

# Mehaničke karakteristike betona ojačanog otpadnim polipropilenskim maskama za lice

---

**Boban, Goran**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:822739>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-08**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I  
GEODEZIJE

# ZAVRŠNI RAD

Goran Boban

Split, ak. god. 2021/2022

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I  
GEODEZIJE

Mehaničke karakteristike betona ojačanog otpadnim  
polipropilenskim maskama za lice

Završni rad

Split, ak.god.2021/2022

## **Mehaničke karakteristike betona ojačanog otpadnim polipropilenskim maskama za lice**

### **Sažetak:**

S obzirom na trenutnu situaciju s pandemijom Covid-19 koja je uz mnoge zdravstvene probleme donijela i probleme rješavanja medicinskog otpada koji se sve više nakuplja, u ovom radu se koristio taj isti otpad kao dodatak mješavini betona. Jednokratne zaštitne maske za lice zajedno s njihovim gubicama, dodane su betonu u količini 0,50% i 0,25% volumena betona.

Na uzorcima betonskih mješavina ispitana je obradivost u svježem stanju, te tlačna čvrstoća i dinamički modul elastičnosti kod 28-dnevne starosti uzoraka. Dobiveni rezultati uspoređeni su s rezultatima prijašnjih ispitivanja.

**Ključne riječi:** medicinski otpad, beton, obradivost, tlačna čvrstoća betona, dinamički modul elastičnosti

## **Mechanical characteristics of concrete reinforced with waste polypropylene face masks**

### **Abstract:**

Due to current situation with Covid-19 pandemic which has caused many health problems it also contributed to the problems of medical waste recycling, which is gathered more and more, in this paper there was used that same waste as addition to the mixture of concrete. Disposable face masks together with their rubber bands, are added in concrete in volumes of 0,50% and 0,25% of the volume of concrete.

Samples of concrete mixtures were tested on workability in fresh state, compressive strength and dynamic modulus of elasticity on 28 days old samples. The obtained results were compared with the results of previous examinations.

**Keywords:** medical waste, concrete, concrete workability, compressive concrete strength, dynamic modulus of elasticity

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**STUDIJ: STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: GORAN BOBAN**

**BROJ INDEKSA: 1779**

**KATEDRA: KATEDRA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA**

**PREDMET: GRAĐEVINSKI MATERIJALI**

### **ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Mehaničke karakteristike betona ojačanog otpadnim polipropilenskim maskama za lice

Opis zadatka: Zadatak kandidata je ispitati mogućnost primjene recikliranog medicinskog otpada kao dio betonske mješavine. Eksperimentalni dio rada obuhvaća izradu uzoraka betona sa dodatkom polipropilenskih maska za lice. Osnovna mješavina je beton maksimalnog zrna agregata  $D=16\text{mm}$ . Napravljene su dvije serije uzoraka: u jednoj je dodatak silikatna prašina a u drugoj metakaolin. Napravljeno je ukupno 6 mješavina: dvije mješavine bez vlakana, dvije sa polipropilenskim vlaknima i dvije mješavine sa isjeckanim polipropilenskim maskama za lice s njihovim gumicama u količinama 0.50% i 0.25% volumena betona. Na uzorcima se u svježem stanju mjere obradivost, temperatura, količina zraka i slijeganje, dok kod čvrstog uzorka mjerimo čvrstoće te dinamički modul elastičnosti. Rezultate trebamo prikazati te usporediti sa rezultatima istovrsnih uzoraka koji su ranije ispitani na Katedri za građevinske materijale. Na temelju dobivenih rezultata potrebno je ocijeniti koja je količina otpada primjenjiva i kako utječe na svojstva betona.

U Splitu 14.03.2022.

Voditelj završnog rada:

Prof.dr.sc. Sandra Juradin

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

Doc.dr.sc. Ivo Andrić

## **Sadržaj:**

<b>1. Uvod</b> .....	2
1.1 Beton-općenito.....	2
1.2 Beton-osnovne komponente.....	3
1.2.1 Cement.....	3
1.2.2 Agregat.....	6
1.2.3 Voda.....	9
1.2.4 Aditivi.....	10
<b>2. Medicinski otpad</b> .....	11
<b>3. Prethodna istraživanja medicinskog otpada u betonu</b> .....	12
3.1 Recikliranje otpada jednokratnih maski kao konstruktivnog materijala, korak k održivosti (M.Idrees, A.Akbar, A.M.Mohamed, D.Fathi, F.Saeed).....	12
3.2 Preliminarni rezultati betona s dodacima jednokratnih maski za lice (S.Parija, D.K.Mishra, C. K Y Leung) .....	16
<b>4. Laboratorijski dio</b> .....	19
4.1 Uvod.....	19
4.2 Korišteni materijali.....	20
4.2.1 Cement.....	20
4.2.2 Agregat.....	22
4.2.3 Voda.....	22
4.2.4 Aditivi.....	23
4.2.5 Silikatna prašina.....	23
4.2.6 Metakaolin.....	25
4.2.7 Jednokratne maske za lice .....	26
4.2.8 Polipropilenska vlakna za beton.....	27
4.3 Izrada mješavina.....	28
4.4 Metode ispitivanja.....	31
4.4.1 Mjerenje temperature betona.....	31

4.4.2 Ispitivanje sadržaja zraka u svježem betonu .....	31
4.4.3 Ispitivanje gustoće betona .....	32
4.4.4 Ispitivanje betona konzistencije betona .....	33
4.4.5 Ispitivanje tlačne čvrstoće betona.....	34
4.4.6 Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem.....	35
4.4.7 Ispitivanje dinamičkog modula elastičnosti betona.....	35
<b>5. Rezultati i analize ispitivanja betona.....</b>	<b>37</b>
5.1.1 Rezultati ispitivanja temperature betona.....	37
5.1.2 Rezultati ispitivanja sadržaja zraka u svježem betonu.....	37
5.1.3 Rezultati ispitivanja gustoće betona.....	38
5.1.4 Rezultati ispitivanja konzistencije betona.....	41
5.1.5 Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona.....	42
5.1.6 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem.....	45
5.1.7 Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti.....	48
<b>6. Zaključak.....</b>	<b>52</b>
<b>7. Literatura.....</b>	<b>55</b>

# 1. Uvod

## 1.1. Beton-općenito

Beton je građevinski materijal koji se izrađuje miješanjem veziva (cement), vode i agregata (pijesak, šljunak...). Osim osnovnih komponenti betonu se mogu dodavati mineralni dodaci (silikatna prašina, leteći pepeo...) te kemijski dodaci koji mu daju posebna svojstva (regulatori vezivanja, aeranti, ubrzivači, superplastifikatori...).

Struktura očvrstnalog betona se može shvatiti kao kostur od stvrdnutog cementnog kamena u kojem je kamena ispuna sastavljena od sitnog i krupnog kamena (agregat). Beton kao i svaki kamen ima znatno veću tlačnu čvrstoću nego vlačnu.

Beton je porozan materijal. Za normalnu ugradnju betona potrebno je znatno više vode nego za proces hidratacije cementa. Dio vode se kemijski veže, dio ostaje trajno zarobljen u betonu a dio ishlapi ostavljajući pore i kanale u cementnom kamenu. Količina pora tj ispunjenost betona bitno određuje fizikalno-mehaničke karakteristike kao što su: tlačna i vlačna čvrstoća, deformabilnost, modul elastičnosti itd.

Beton promatran na malim volumenima daje zaključak da je prilično nehomogene strukture. Međutim, na makro nivou obično se smatra da je beton homogen i izotropan materijal. Nije moguće izraditi dva potpuno jednaka betona, stoga se uz sve mjere opreza uvijek pri ispitivanju dobivaju različiti rezultati za uzorke uzete iz iste mješavine. Gustoća ne-armiranog betona varira između 1900-2700 kg/m<sup>3</sup>, ovisno o sastavu (prvenstveno agregatu), dok se za uobičajene betone obično uzima  $\rho=2400\text{kg/m}^3$ . [1]

Iako se beton smatra modernim materijalom njegova uporaba je bila poznata već u antici. Rimski arhitekt Vitruvije spominje ga u djelu „O graditeljstvu“ (oko 25.pr.Kr.). Isprva su Rimljani kao vezivo upotrebljavali samo gašeno vapno dok poučeni iskustvom nisu počeli dodavati mljevenu opeku koju su isto pak zamijenili vulkanskim pepelom (pucolan) iz okolice Puzzuolija i tako dobili kvalitetno i trajno hidraulično vezivo koje može očvrstnuti i u vodi. Padom Rima sve te informacije su ostale zaboravljene. Tako da se kroz cijeli srednji vijek



koristilo opet gašeno vapno. Hidraulična veziva ponovo su se počela rabiti tek potkraj 18.st., npr. pucolan pomiješan s plovućcem, također 1824. J.Aspdin je pronašao hidraulično vezivo kojemu je dao ime *portland-cement*, a cement u današnjem smislu je pronašao I.C.Johnson 1844.godine. [2]

