistical Report, 2018 Edition



BIOENERGANE NA DRVNU
BIOMASU

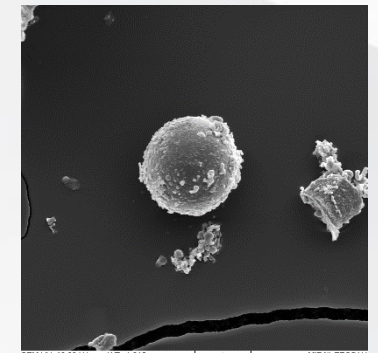
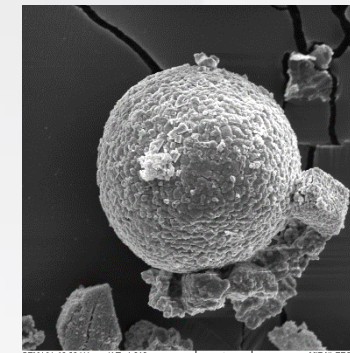
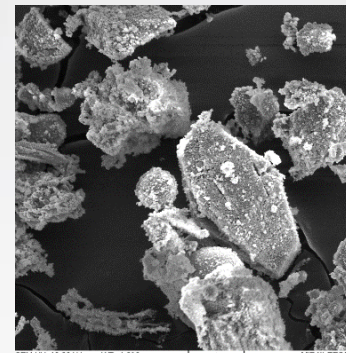
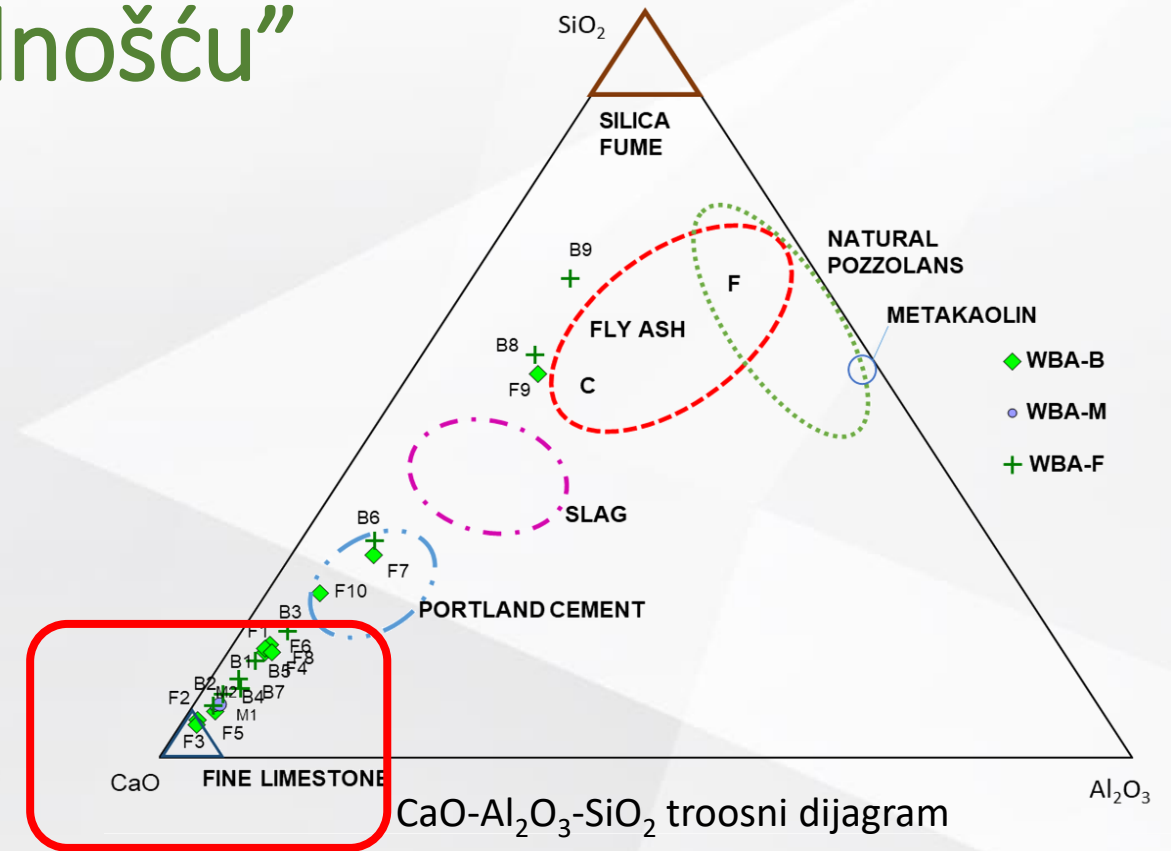
NUSPRODUKT → PEPEO IZ
DRVNE BIOMASE

PRIMJENA U GRAĐEVINSKOJ
INDUSTRIJI

„Transformacija pepela iz drvene biomase u građevne kompozite s dodanom vrijednošću”

TAREC²

- Dosadašnji rezultati primjene PDB-a kao zamjene za cement
 - CaO-Al₂O₃-SiO₂ troosni dijagram
 - hidratna reaktivnost (manje pucolanska)
 - Neželjeni spojevi:
 - CaO i MgO → volumna nepostojanost
 - Alkalije → ASR
 - SO₃ Cl⁻ → korozivni
 - Teški metali → izluživanje



PEPEO DRVNE BIOMASE (PDB)



PDB 1



PDB 2



PDB 3

Vrsta pepela:

- Pepeo s dna peći
- **Leteći fini**
- Leteći krupni

Sirovine:

- Vrsta biomase
- Dodaci
- Nečistoće

Tehnologija izgaranja:

- **Na rešetki**
- **U letu (raspršujućem sloju)**
- U mjhurićastom fluidiziranom sloju

SASTAV VEZIVA

PDB

+

LETEĆI PEPEO
(LP) – TE Plomin

PDB [%]	LP [%]
100	0
75	25
50	50
25	75

METODE KARAKTERIZACIJE

- Sadržaj slobodnog kalcijevog hidroksida
- Sadržaj oksida
- Gubitak žarenjem (LOI)
- Veličina čestica
- Sadržaj slobodne vode
- Volumna postojanost
- Vrijeme vezivanja paste
- Sadržaj zraka u svježem mortu
- Tlačna čvrstoća morta
- Koeficijent kapilarnog upijanja



NHL – Prirodno hidraulično vapno

- Čisto vapno

FL – Formulirano vapno

- Zračno vapno i/ili NHL + hidraulični i/ili pucolanski materijal

HL – Hidraulično vapno

- Vapno + cement / zgura / leteći pepeo / filer...