## 1.2. Beton-komponente

### 1.2.1 Cement

Cement je vezivno sredstvo koje se dobiva kemijskim procesom, no ipak tom procesu prethode drugi, te proces proizvodnje cementa izgleda ovako:

1. Eksploatacija u kamenolomu gdje se dobiva vapnenac, lapor i glinu, te ostale materijale s potrebnim omjerima kalcija, silicija, aluminija i željeznih oksida. Drobljenje i transport tih istih materijala iz kamenoloma u tvornicu cementa.
2. Drobljeni vapnenac i glina pred homogeniziraju se nasipavanjem i oduzimanjem u dugačkim slojevitim hrapama te takvi su spremni za proces mljevenja i sušenja. Sirovinski materijali se melju i suše u vertikalnom ili kugličnom mlinu.
3. Iz mlina sirovine prelaze u izmjenjivač topline koji omogućuje pred-grijavanje sirovinskih materijala prije ulaza u peć. Ovim postupkom se povećava energetska učinkovitost peći tako da je materijal već 20-40% kalciniran kod ulaska u peć.
4. U pred-grijaču sirovinski materijal se ubrzano zagrijava na temperaturu od otprilike 1000 °C, dok u rotacionoj peći temperature dostižu do 2000 °C te se na tim temperaturama minerali formiraju uglavnom u kristale kalcij silikata-cementni klinker.
5. Rastaljeni cementni klinker se hladi što je brže moguće, gdje se koristi atmosferski zrak za taj proces.
6. Klinker se skladišti i melje u tvornici ili transportira drugim korisnicima. Završno mljevenje je mljevenje cementnog klinkera zajedno s otprilike 5% prirodnog ili umjetnog gipsa, ostale primjese cementu kao što su troska, leteći pepeo, pucolan i dr. mogu također biti dodani u finalni cementni prah. [3]

Kada se priča o portland cementima, taj naziv mogu imati još i portland cementi s dodacima, najviše do 30% pucolana ili granulirane zgure visokih peći.

Također u uporabi uz portland cimente imamo i supersulfatni te aluminatni cement. Supersulfatni cement pravi se zajedničkom meljavom mješavine oko 80-85% granulirane zgure s 10-15% kalcij sulfata i oko 5% portland cementnog klinkera. No supersulfatni cement kao i metalurški sporije hidratiziraju na nižim temperaturama tako da je njihova uporaba u hladnijim klimatskim uvjetima ograničenija od portland cementa. [4]

Aluminatni cement bio je razvijen početkom stoljeća kao cement velike otpornosti na sulfate. Klinker za aluminatni cement proizvodi se iz mješavine vapnenca i boksita. Za taljenje ovih sirovina u rotacijskoj peći potrebna je temperatura do 1600 °C. Veća upotreba količina topline i cijena boksita, čine aluminatni cement znatno skupljim od portland cementa.

Ne jedna od glavnih predispozicija aluminatnog cementa je njegovo glavno svojstvo vrlo brzog razvoja čvrstoće. Naime on razvije do 80% maksimalne čvrstoće u prvih 24 sata. Dok mu je početak vezivanja kasniji od portland cementa a kraj vezivanja uslijedi brže. Stoga aluminatni cement svrstavamo u brzočvrsnute a ne brzovezujuće. [4]

Glavne vrste	Nazivi 27 proizvoda (vrste cementa opće namjene)		Sastav (maseni udjeli u %)										
			Glavni sastojci <sup>a</sup>										
			Klinker	Granulirana zgrana visoke peći	SiO <sub>2</sub> prašina	Pucolan		Leteći pepeo		Pečeni škrljevac	Vapnenac		Sporedni dodatni sastojci
						Prirodni	Prirodno kalcirani	Silicijski	Karbonatni		L	LL	
K	S	D <sup>b</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL				
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100										0-5
CEM II	Portland cement s dodatkom zgure	CEM II/A-S	80-94	6-20									0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35									0-5
	Portland cement s dodatkom SiO <sub>2</sub> prašine	CEM II/A-D	90-94		6-10								0-5
	Portland cement s dodatkom pucolana	CEM II/A-P	80-94			6-20							0-5
		CEM II/B-D	65-79			21-35							0-5
		CEM II/A-Q	80-94				6-20						0-5
		CEM II/B-Q	65-79				21-35						0-5
	Portland cement s dodatkom letećeg pepela	CEM II/A-V	80-94				6-20						0-5
		CEM II/B-V	65-79				21-35						0-5
		CEM II/A-W	80-94					6-20					0-5
		CEM II/B-W	65-79					21-35					0-5
	Portland cement s dodatkom pečenog škrljevca	CEM II/A-T	80-94						6-20				0-5
		CEM II/B-T	65-79						21-35				0-5
	Portland cement s dodatkom vapnenca	CEM II/A-L	80-94							6-20			0-5
		CEM II/B-L	65-79							21-35			0-5
		CEM II/A-LL	80-94								6-20		0-5
CEM II/B-LL		65-79								21-35		0-5	
Portland miješani cement <sup>c</sup>	CEM II/A-T	80-94	<-----					6-20				0-5	
	CEM II/B-T	65-79	<-----					21-35				0-5	
CEM III	Metalurški cement	CEM III/A	35-64	36-65								0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80								0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95								0-5	
CEM IV	Pucolanski cement <sup>c</sup>	CEM IV/A	65-89		<-----			11-35				0-5	
		CEM IV/B	45-64		<-----			31-50				0-5	
CEM V	Miješani cement <sup>c</sup>	CEM V/A	40-64	18-30				18-30				0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50				31-50				0-5	

<sup>a</sup> Vrijednosti u tablici odnose se na zbroj glavnih i sporednih dodatnih sastojaka.  
<sup>b</sup> Udio SiO<sub>2</sub> prašine ograničen je na 10%.

<sup>c</sup> U portland-miješanim cementima CEM II/A-M i CEM II/B-M, u pucolanskim cementima CEM IV/A i CEM IV/B i u miješanim cementima CEM V/A i CEM V/B, glavni sastojci, pored klinkera, moraju biti označeni oznakom cementa

Slika 1.2.1 Vrste cementa opće namjene [10]

### 1.2.2 Agregat

Agregat čini približno  $\frac{3}{4}$  volumena betona, stoga je i razumljivo da ima veliki utjecaj na svojstva svježeg i očvrnulog betona. Agregati za beton mogu se podijeliti na prirodne i vještačke.

Prirodni agregati mogu se proizvesti: 1) iz vučenog nanosa, koji se formira procesima erozije raznih vrsta stijena i 2) drobljenjem velikih komada prirodnih stijena. Većina svojstava agregata ovisi o svojstvima izvorne stijene i o postupku usitnjavanja. No, vještim projektiranjem betona se izbjegnu mane određenog agregata, odnosno pri korištenju ispravnih dodataka betonu kao i pravilan izbor cementa i drugim dopunskim postupcima proizvodnje betona, mogu se postići zadovoljavajuća svojstva. Npr. agregat koji nije otporan na mraz, ne znači uvijek da i beton neće biti otporan.

Vještački agregati se obično proizvode s posebnom namjenom, kao što je npr. lakoagregatni beton. To su agregati od ekspandirane i pečene gline ili škriljca, perlita i vermikulita. Prirodni laki agregat nastaje naglim skrućivanjem lave. No neki laki agregati znaju biti i otpadni proizvod ili sekundarne sirovine u industriji, to je npr. grubi pepeo termoelektrana, ekspandirana zgura, pluto i drobljena opeka. [4]

Krupna zrna agregata čine skelet betona preko kojega se radi znatno veće krutosti od krutosti cementnog kamena, prvenstveno prenose sile. Sitna zrna zajedno s cementnom pastom čine mort. Iako je uloga krupnih zrna i pijeska u svježem i očvrnulom betonu drugačija, oni se zbog svog zajedničkog ili sličnog podrijetla promatraju zajednički.

Raspodjela veličine zrna u ukupnom sastavu betona naziva se granulometrijski sastav agregata. **Granulometrijski sastav** uzorka agregata, bilo prirodnog sastava ili proizvedenih frakcija, analizira se prosijavanjem na standardnim sitima, sljedećih kvadratnih otvora (mm) : 0,063; 0,090; 0,125; 0,250; 0,50; 0,71; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 11,2; 16,0; 22,4; 31,5; 45,0; 63,0; 125,0.

Nakon prosijavanja važu se ostatci na sitima, a iskazuju kumulativno ostatak na sitima kao i prolazi na istima. Analizom granulometrijskog sastava neke frakcije može doći do krupnijih ili sitnijih zrna, no to je neminovno zbog načina proizvodnje. Najvažnije je za kvalitetnu proizvodnju betona da se određena proizvodnja agregata održava unutar nekih ujednačenih granica. A ta granica iznosi 10%. koja je također u ovisnosti o veličini zrna. [4]

Mehanička svojstva betona najčešće ne ovise od istih mehaničkih svojstava agregata. **Mehanička svojstva agregata** uvjetuju se tek za neke specijalne namjene, kao što su npr. erozijski otporni betoni, betoni vrlo velikih čvrstoća itd. *Tvrdoća i žilavost* – otpornost je protiv prodiranja i paranja, klasificiraju se agregati prema poznatoj Mohsovoj skali, dok je žilavost definirana kao otpornost agregata na udarce. Obično se određuje kao i drobljivost agregata, ali se na uzorak djeluje nizom udaraca s batom standardne mase i sa standardne visine. No i tvrdoća i žilavost su svojstva važna za betone koji su izloženi mehaničkim trošenjima, kao što su abrazija vodom ili vjetrom, habanje trenjem itd. Standardni test kojim se može ocijeniti oba svojstva je takozvani Los Angeles test.

Prionjivost – što je hrapavija površina to je bolja prionjivost, što znači oblik i tekstura površine zrna utječu na prionjivost, a time i čvrstoću betona, prvenstveno na vlačnu i savojnu. Ne postoji test za ispitivanje kvalitete prionjivosti, nego se nju prosuđuje prema izgledu plohe preloma nakon testiranja tlačne čvrstoće. Ako je prelomljivost dobra na prelomnoj plohi betonskog uzorka naći ćemo poneko presječeno zrno, ukoliko je taj broj veći znači da je agregat premale čvrstoće ili da sadrži previše igličastih i pločastih zrna.

*Čvrstoća* – za agregat iz vučnog nanosa ili već prirodno izdrobljeni agregat, čvrstoća se procjenjuje na osnovnu ispitivanja betonskih uzoraka spravljenih s tim agregatom u usporedbi s uzorcima od agregata poznate čvrstoće. Dok kod umjetnih agregata to testiranje se obavlja tako da se ispili kocka ili valjak te testira.

Propisima je minimalna čvrstoća agregata za beton obično ograničena na 80 MPa. Za svako nalazište trebaju biti provedeni testovi i dokazati se kvaliteta agregata za upotrebu pri izradi betona. Zrna moraju biti od kamena dobre kvalitete a udio štetnih tvari ne veći od 4%. Čvrstoća na pritisak kamena za proizvodnju agregata je 80 MPa na suhom i za beton izložen habanju i eroziji 160 MPa. [4]

Kako zrna nisu identična te svako od njih sadrži manje ili više otvorenih i zatvorenih pora, gustoća zrna agregata se pojavljuje u više oblika:

- 1) *Gustoća zrna agregata*- masa osušenog zrna agregata u volumenu zrna bez pore.
- 2) *Prividna gustoća zrna agregata*- masa zrna agregata u volumenu zrna agregata sa zatvorenim porama.
- 3) *Volumna masa zasićenog površinski suhog (ZPS) zrna agregata*- masa ZPS zrna agregata u ukupnom volumenu zrna agregata zajedno s porama.
- 4) *Volumna masa zrna agregata*- masa osušenog zrna agregata u ukupnom volumenu zrna agregata zajedno s porama.

*Poroznost agregata, propusnost za vodu i apsorpcija vode* su svojstva koja utječu na prionjivost cementnog kamena i agregata u betonu, otpornost betona na djelovanje mraza, kemijsku i erozijsku otpornost betona, kao i na gustoću odnosno zapreminsku masu agregata i važno je da ih se obuhvati proračunom pri projektiranju sastava betona.

Popustljivost za vodu ovisi o volumenu pora kao i njihovoj međusobnoj povezanosti.

Razlikujemo 4 stanja agregata:

- 1) *vlažan agregat* – pore su ispunjene vodom, a na površini ima adsorbirane i slobodne vode
- 2) *zasićen, površinski suhi agregat* – na površini nema slobodne vlage, ali su sve otvorene pore ispunjene vodom
- 3) *prirodno suh agregat* – sadrži manju količinu vlage, zavisno o vlažnosti okoline, ali je suhe površine, uz vlažni agregat najčešći slučaj u proizvodnji
- 4) *potpuno suh agregat* – sušen na temperaturi 100°C -110°C do konstantne težine [4]

### 1.2.3 Voda

Smatra se da je voda za piće dobra i za spravljanje betona, no ne smije sadržavati veće koncentracije kalija ili natrija. Najčešće je dovoljno da Ph iznosi između 4,5 i 9,5. Manja kiselost ne utječe na svojstva betona, ali veći sadržaj humusnih kiselina može usporiti proces vezivanja i smanjiti čvrstoću betona. Takve vode treba prije uporabe detaljno ispitati. Za izradu betona se može koristiti i morska voda no ne smije se koristiti u armiranom betonu zbog povećanog rizika korozije armature. Jedna od vrlina je brže vezivanje no mana je što beton tokom nekog perioda izbacuje sve soli na površinu pa takav beton ne možemo koristiti gdje je važan njegov vanjski izgled tj. estetika.

	Nearmirani beton	Armirani beton	Prednapeti beton
pH	4,5–9,5	4,5–9,5	4,5–9,5
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	0	≤ 300	≤ 100
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	≤ 2700	≤ 2700	≤ 1000
S <sup>=</sup> (mg/l)	0	0	≤ 100
NO <sub>3</sub> (mg/l)	≤ 500	≤ 500	≤ 500
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	≤ 100	≤ 100	≤ 100
NaHCO <sub>3</sub> (mg/l)	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000
Potrošnja kalij permanganata (mg/l)	≤ 200	≤ 200	≤ 200
Sadržaj topljivih soli (mg/l)	≤ 5000	≤ 5000	≤ 5000
Sadržaj netopljivih soli (mg/l)	≤ 2000	≤ 2000	≤ 2000
Razlika u vremenu vezanja cementne paste u odnosu na pastu s destiliranom vodom, minuta	≤30	≤ 30	≤ 30

Slika 1.2.3 Kriteriji graničnih količina tvari u vodi za spravljanje betona [4]

Svi kriteriji koji vrijede za vodu za spravljanje betona vrijede i za vodu za njegovanje istog. [4][5]

### 1.2.4 Aditivi

Tvari, najčešće organskog podrijetla, koje nam služe dodavanjem u svježu mješavinu, tijekom miješanja ili transporta, modificiranje svojstava svježeg ili očvrslog betona. Njihova upotreba je tu što se nekad ni na koji drugi način ne mogu postići tražena svojstva očvrslog betona (npr. otpornost na mraz, vrlo rane čvrstoće itd. ).

Postoje tri glavne skupine tvari za aditive: površinski aktivne tvari, topljive kemikalije i praktično netopljivi minerali.

Prema normativima se pak dijele prema namjeni na:

- aerante
- plastifikatore
- superplastifikatore
- fluidifikatore
- usporivače vezivanja
- ubrzivače vezivanja
- ubrzivače očvršćivanja
- zaptivače
- dodatke za betoniranje pri niskim temperaturama
- itd.

Minimalni tehnički uvjeti propisani su normativima koje mora ispunjavati aditiv, da bi se pojavio na tržištu. Kao i za cement mora postojati atest o kvaliteti aditiva.

Ako se primjenjuje više aditiva različitih proizvođača u istoj mješavini, treba provjeriti njihovu kompatibilnost, da ne bi došlo do štetnih utjecaja. [4]



## 2. Medicinski otpad

Kao što je rečeno u uvodu korona virus pandemija nije donijela samo zdravstvene poteškoće već i poteškoće s otpadom. Naime medicinske maske kakve se koriste nisu napravljene od papira, već se najčešće sastoje od tri sloja: poliestera, pamuka i polipropilena. Za koje su procjene da se potpuno razgrade na stotinama godina pa po nekim procjenama čak i do 450 godina. Prema podacima UNEP-a oko 75% iskorištenih medicinskih maski završit će na odlagalištima ili u našim morima. Prema nekim procjenama svakog dana odbacimo oko 3 milijarde zaštitnih maski.