KEMIJSKI SASTAV HIDRAULIČNOG VAPNA

Hidraulično vapno	
CaO	58 - 60 %
SiO ₂	5 - 20 %
Al ₂ O ₃	2 - 7 %
Fe ₂ O ₃	1 - 3 %
Gubitak žarenjem (LOI)	6 - 22 %

HRN EN 459-1:2015

NAPOMENA	SVOJSTVO		KRITERIJ ZA HIDRAULIČNO VAPNO		
			HL 2	HL 3.5	HL 5
VEZIVO	SO ₃		≤ 3	≤ 3	≤ 3
	Ca(OH) ₂		≥ 10	≥ 8	≥ 4
	Veličina čestica - ostatak po masi (%)	0,09 mm	≤ 15	≤ 15	≤ 15
	Sadržaj slobodne vode (%)		≤ 2	≤ 2	≤ 2
PASTA	Postojanost volumena	Alternativna metoda (mm)	≤ 20	≤ 20	≤ 20
		Vrijeme vezivanja [h]	Početak	> 1	> 1
		Kraj	≤ 15	≤ 15	≤ 15
MORT	Sadržaj zraka (%)		≤ 25	≤ 25	≤ 25
	Tlačna čvrstoća [MPa]	Nakon 7 dana	--	--	≥ 2
		Nakon 28 dana	≥ 2 do ≤ 7	≥ 3,5 do ≤ 10	≥ 5 do ≤ 15

PROSIJAVANJE PDB-a

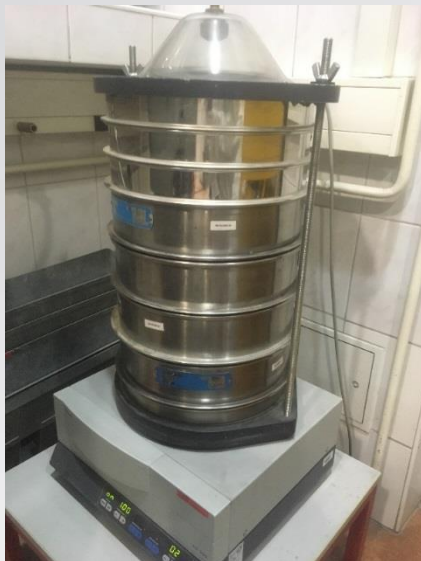
Neprosijani PDB

- Velik udio čestica nepovoljne veličine i sastava

Sito 0,25 mm

Prosijani PDB

- Vezivo pogodno za korištenje u sanacijskim mortovima



PDB 1 NEPROSIJANO



PDB 2 NEPROSIJANO



PDB 3 NEPROSIJANO



PDB 1 PROSIJANO



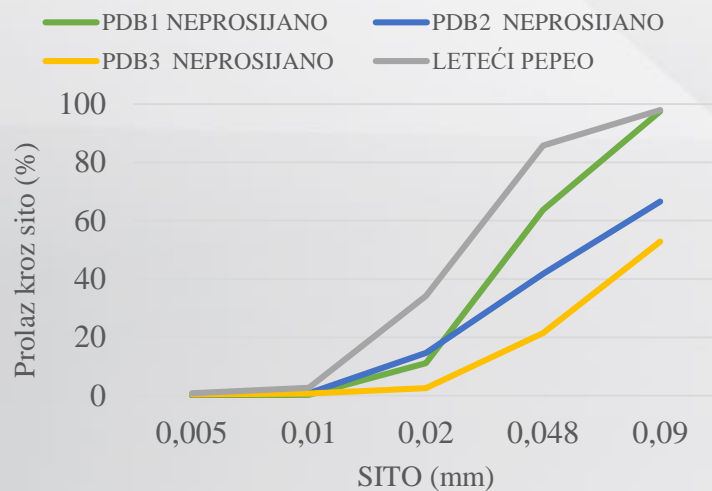
PDB 2 PROSIJANO



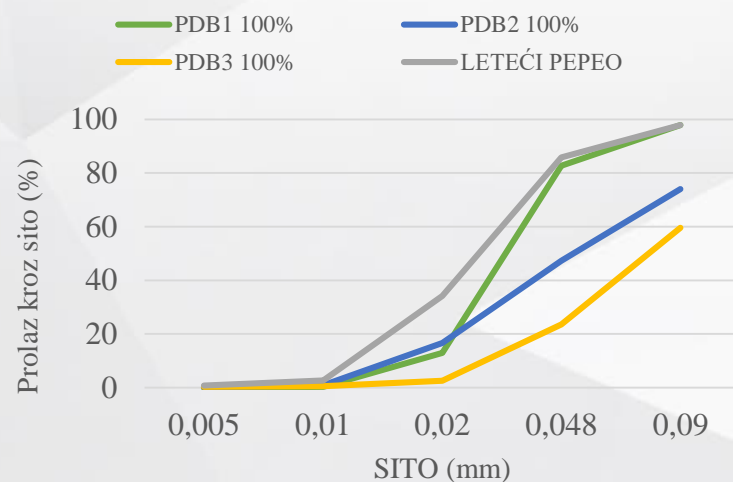
PDB 3 PROSIJANO



VELIČINA ČESTICA



Usporedba granulometrije neprosijanih i prosijanih PDB-a sa LP



Promjena granulometrije PDB 2

UZORAK	PDB 1		PDB 2		PDB 3	
	Neprosijano	Prosijano	Neprosijano	Prosijano	Neprosijano	Prosijano
Ostatak na situ 0,09mm	2,51	2,14	33,42	25,95	47,18	40,41
KRITERIJ ≤15% mas.	✓	✓	✗	✗	✗	✗

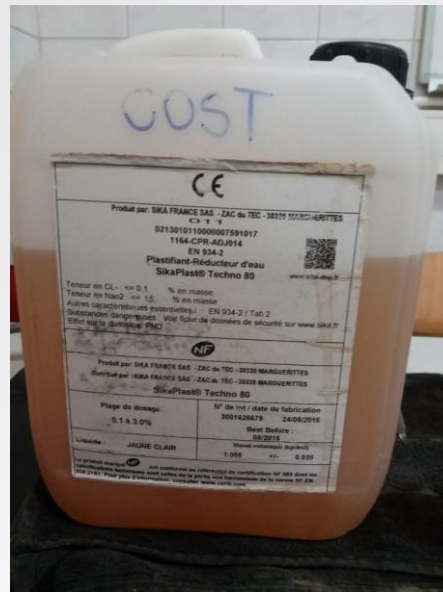
KEMIJSKI SASTAV PDB-a

UZORAK	JEDINICA	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca(OH) ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	MgO	pH	LOI
HIDRAULIČNO VAPNO	mas.%	58-60	5-20	2-7	1-3	≥ 10	≤ 3	-	-	-	6-22
						≥ 8					
						≥ 4					
PDB 1	mas.%	49,33	18,05	2,86	2,01	19,90	4,62	1,95	3,70	13,48	18,6
PDB 2	mas.%	56,53	18,98	3,43	2,26	22,85	1,73	1,91	6,74	13,18	2,9
PDB 3	mas.%	23,80	45,40	10,62	4,32	7,03	1,78	1,61	4,27	12,99	3,4
LETEĆI PEPEO IZ UGLJENA	mas.%	6,67	68,21	29,00	7,09	0,80	0,77	1,29	2,26	12,50	9,0

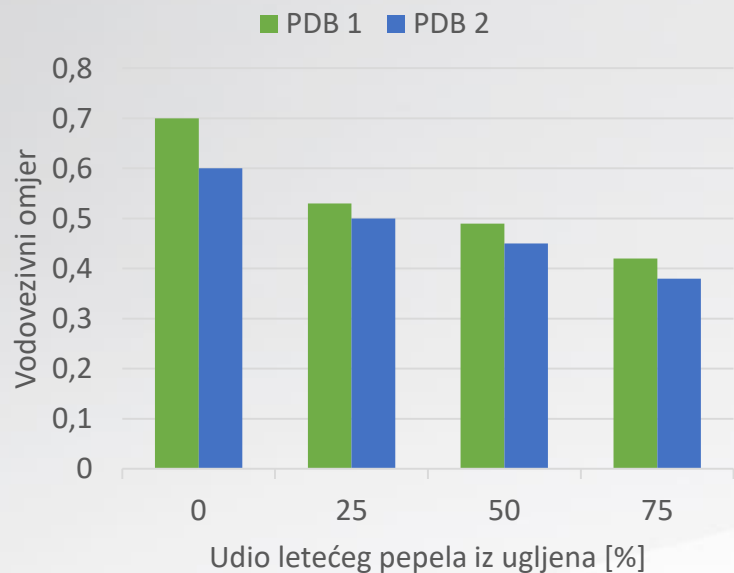
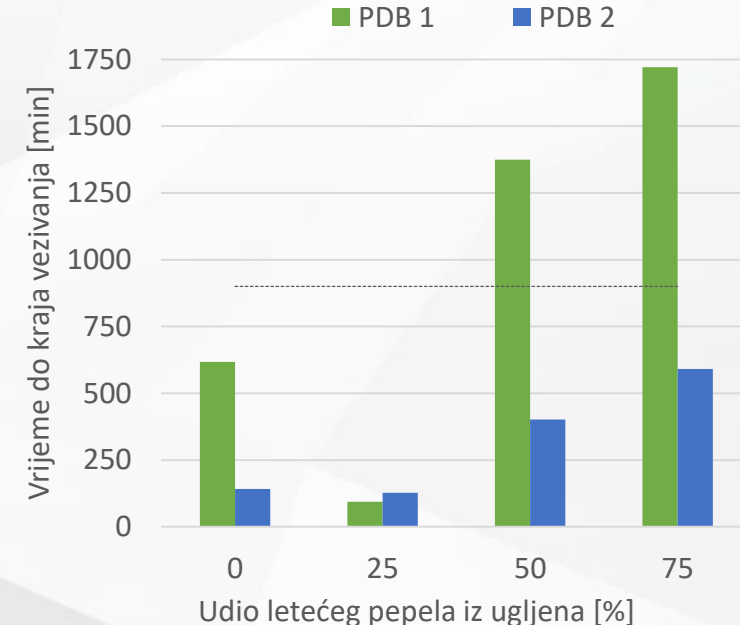
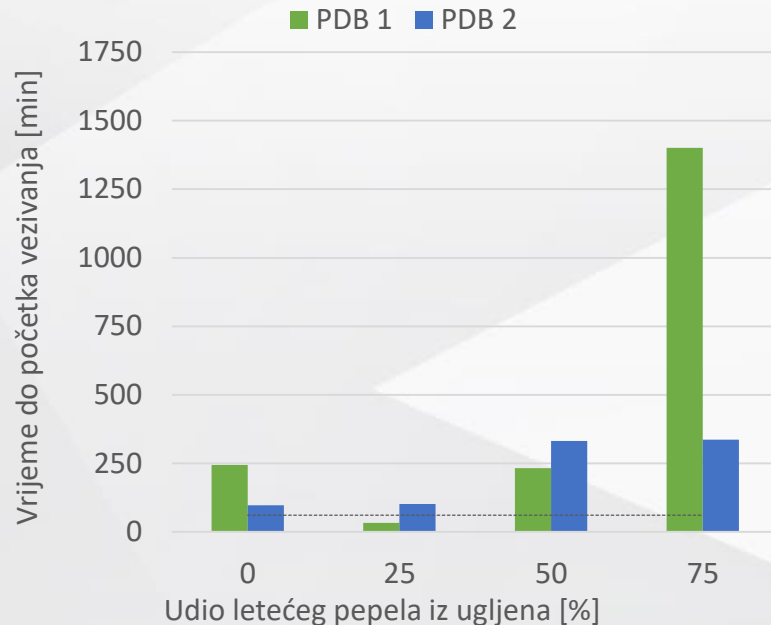
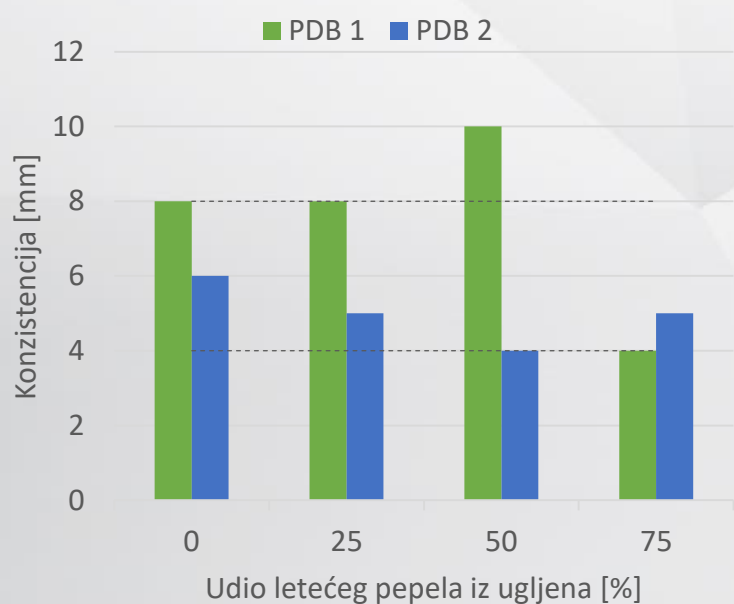
**PDB 3 SE
ODBACUJE**