S obzirom da samo u Europi stanuje oko 750 milijuna stanovnika što čini 1/8 stanovnika možemo pretpostaviti kako u Europi 375 000 000 jednokratnih maski u prosjeku dnevno bacimo 4 tone medicinskog otpada gdje gledamo samo maske, gdje nismo ni spomenuli pakiranja tih istih maski i sličnog medicinskog otpada. [6]



Slika 2.0.1 ( Preuzeto s <https://www.rivijeraneews.hr/male-zivotinje-ugrozava-jednokratni-zastitni-materijal/> )



Slika 2.0.2 ( Preuzeto s <https://www.logicno.com/hrana-zdravlje/medicinske-maske-truju-planet-svake-minute-bacimo-3-milijuna-komada.html> )

### 3. Prethodna istraživanja medicinskog otpada u betonu

#### 3.1 Recikliranje otpada jednokratnih maski kao konstruktivnog materijala, korak k održivosti (M.Idrees, A.Akbar, A.M.Mohamed, D.Fathi, F.Saeed) [7]

Autori članka ističu kako zbog pandemije u zadnje vrijeme imamo sve veći problem s medicinskim otpadom te problemom njegove ne razgradivosti. Ova studija prezentira efikasno rješenje kako pomoću tog otpada možemo spravljati „prijateljski“ i ekonomični zeleni beton. Spravilo se ukupno 6 smjesa koje su pripremljene za standardne testove gdje se testirala njihova tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća, RCP test i otpornost na zamrzavanje-odmrzavanje. Količina vlaknaca maski koja je korištena je 0.5, 1, 1.5 i 2% volumena betona dok su se izreckana vlakna koristila samo na 0.5%.

Kao najoptimističniji rezultat prikazao se 1%. U tom slučaju on povećava tlačnu i vlačnu čvrstoću, smanjuje propusnost klorida te povećava otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje. Usprkos tome i udio od 0.5% se također pokazao veoma dobrim, pogotovo za proizvodnju manje propusnog i više izdržljivog betona.

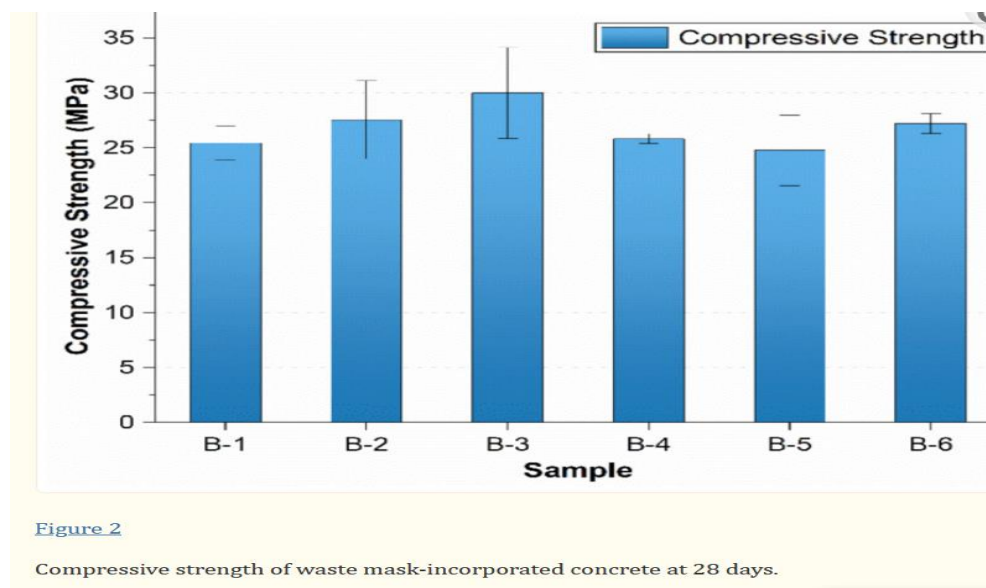
Mix proportions of concrete with and without fiber reinforcement.

Mixture ID	Ingredients						Remarks
	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Sand (kg/m <sup>3</sup> )	Coarse Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (%)	Fiber (%)	
B1	400	600	1200	200	0.5	-	-
B2	398	597	1194	199	0.5	0.50	Fibered
B3	398	597	1194	199	0.5	1.00	Fibered
B4	398	597	1194	199	0.5	1.50	Fibered
B5	398	597	1194	199	0.5	2.00	Fibered
B6	398	597	1194	199	0.5	0.50	Crushed

Slika 3.1.1 Sastav mješavina betona s i bez dodataka maski/vlakana kao ojačanja [7]

Uzorci su spravljani u 15x15x15 kocke te cilindra dimenzija 10x20cm za svaku mješavinu. Nakon 24h nakon ugradnje uzorcima su skinuti kalupi i ostavljeni su u vodi na sobnu temperaturu u laboratoriju do dana testiranja. Tlačna i vlačna čvrstoća su testirane 28 dana nakon spravljanja. Tlačna čvrstoća se testirala na 6 kocki (15x15x15) primjenom sile od 0.25MPa/s.

Dok su testiranje na vlačnu čvrstoću proveli na 4 cilindra (10x20) za 6 mješavina. U grafu *Slika 3.1.2* su prikazane tlačne čvrstoće mješavina nakon 28 dana. U mješavini s 0.5% tlačna čvrstoća se povećala za 8.3%, dok npr. kod mješavine s 1% dodatka se povećala za 17,9% te zatim počela opadati. U mješavinama s većim udjelom maski i vlakana čvrstoća bi opadala zbog nepravilnog miješanja ili preplitanja vlakana, koji onemogućuju homogenost cementa.



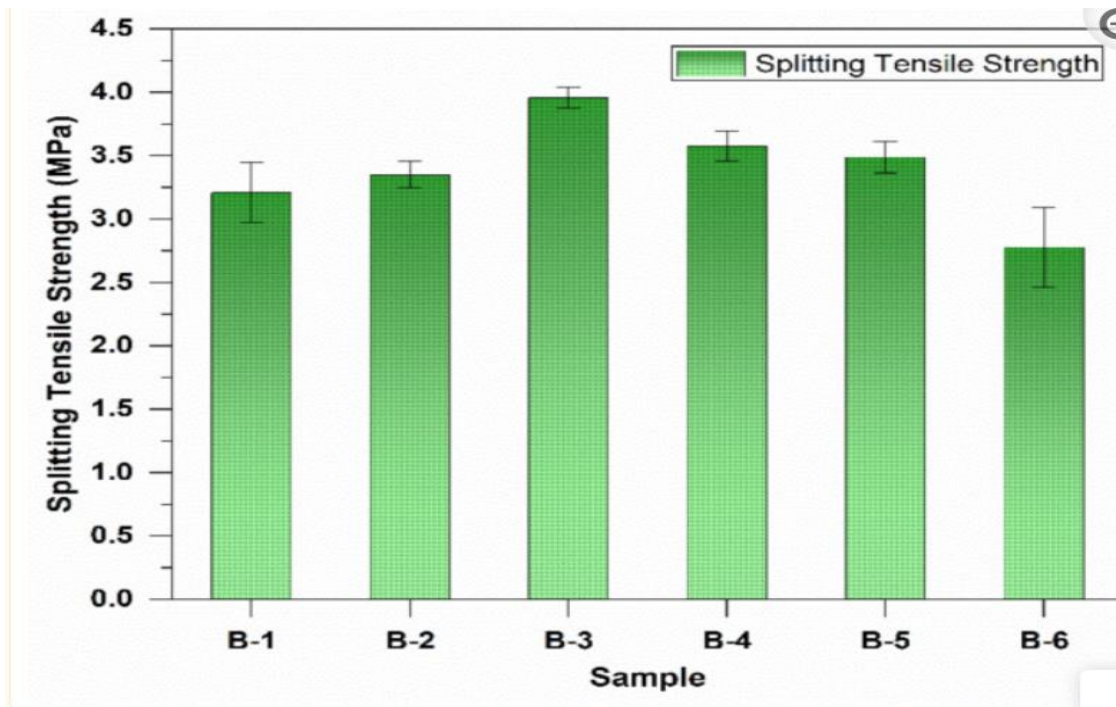
*Slika 3.1.2 Tlačna čvrstoća betona s dodatkom maski za lice nakon 28 dana [7]*

Znači pri manjem udjelu vlakana ne dolazi do nepravilnog miješanja i preplitanja vlakana pa isto tako ne uzrokuje zarobljavanje zraka i njegovo nakupljanje, te se čvrstoća povećava. Također je proučen i učinak polipropilenskih vlakana i polipropilenskih materijala.

Pokazalo se da su oni učinkovitiji od običnih maski za lice upravo zbog karakteristika materijala od kojeg su izrađene.

Kod vlačne čvrstoće su rezultati malo drugačiji, jer se u 2% mješavini čvrstoća povećala. No u mješavini s 1% se čvrstoća povećala čak za 23,3% te zatim padala kao što je prikazano u grafu ispod.

Ovakva testiranja su proveli Garg i Garg i pronašli su sličnu čvrstoću za 28 dana stare testne uzorke. Otkrili su da ukoliko dodamo polipropilenska vlakna u omjerima 0.8, 1.2 i 1.6% volumena da se čvrstoća poveća za 32, 34 odnosno 32% od gledane.



Slika 3.1.3 Vlačna čvrstoća [7]

No vlačna čvrstoća kod izrezanih tj. zgnječenih maski u papirnu pulpu ( dimenzije 1,5x2mm) kao dodatka je pokazala drugačiji trend odnosno smanjila se za 13,4%.