MATERIJALI

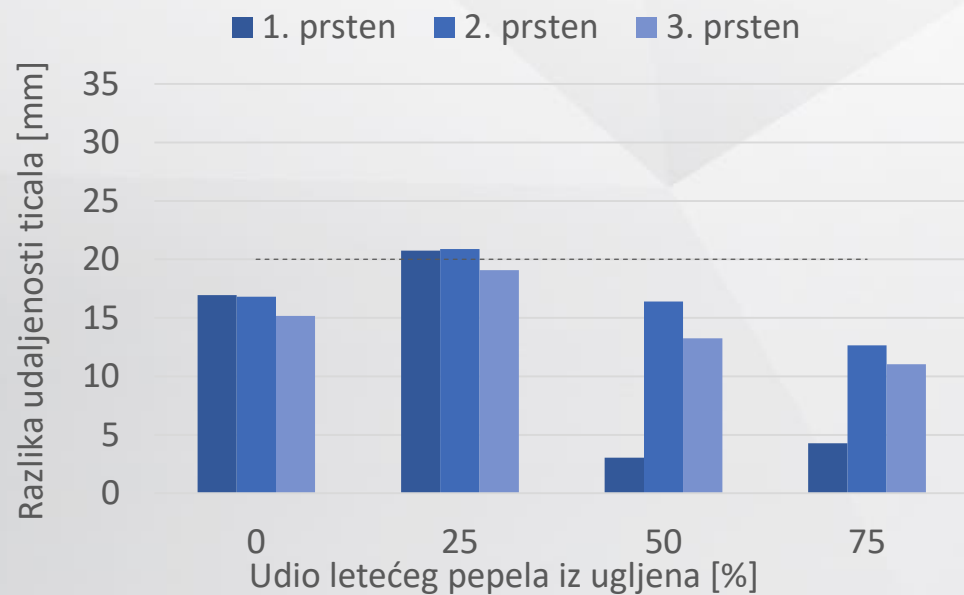
- 8 mješavina pasta
 - Vezivo (PDB, LP)
 - Voda
- 8 mješavina mortova
 - Vezivo (PDB, LP)
 - CEN Standard pijesak
 - Plastoerant SikaPlast (1% mase veziva)
 - Voda



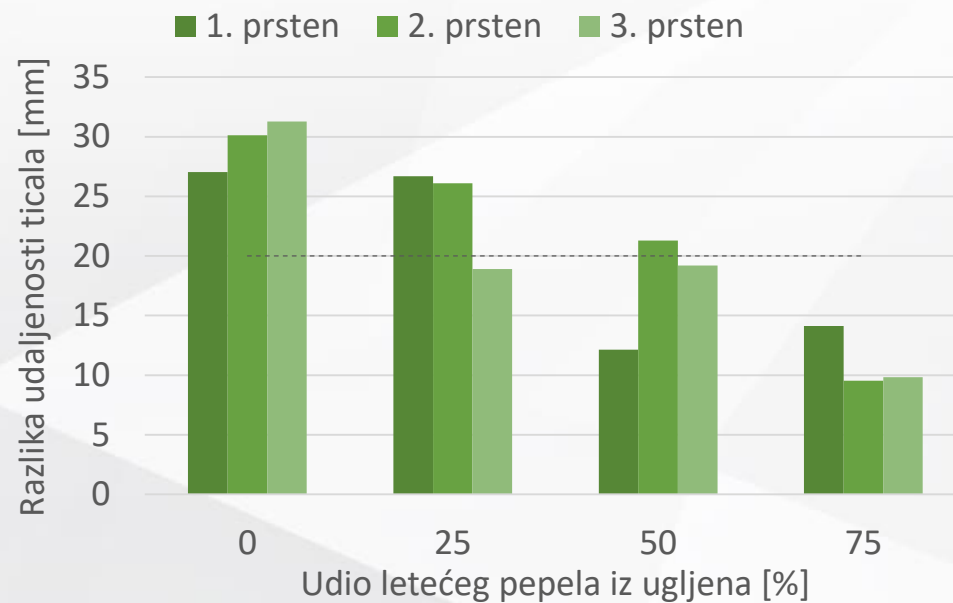
KONZISTENCIJA I VRIJEME VEZIVANJA PASTE



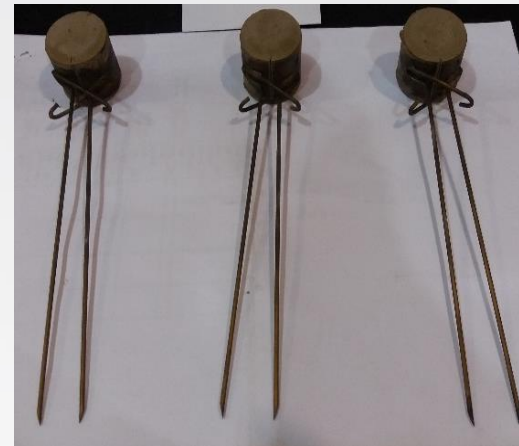
POSTOJANOST VOLUMENA



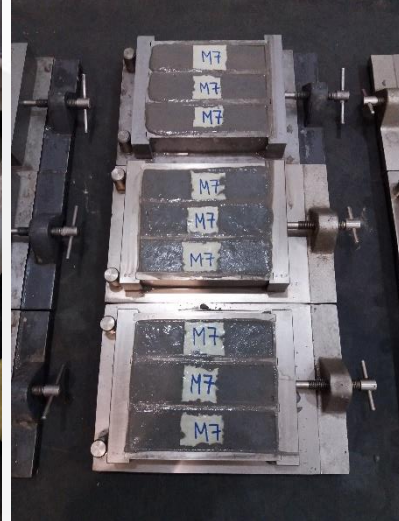
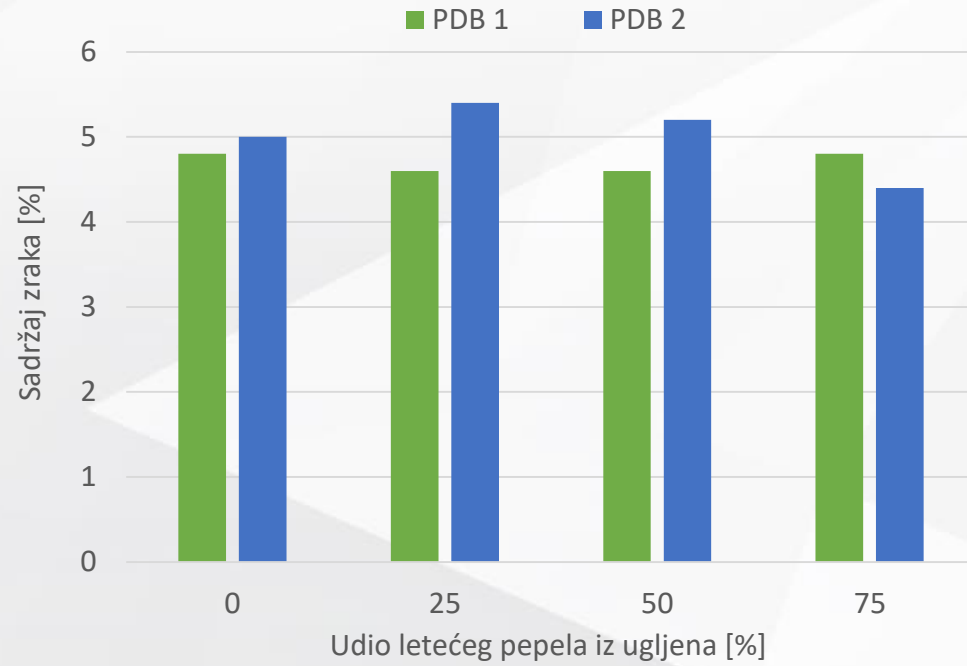
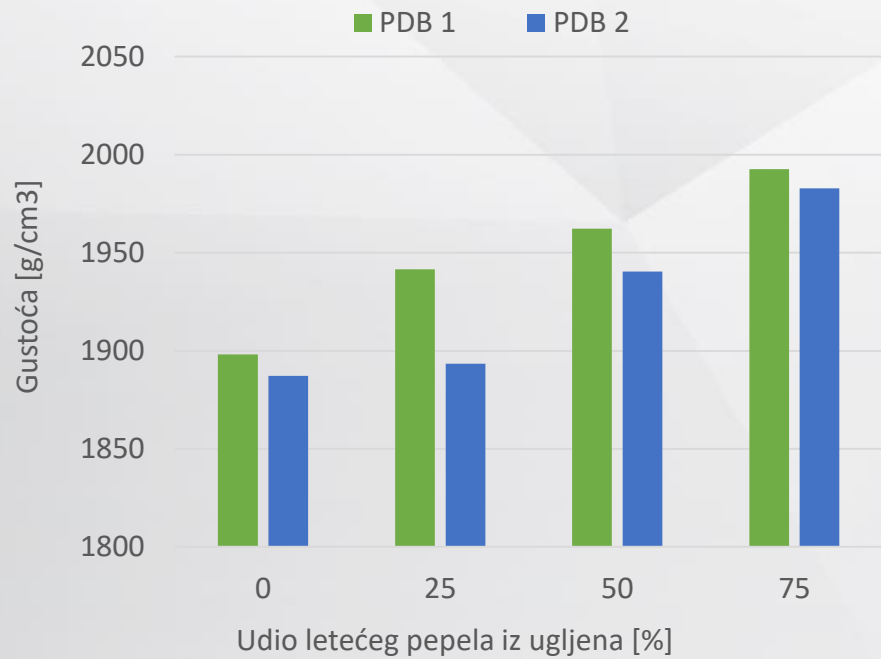
PDB 1



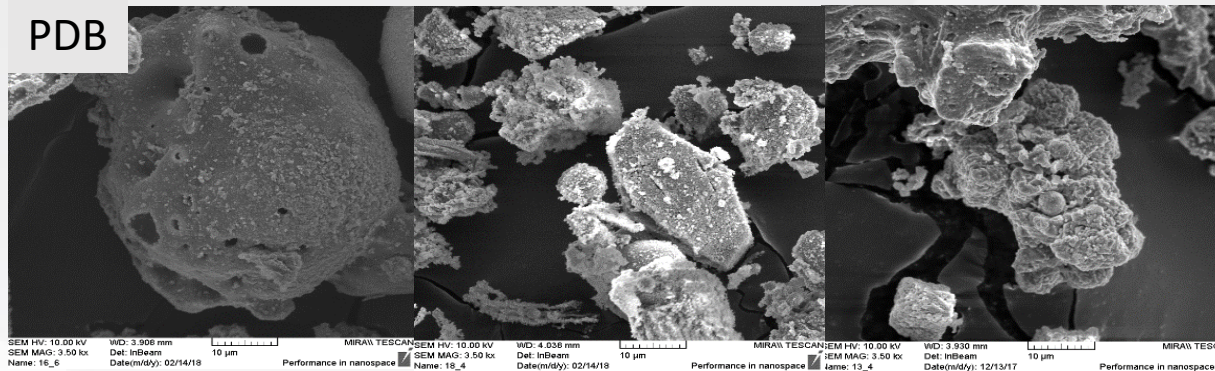
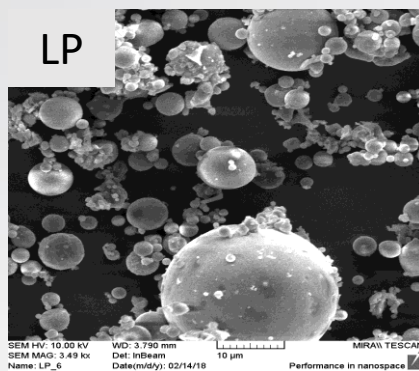
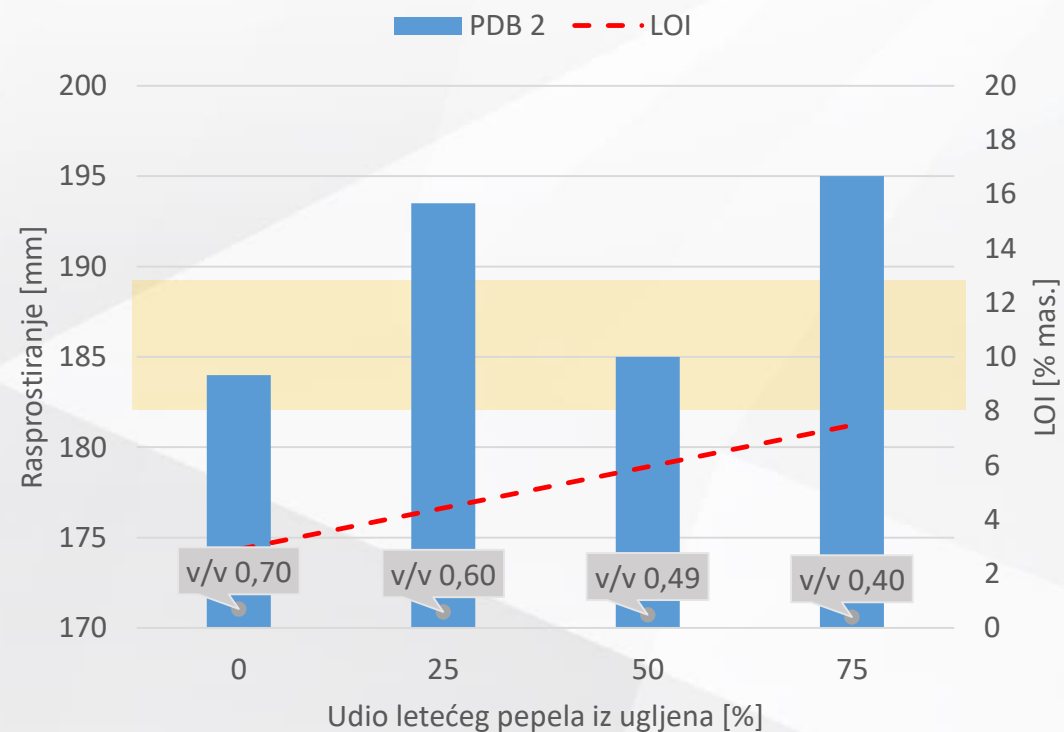
PDB 2