U sumi svih testiranja autori članka su došli do 5 najbitnijih zaključaka što se tiče jednokratnih maski i njihovoj uporabi u betonu, a to su:

- 1) Dodavanjem izrezanih ili zdrobljenih vlakana maski tj. papirne pulpe svojstva betona su mijenjana. Dodatak od 0.5% zdrobljenih maski je povećao tlačnu čvrstoću za 8.3% ali je smanjio vlačnu za 13,4%
- 2) Tlačna i vlačna čvrstoća betona s dodatkom od do 1% su se povećale za 17,9% i 23,3% te zatim padale u odnosu na mješavinu B1. Stoga, je ovaj postotak odabran kao optimalan za poboljšavanje mehaničkih svojstava.
- 3) Dodatak s 1% je pokazao nisku propusnost klorida kao i papirna pulpa maski koje su pokazale dosta manju propusnost od običnog betona. Stoga je korozijska otpornost betona s dodatkom maski osobito u zdrobljenom obliku relativno veća. Također brzi test propusnosti klorida je isto pokazao nižu vrijednost nakon testa zamrzavanje-odmrzavanje za razliku od običnog cementa.
- 4) Dodatak od 2% je pokazao neznatno manju tlačnu čvrstoću i visoku propusnost i ne bi se trebao upotrebljavati u betonu.
- 5) Papirna pulpa maski kao dodatak od 0.5% je prikladan za beton, pogotovo zbog poboljšanog otpora na vodu.

Ukratko medicinski otpad koji čine jednokratne maske nam predstavlja ogroman ekološki problem, ali nije ne rješiv. Dodavanjem maski u mješavine betona je ekološki prihvatljivo rješenje. Takvim recikliranjem pridonosimo kružnom gospodarstvu.

Utvrđeno je kako je udio od 1% na volumen betona najoptimalniji postotak za poboljšavanje mehaničkih svojstava kao i trajnosti betona. [7]

### 3.2 Preliminarni rezultati betona s dodacima jednokratnih maski za lice (S.Parija, D.K.Mishra, C. K Y Leung) [8]

Značaj cijelog istraživanja je bilo prikazati maske kao proizvod koji je moguće reciklirati i ponovo koristiti u betonskim proizvodima. Potrebno je prikupiti maske kao otpad, ozonskim postupkom ih sanitizirati, izrezati na komadiće, i miješanje istih u prikladno dizajnirane kompozitne mješavine na bazi cementa za izradu proizvoda kao što su cigle, pločice, ploče, itd.

Preliminarni eksperimentalni program je bio proveden da ispita mogućnosti upotrebe maski za jednokratnu upotrebu odnosno njihovo recikliranje. Maske su prikupljene i sanitizirane (uređaj prikazan na slici 3.2.1), te su se ručno i pomoću stroja za rezanje papira, rezale na komadiće. Maske su prikazane na slici *Slika 3.2.2*, odnosno papirna masa koja je dobivena umakanjem izrezanih komadića i miješanjem nakon 3 dana s miješalicom. Udio vlage u sadržaju je bio na 94% nedreniranom stanju te 82% nakon izvlačenja viška vode. Slika papirne mase je prikazana u *Slika 3.2.3*. Sastojci mješavina koje su korištene su prikazani u *Tablici 3.2.1*.

Cilj je bio testirati određeni raspon smjesa s rasponom čvrstoće od niskih čvrstoća odnosno betona koji se koriste za nekonstruktivne dijelove, do normalnih odnosno betona srednje čvrstoće za primjene nosivosti.

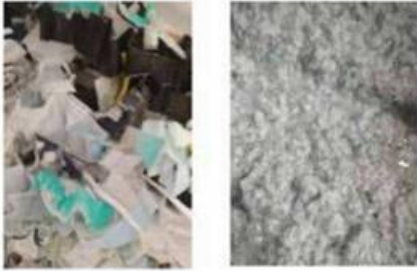
**Table 1.** Mix proportions (by weight )

Sl. No.	Components	Mix I	Mix II	Mix III
1	Cement	1.0	1.0	1.0
2	Fly Ash	1.0	1.0	1.0
3	Paper (%)	50	15	0.0
4	Sand	0.0	2.0	2.0
5	Shredded face mask (%)	0.0	2.0	10
6	Water	8.4	1.4	0.8

*Tablica 3.2.1 Sastavi mješavina betona [8]*



Slika 3.2.1 Uređaj za ozonsko tretiranje maski



Slika 3.2.2 (lijevo) Izrezane maske za dodatak mješavini betona ; (desno) Papirna pulpa korištena u eksperimentu [8]

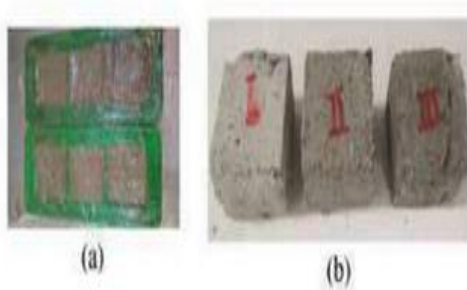
Gustoća triju mješavina je bila promatrana tijekom svih 28 dana te su u *Tablici 3.2.2.* prikazani rezultati promjene težine te također prikazuje prosječnu tlačnu čvrstoću uzoraka nakon 28 dana.

**Table 2.** Density (G/CC ) and 28 day comp strength (MPa)

Sl. No.	Age	Mix I	Mix II	Mix III
<b>Density (g/cc)</b>				
1	1	0.43	1.86	2.08
2	3	0.36	1.67	1.89
3	7	0.35	1.56	1.80
<b>Compressive Strength (MPa)*</b>				
4	28	1.14	9.46	19.45

\*Average of three test results.

Tablica 3.2.2 Gustoća uzoraka i tlačna čvrstoća nakon 28 dana [8]



Slika 3.2.3 a) Uzorci betona u kalupima; b) uzorci betona izvađeni iz kalupa [8]

Autori su došli do sljedećeg sažetka i zaključaka:

- 1) Zbrinjavanje otpada je globalni izazov koji je postao sve kritičniji s dolaskom pandemije, koja generira mnoštvo jednokratnog medicinskog otpada kao što su jednokratne maske za lice.
- 2) Preliminarna eksperimentalna studija je pokazala da je korištenje isjeckanih jednokratnih maski u betonu, izvedivi pristup njihovoj reciklaži.
- 3) Niz svojstava kao što su gustoća i tlačna čvrstoća je izvediv odnosno ostvariv.
- 4) Buduća istraživanja bi se trebala provesti da bi se istražili i drugi pristupi reciklaži kao što je gorivo, lagani agregat, ili plastični proizvodi da bi se moglo upravljati globalnom prijetnom rastuće otpadne plastike. [8]



## 4. Laboratorijski dio

### 4.1 Uvod

Laboratorijskim radom se nastavljaju istraživanja, dodavanja medicinskog otpada, u ovome slučaju jednokratnih polipropilenske maska za lice, u mješavine za spravljanje betona. Sve to uzimajući u obzir trenutno stanje s pandemijom i sa sve većim brojem tog istog otpada. Cilj ovih istraživanja je postizanje ekološki prihvatljivog betona gdje bi reciklirali naš otpad, a također da beton zadrži većinu svojih mehaničkih svojstava.

Kao polazna točka pri projektiranju mješavina su uzete količine sastojaka korištene i u prijašnjim istraživanjima [5], gdje se u ovom istraživanju silikatna prašina (drugog proizvođača) dodala u 3 mješavine a u druge 3 se dodao metakaolin. Udio jednokratnih maski u mješavinama je iznosio 0,5% maske i 0,25% gumica istih.

Također, u jednoj u 3 mješavine sa silikatnom prašinom dodan je i udio PP vlakana, kao i u jednu mješavinu s metakaolinom. Njihov udio je iznosio 0,18%.

Količina je odabrana prema [4] gdje je dana preporuka za udio u mješavini u odnosu na maksimalno zrno agregata.

Što ostavlja sa po dvije mješavine s polipropilenskim jednokratnim maskama i dodacima kao što su silikatna prašina i metakaolin.

Mješavine su označene kao:

E-S - etalonska mješavina s dodatkom silikatne prašine

E-M – etalonska mješavina s dodatkom metakaolina

PP-S – mješavina sa dodatkom polipropilenskih vlakana s dodatkom silikatne prašine

PP-M - mješavina sa dodatkom polipropilenskih vlakana s dodatkom metakaolina

M-S – mješavina sa dodatkom izrezanih jednokratnih maski za lice s dodatkom silikatne prašine

M-M – mješavina sa dodatkom izrezanih jednokratnih maski za lice s dodatkom metakaolina.

Sve mješavine imaju jednaku količinu cementa koja iznosi  $350 \text{ kg/m}^3$  te jednak vodocementni faktor, te istu količinu silikatne prašine odnosno metakaolina.