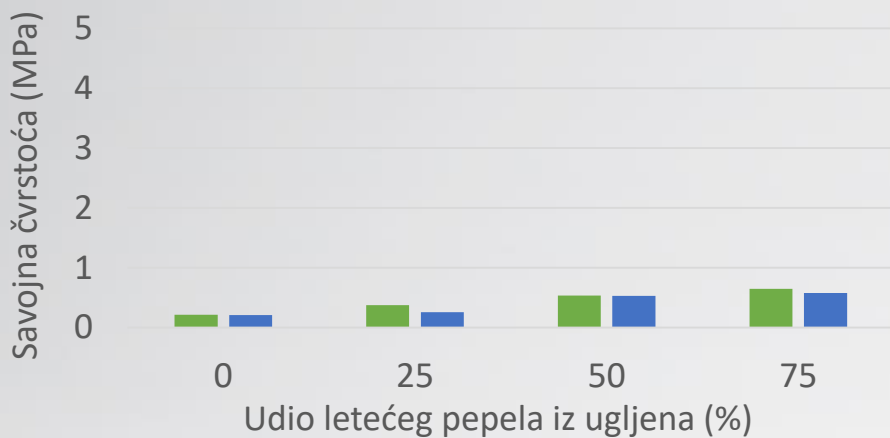
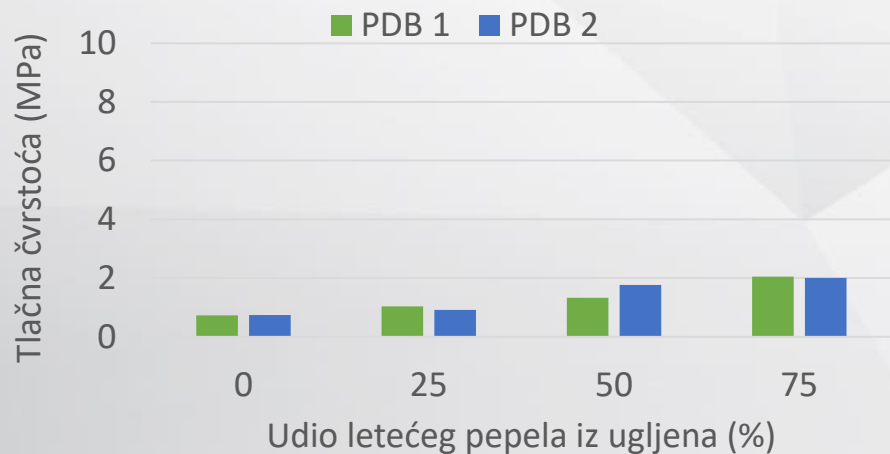
SVOJSTVA SVJEŽEG MORTA



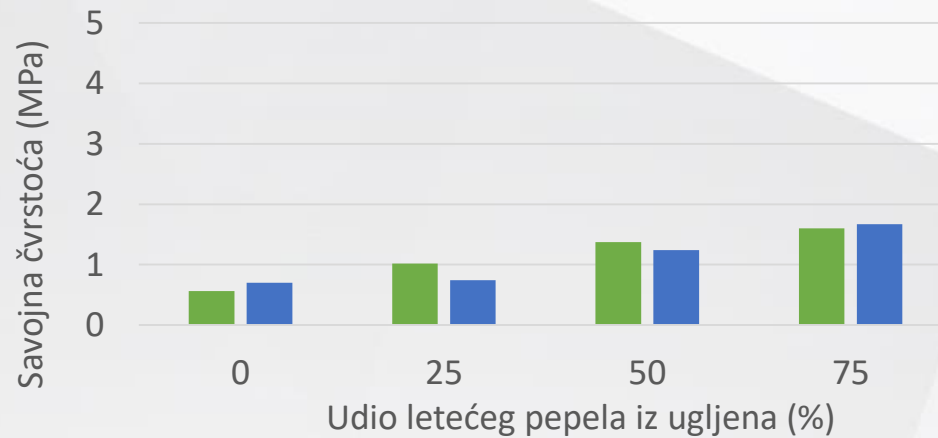
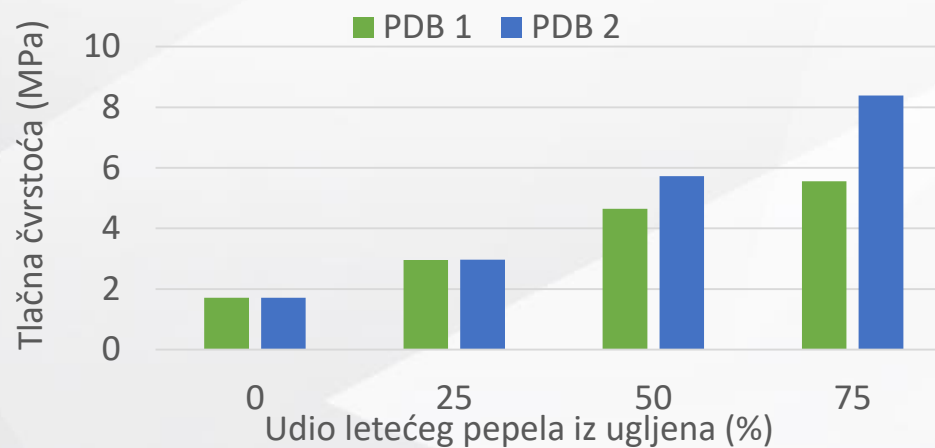
SVOJSTVA SVJEŽEG MORTA