Korišteni agregat je s nalazišta Plano ( odgovarao je zbog blizine nalazišta ) u tri glavne frakcije a to su 0-4mm; 4-8mm i 8-16mm, kao i u prethodnom ispitivanju [5] .

Ispitivanja betona su provedena u svježem i očvrslom stanju.

Ispitivana je konzistenciju metodom slijeganja, mjerenja temperatura te udio zraka u betonu.

Beton je ugrađen u kalupe oblika kocke brida 15 cm pomoću uranjajućeg vibratora.

Nakon prvih 24 sata beton je izvađen iz kalupa i čuvao se do 28. dana u vodi temperature koja je iznosila  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Nakon 28 dana uzorci su ispitivani na tlačnu kao i vlačnu čvrstoću savijanjem, te im je određena brzina prolaska ultrazvuka i izračunat dinamički modul elastičnosti.

## 4.2 Korišteni materijali

- Cement CEM I 42.5
- Agregat
- Voda
- Aditivi
- Silikatna prašina
- Polipropilenska vlakna za beton
- Jednokratne maske za lice

### 4.2.1 Cement

Korišten je cement „domaćeg“ proizvođača Dalmacija cement, korišten je cement CEM I 42.5, portland cement s udjelom 95-100% klinkera certificiran prema zahtjevima HRN EN 197-1, HRN EN 197-2, BAS EN 197-1 i BAS EN 197-2. Cement je klasificiran kao cement za opću uporabu kao i specijalnu u proizvodnji betona, morta, žbuke, s niskim potrebama za vodom za obradivost i optimalnim održavanjem ugradljivosti, s vrlo visokom čvrstoćom i kratkog vremena vezivanja, prikladan za radove na niskim temperaturama.

Tijekom transporta potrebno je zaštititi i osigurati utjecaj vlage a istovar je potrebno izvršiti prema svim normama i zahtjevima. Cement se skladišti u vrećama na suhim daskama ili paletama u suhim prostorima zaštićenima od vlage i kiše.

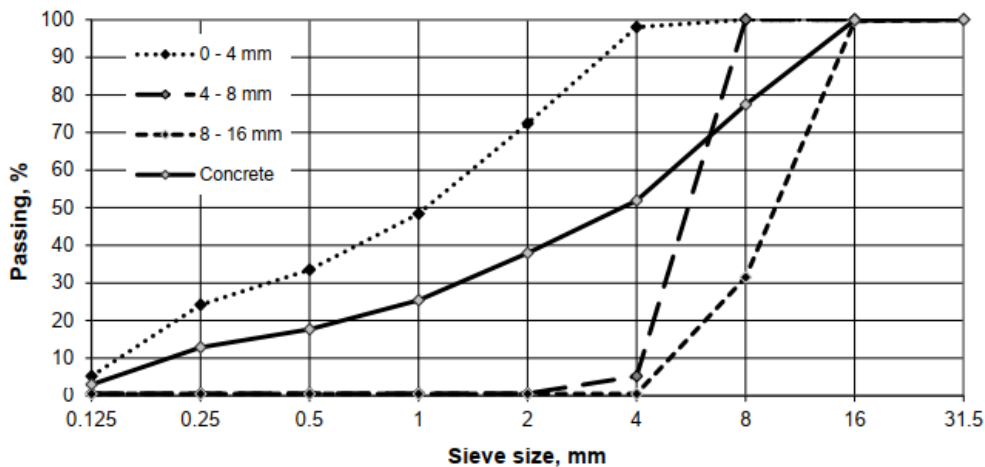
TIPIČNI SASTAV	ZAHTJEV NORME
Klinker (K) + Gips (G) - 95-100%	95-100
Sporedni sastojci 0-5%	0-5
TIPIČNA SVOJSTVA	ZAHTJEV NORME
Gubitak žarenjem 2,5±0.5%	<0.5
Neotopivi ostatak 0.20±0.10%	<0.5
% SO <sub>3</sub> 3.0±0.2%	<4.0
Kloridi 0.01%	<0.1
Postojanost volumena ( Le Chatelier ) 1 mm	<10
Vrijeme vezivanja (početak) 180±25min	>60
Rana čvrstoća (2dana) 30MPa	>20
Normirana čvrstoća (28dana) 54MPa	42.5<X<62.5

Tablica 4.2.1 Tipičan sastav i svojstva cementa – podaci preuzeti od proizvođača [5]

### 4.2.2 Agregat

U testiranjima je korišten drobljeni vapnenac iz nalazišta Plano koje se nalazi u blizini Trogira. Korištene su tri glavne frakcije: 0-4mm; 4-8mm te 8-16mm.

S obzirom da su korištene već otprije poznate mješavine iz prijašnjih eksperimenata, za spravljanje betona s malim izmjenama odnosno u 3 mješavine se umjesto silikatne prašine sada koristio i metakaolin. Granulometrijski sastav mješavina betona je preuzet iz prošlog Diplomskog rada napravljenog od strane P.Šakić. [5]



Slika 4.2.2 Granulometrijska krivulja frakcija agregata i kumulativna krivulja agregata za beton [5]

### 4.2.3 Voda

U mješavini je korištena voda za piće sa slavine te nisu bila potrebna nikakva dodatna ispitivanja ili testiranja.

#### 4.2.4 Aditivi

U ispitne mješavine je dodan superplastifikator MasterGlenium Sky 658.

Asortiman MasterGlenium sastoji se od nove generacije dodataka koji utječu na smanjenje vode, specijalno formulirane za aplikacije gdje je moguće zadržavanje betona tj. nije omogućen dobar pad i gdje je potrebna rana visoka čvrstoća i otpornost. Mješavine s ovim dodatkom su optimalne za dostavu na udaljena mjesta po visokim i niskim temperaturama.

Prednosti kod korištenja ovog superplastifikatora su visoka rana i konačna čvrstoća betona, mogućnosti pumpanja, samokonsolidirajući beton, niska propusnost, niska vrijednost vodocementnog faktora, velike uštede vode, raznovrstan raspon upotrebe. Ova tehnologija omogućuje vrhunsku kvalitetu betona i njegova svojstva u svježem i očvrstnutom stanju s privlačnim izgledom površine (estetički prihvatljiv). [9]

#### 4.2.5 Silikatna prašina

Silikatna prašina nastaje industrijskim procesom pa je postankom industrijski materijal, tj. industrijski mineralni dodatak. Dok po svojstvima se ubraja u pucolane. Silikatna prašina ima najveću pucolansku aktivnost. Sastoji se od finih čestica koje su nastale kao sporedni proizvod pri proizvodnji silikatnih i ferosilikatnih legura (od tu je dobila i naziv). Silikatna prašina na beton utječe preko dva načina, prvi je preko pucolanskih reakcija a drugi je učinak sitnih čestica.

Sitne čestice doprinose obradivosti i povećanju zapune unutarnje strukture. Također poboljšava otpornost na segregaciju.

U mješavinama je korištena silikatna prašina proizvođača BASF a ime proizvoda je Meyco MS 610. Svojstva betona s Meyco MS 610 dodatkom te tehnička svojstva istog su prikazana ispod, informacije su preuzete od proizvođača:

**Betoni sa dodatkom MEYCO MS 610 imaju sljedeća svojstva:**

**A - U svježem betonu:**

1. Poboljšana povezanost omogućuje bolju pumpabilnost, "krvarenje" i sedimentiranje čak i tekućeg betona smanjeni su na najmanju moguću mjeru (ugradnja u vodi, mortovi za injektiranje, industrijski podovi).
2. Povećana ljepljivost: poboljšano prijanjanje na stari beton, na armaturu i izmeću agregata i matriksa (reparature)
3. Tiksotropnost: poboljšana čvrstoća mladog betona (gotovi elementi, cijevi itd.).
4. Porozitet: poboljšana povezanost mase sprječava uvlačenje mjehurića zraka kao i kasniju promjenu poroziteta kod aeriranog betona.

**B - U otvrdnutom betonu:**

1. Vodopropusnost: npr. 10% Microsilice smanjuje vodopropusnost na ca. 1/10.
2. Beton visoke čvrstoće: sa normalnim agregatima: 80 - 110 MPa.
3. Ultračvrsti beton: sa specijalnim agregatima 120 - 360 MPa.
4. Povećane rane čvrstoće: primjenom Microsilice i pod utjecajem više temperature.
5. Povećana otpornost na habanje: očvršćivanjem matriksa i boljim povezivanjem zrna agregata.
6. Povećana otpornost: na sulfate i kloride.
7. Poboljšano prijanjanje: na podlogu, armaturu i agregate.
8. Iscvjetavanje: smanjeno ili spriječeno.
9. Alkalne reakcije: smanjene ili spriječene.