SAVOJNA I TLAČNA ČVRSTOĆA MORTA



7 dana starosti

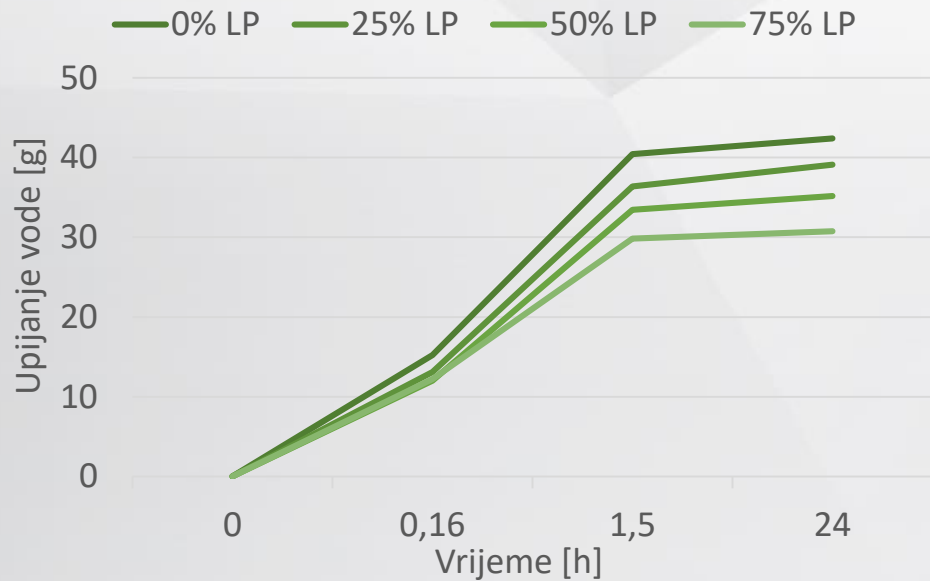


28 dana starosti

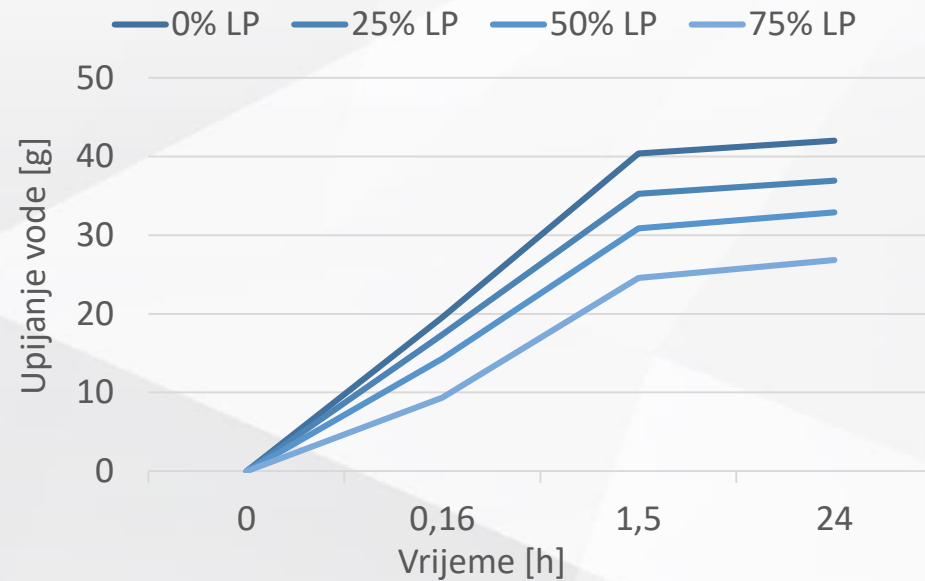


KOEFICIJENT KAPILARNE UPOJNOSTI

PDB 1

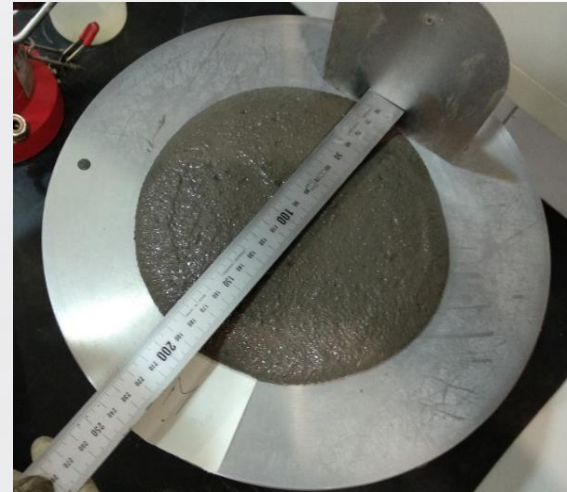
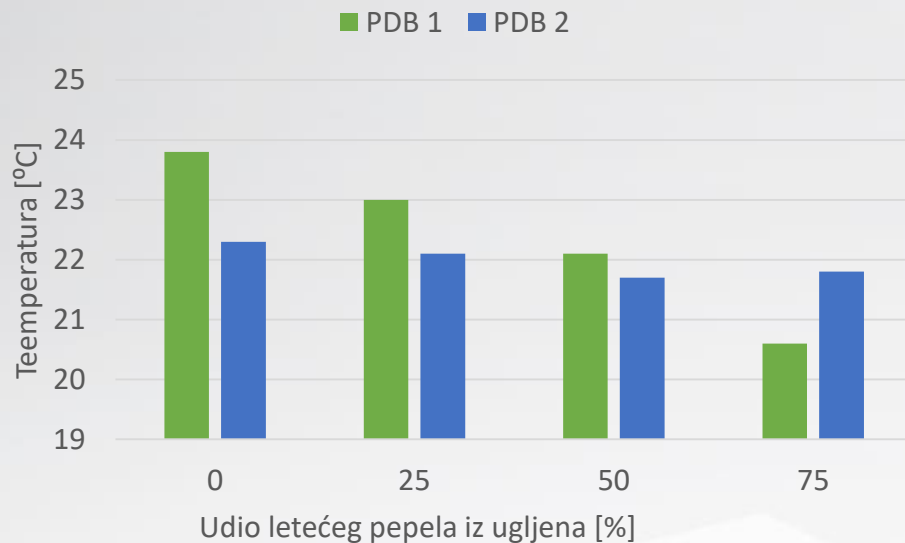


PDB 2



IZAZOV ZA BUDUĆU PRIMJENU

- Povećana potreba za vodom
- Povećano izdvajanje vode
- „Lažno vezivanje” – otežana ugradnja u kalupe