*Tablica 4.2.5.1 Svojstva betona s dodatkom MEYCO MS610-preuzeto od proizvođača [11]*

**Tehnička svojstva:**

Izgled:	fina prašina, kod skladištenja u vlazi može stvoriti grude
Boja:	siva
Miris:	bez mirisa
Talište (°C):	1.550 – 1.570
Topivost (H <sub>2</sub> O):	netopiva
Nasipna težina (kg/m <sup>3</sup> ):	500 – 700
Specifična površina (m <sup>2</sup> /g):	15 – 35
Na <sub>2</sub> O ekvivalent (%)	< 1,5

*Slika 4.2.5.1 Tehnička svojstva silikatne prašine – tablica preuzeta od proizvođača [11]*

#### 4.2.6. Metakaolin

Metakaolin je pucolan, i vjerojatno jedan od najefektivnijih pucolanskih materijala za upotrebu u betonu. Za razliku od većine pucolana metakolin nije nusproizvod već je on baš ciljani proizvod gdje se proizvodi od gline i minerala kaolina koji se zagrijavaju između 600 i 800 stupnjeva. Njegova kvaliteta se kontrolira tijekom proizvodnje, što utječe direktno i na varijablu kvalitete odnosno većina proizvoda ima jednaku kvalitetu dok kod pucolana koji su nusproizvod se to ne može reći.

Kada se dodaje u omjerima 5-10% volumena betona, beton je generalno puno koheziji te kao rezultat toga lakše ga je pumpati i završna obrada je lakša. Također tlačna čvrstoća i otpornost cementa je također povećana.

U našu mješavinu smo dodavali metakaolin marke Metaver N. U tablici ispod su prikazane fizičke karakteristike proizvoda preuzete od proizvođača:

##### Physical characteristics

Specific density		2,6	g/cm <sup>3</sup>
Particle size distribution	d <sub>50</sub>	~ 3,4-4,5	μm
	d <sub>95</sub>	~ 12-18	μm
Specific surface (Blaine)		ca. 22 000	cm <sup>2</sup> /g
Specific surface (BET)		ca. 18	m <sup>2</sup> /g
Colour		white	
Whiteness (Dr. Lange)		ca. 87	
Apparent density	freely settled	0,32 - 0,37	g/cm <sup>3</sup>
	tapped	0,45 - 0,52	g/cm <sup>3</sup>

Slika 4.2.6 Fizička svojstva metakaolina – tablica preuzeta od proizvođača

(<http://catalogue.newchem.org/croatia/product/Metaver%20I%2C%20M%2C%20N/287> )

#### 4.2.7 Jednokratne maske za lice

Za izradu mješavina M-S i M-M korištene su jednokratne medicinske maske osnovnog tipa tj. tipa 1. To su maske koje nisu prošivane i tkane, već je polipropilen postavljen u tri sloja sa gubicama za uši.

Ova testiranja se provode u svrhu istraživanja mogućnosti medicinskog otpada, no u testiranjima su korištene nove, a ne upotrebljavane maske čisto zbog pojednostavljenja procesa kao što je skupljanje maski po otpadima ili ulicama te naposljetku njihove sanitizacija. Maske su izrezane te dodane sa gubicama u omjerima 0.5% i 0.25%, u suhu mješavinu za spravljanje betona.

Maske su rezane na sitne trakice duljine 2-3cm jedina razlika u mješavinama je što je u jednoj korištena silikatna prašina a u drugoj metakolin.



*Slika 4.2.7 Jednokratna maska za lice i primjer izrezanih maski koje su korištene za mješavine*



#### 4.2.8 Polipropilenska vlakna za beton

PP vlakna se dodaju mješavinama za spravljanje betona iz razloga jer djeluju povoljno na svojstva trajnosti betona kao i mehanička svojstva.

Dodaju se u suhu smjesu jednako kao i jednokratne maske za lice te ne zahtijevaju nikakav dodatni postupak jer nema nikakvih problema sa njihovim stavljanjem u mješavinu.

Dolaze u 4 standardne duljine, za mješavine su odabrane duljine od 19mm. Karakteristike vlakana prikazane su u *Tablici 4.2.8*.

Materijal	100 % polipropilen
Specifična težina	0,915 g/cm <sup>3</sup>
Vlačna čvrstoća	28-77 kN/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti	2,1-3,5 kN/mm <sup>2</sup>
Temperatura taljenja	160-170 °C
Temperatura zapaljenja	>320 °C
Apsorpcija vode	Nula

*Tablica 4.2.8 Tehnička svojstva PP vlakana za beton – preuzeto od proizvođača*

### 4.3 Izrada mješavina

Izrađeno je šest mješavina, dvije etalon, dvije sa PP vlaknima te dvije s jednokratnim maskama za lice. Svaka od ove tri vrste mješavina ima jednu mješavinu sa silikatnom prašinom a druga sa metakaolinom.

Sve mješavine imaju jednak vodocementi faktor, količinu cementa, superplastifikatora koji je korišten te jednaku količinu dodatka koji su korištene ovisno da li je silikatna prašina ili metakaolin. Razlike su jedino u dodacima odnosno kao što je rečeno dvije mješavine imaju PP vlakna, dvije medicinske maske te dvije bez ikakvih posebnih dodataka te vrste. Sastav mješavina prikazan je u tablici 4.3.

Sastojak (kg)	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
Cement	350	350	350	350	350	350
Silikatna prašina	35	35	35	0	0	0
Metakaolin	0	0	0	35	35	35
w/v (vezivo)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agregat						
0-4 mm	901.9	944.5	920.3	965.7	961.4	959
4-8 mm	260.2	272.5	265.5	278.6	277.3	276.6
8-16 mm	572.4	599.4	584	612.9	610.1	608.6
SP 0.6%	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
MASKE	0	0	1.95+0.62	0	0	1.95+0.62
PP VLAKNA	0	1.62	0	0	1.62	0
Maske = 0.5% volumena prednji dio + 0.25% volumena gumice						

Tablica 4.3 Sastavi (receptura) mješavina korištenih u ispitivanju

Mješavine su izrađene u laboratoriju za građevinske materijale na FGAG-u u Splitu, po propisanim normama i standardima. Suhi sastojci se stavljaju u miješalicu te miješaju 90 sekundi, nakon što se dodaje voda i superplastifikator, miješa se još 180 sekundi. Prvo je napravljena polazna mješavina, etalon bez dodataka jedna za silikatnu prašinu a jedna za metakaolin.

Istim postupkom su zatim izrađene i dvije mješavine s PP vlaknima u udjelu od 0.18% i dvije mješavine s dodatkom jednokratnih maski za lice.

S obzirom da maske nisu upijale vodu, za razliku od njihovih gumica nisu predstavljale problem kod homogeniziranja mješavine.

Mješavine su ugrađene u standardizirane kalupe kocki s bridovima duljina 150mm, sve zajedno zbijene s uranjajućim vibratorom, slika 4.3.

Te su uzorci po standardu pušteni 24 sata da očvrstnu nakon čega su izvađeni iz kalupa i stavljeni u vodu na čuvanje u idućih 28 dana, na sobnoj temperaturi odnosno  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , prema HRN EN 12390-2:2009.



*Slika 4.3 Izrada betona pomoću kalupa [5]*

## 4.4 Metode ispitivanja

Na svježem stanju betona mjerena je temperatura, sadržaj zraka, gustoća te konzistencija mješavina odnosno betona.

U očvrslom stanju su ispitivana tlačna čvrstoća i vlačna čvrstoća savijanjem te dinamički modul elastičnosti.