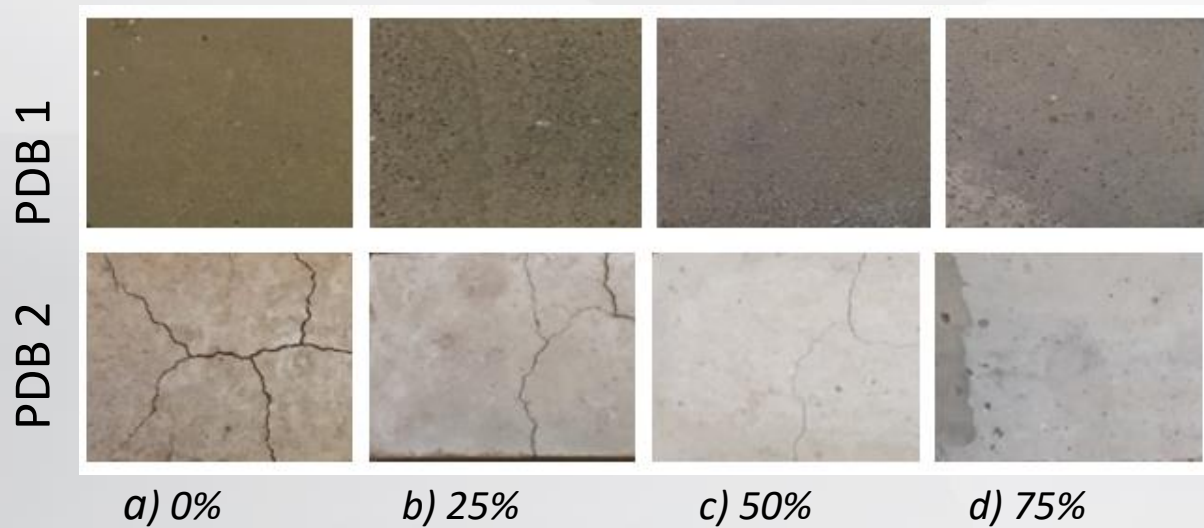


PDB 1



PDB 2

IZAZOV ZA BUDUĆU PRIMJENU

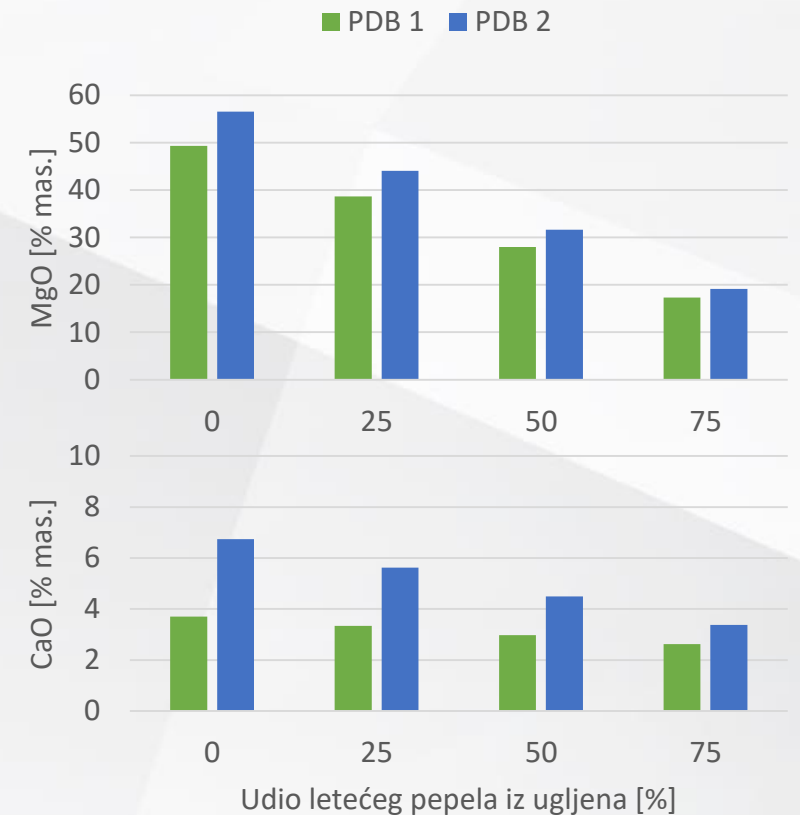


Izgled i tekstura površine očvrslulih uzoraka u ovisnosti o udjelu LP



Pukotine kod uzoraka sa PDB 2

- Utjecaj vrste i količine PDB-a na boju mortova i pojavu pukotina
- Volumna nestabilnost – MgO i CaO



IZAZOV ZA BUDUĆU PRIMJENU

- Utjecaj uvjeta negovanja na pojavu pukotina
- Ispitivanje kapilarne upojnosti – neugodan miris uzoraka



a) 95% vlažnosti



b) 65% vlažnosti

Utjecaj uvjeta negovanja na pojavu pukotina

		PDB 1				PDB 2			
SVOJSTVO		OMJERI VEZIVA				OMJERI VEZIVA			
		100 % PDB + 0 % LP	75 % PDB + 25 % LP	50 % PDB + 50 % LP	25 % PDB + 75 % LP	100 % PDB + 0 % LP	75 % PDB + 25 % LP	50 % PDB + 50 % LP	25 % PDB + 75 % LP
SO ₃		NE	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA
Ca(OH) ₂		HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 5	HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 5
Veličina čestica - ostatak po masi (%)	0,09 mm	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA	DA
Sadržaj slobodne vode (%)		DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
Postojanost volumena	Alternativna metoda (mm)	DA	NE	DA	DA	NE	NE	NE	DA
Vrijeme vezivanja [h]	Početak	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA
	Kraj	DA	DA	NE	NE	DA	DA	DA	DA
Sadržaj zraka (%)		DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
Tlačna čvrstoća [MPa]	Nakon 7 dana	HL 2 , HL 3,5	HL 2 , HL 3,5	HL 2 , HL 3,5	HL 2, HL 3,5 i HL 5	HL 2, HL 3,5	HL 2, HL 3,5	HL 2, HL 3,5	HL 2, HL 3,5 i HL 5
	Nakon 28 dana	NE	HL 2	HL 3,5	HL 5	NE	HL 2	HL 3,5, HL 5	HL 5
ZAKLJUČAK		Ne zadovoljava	Ne zadovoljava	Ne zadovoljava	Ne zadovoljava	Ne zadovoljava	Ne zadovoljava	Ne zadovoljava	Zadovoljava HL 5

HVALA NA POZORNOSTI !

Mail: mbezinovic@grad.hr
kkristovic@grad.hr
jbajto@grad.hr

Istraživanje je financirano od strane Hrvatske zaklade za znanost kroz istraživački projekt: “Transformacija pepela iz drvene biomase u građevne kompozite s dodanom vrijednošću - TAREC²”, voditeljice prof.dr.sc. Nine Štirmer.



TAREC²