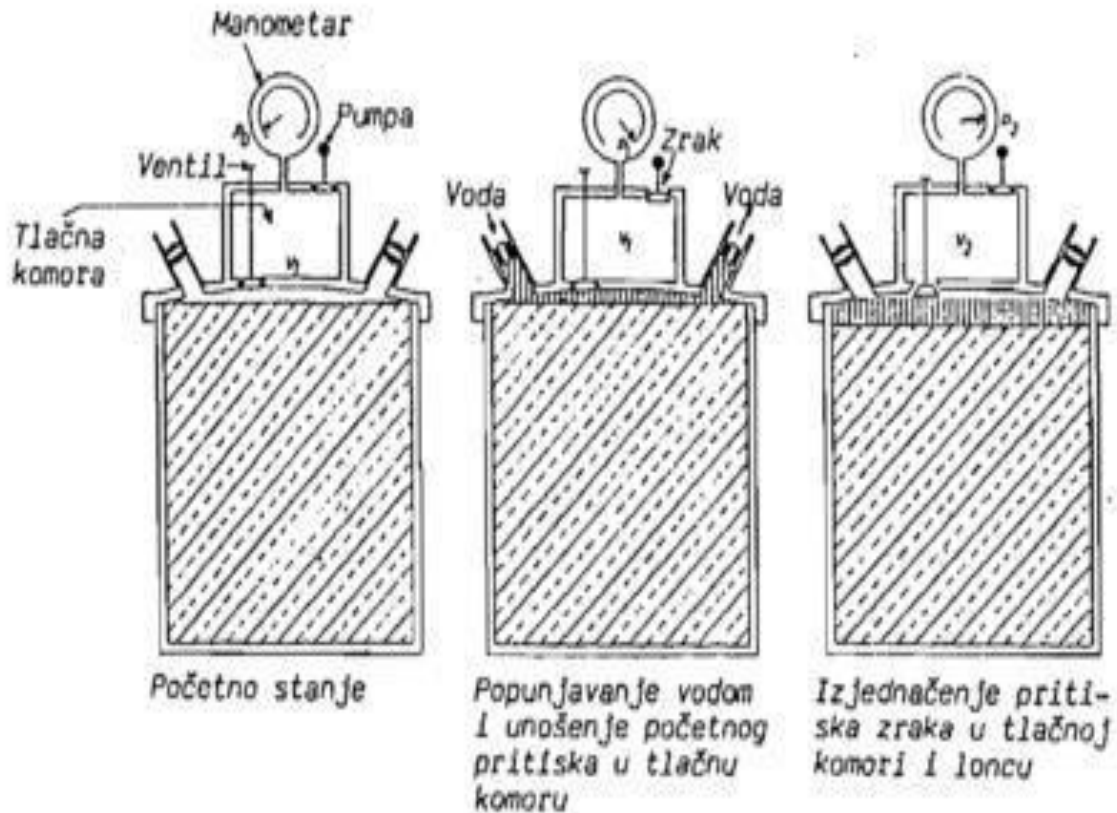
### 4.4.1 Mjerenje temperature betona

Ovo ispitivanje treba biti provedeno odmah po miješanju smjese, prema HRN U.M1.032:1981 Mjerenje temperature svježeg betona. Digitalni termometar sa iglom se postavi u sredinu smjese, treba posebno voditi računa da se ne dodiruje bubanj.

### 4.4.2 Ispitivanje sadržaja zraka u betonu

Ovo testiranje je obavljeno metodom porometra, prema HRN EN 12350-7:2009. Ova metoda djeluje tako da se u čvrstu posudu nepromjenjivog volumena sipa beton i zbije se vibratorom. Nakon zbijanja posuda poklapa s poklopcem koji sadrži manometar, ručnu pumpu i ventil. Nakon poklapanja u ostatak prostora ulijeva se voda i pumpa zrak dok se ne dođe do tlaka od  $10^5$  Pa.

Nakon otvaranja ventila dio zraka je ispušten te se na manometru samo očita postotak zraka koji se nalazio u betonu.



Slika 4.4.2 Shema metode POROMETRA kod ispitivanja sadržaja zraka u betonu [4]

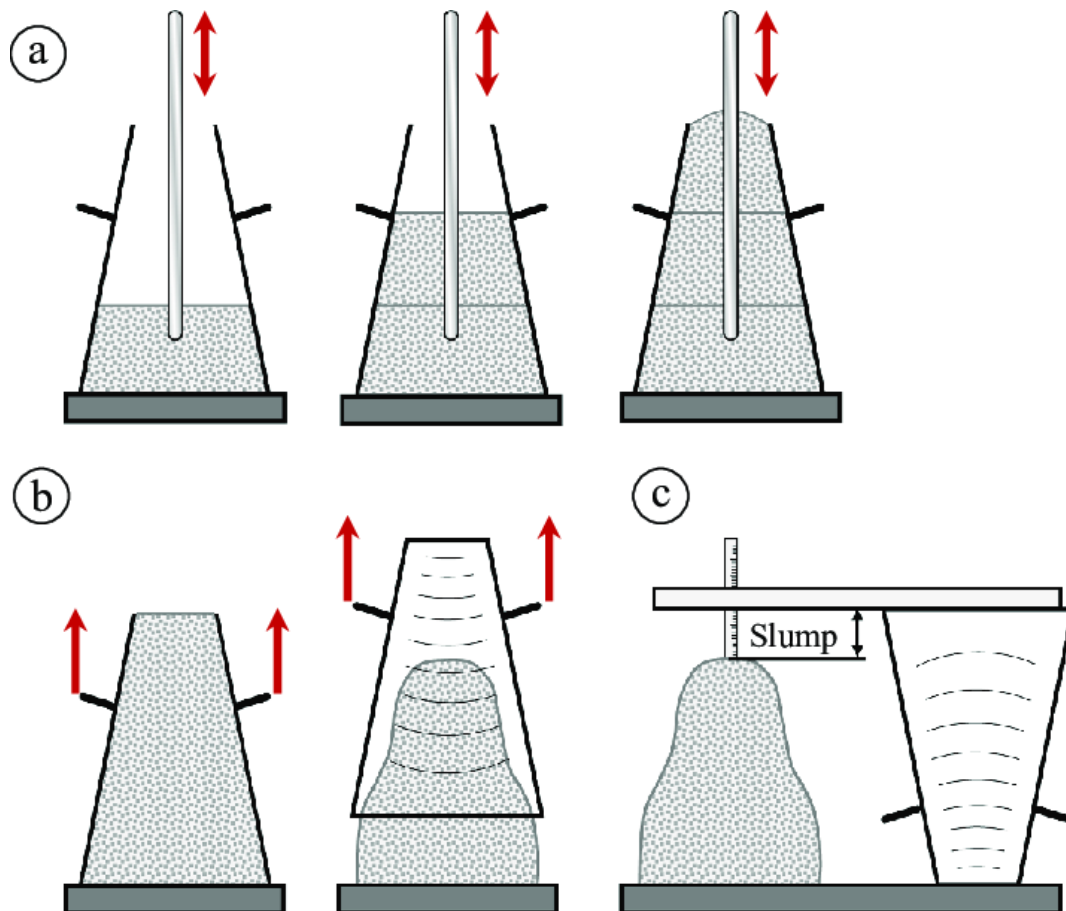
#### 4.4.3 Ispitivanje gustoće betona u čvrstom stanju

Gustoća betona je omjer njegove mase i volumna. Gustoća se mjeri tako što se beton ugradi u kalupe standardiziranih i poznatih dimenzija te se uzorci izvažu na preciznoj vagi u laboratoriju. Gustoća betona mjerena je na svim uzorcima koji su bili stari 28 dana odnosno izvagani su prije testiranja na tlačne i vlačne čvrstoće.

#### 4.4.4 Ispitivanje konzistencije betona

Za ovo ispitivanje korištena je metoda slijeganja HRN EN 12350-2:2009, gdje se svježe pripremljeni beton treba standardnim postupkom postaviti u Abramsov kalup, što je zapravo krnji stožac visine 30 centimetara, donja baza promjera 20 centimetara a vrh promjera 10 centimetara. Kalup je postavljen na ravnu plastičnu površinu koja je ovlažena kako ne bi upijala vodu iz smjese, isto kao i unutrašnjost kalupa.

Beton se zbjija u kalup u 3 sloja, svaki sa po 25 udaraca šipkom standardnog promjera 16mm, pazeći pri tom da se kalup ne miče, za što služe ručke sa strana, slika 4.4.4.



Slika 4.4.4 Prikaz metode slijeganja i tijekom postupaka tokom ispitivanja pomoću Abramsova kalupa (<https://www.gradnja.me/clanak/743/metoda-slijeganja-za-odredjivanje-konzistencije-betona>)

Nakon zbijanja površina betona se poravnava te se kalup izvlači u što kraćem vremenu, te odmah potom mjeri slijeganje. Slijeganje iznosi visinsku razliku između vrha slegnutog betona i vrha kalupa kao što je prikazano na slici 4.4.4.

#### 4.4.5 Ispitivanje tlačne čvrstoće betona

Tlačna čvrstoća je ispitivana na uzorcima kocki duljine bridova 15cm odnosno 150mm, starosti od 28 dana. Kocke su prethodno saturirane vodom i nakon vađenja iz bazena za njegu betona su površinski samo obrisane.

Prije stavljanja pod ploče hidrauličke preše izmjerene su sve dimenzije kao i masa. Ispitivanje je vršeno po normi HRN EN 12390-3 za sve mješavine na po tri uzorka. Sila je nanošena jednakom brzinom sa prirastom od  $0.6 \text{ N/mm}^2$  sve do loma ispitanih tijela, slika 4.4.5.



Slika 4.4.5 Ispitivanje tlačne čvrstoće [5]

Kao dani rezultat ispitivanja dobije se tlačna čvrstoća koja iznosi:

$$f_k = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

(gdje je F sila u trenutku loma, a A površina poprečnog presjeka u sredini ispitanih tijela).



#### 4.4.6 Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem

Vlačna čvrstoća betona je određena na betonskim prizmama dimenzija 150x150x150mm (500) po normi HRN EN 12390-5-2019. Prizma je stavljan između dva oslonca preko kojih je mjerena količina sile koja ih je pritiskala u sredini raspona.

$$\text{Formula za savojnu čvrstoću : } \sigma_s = \frac{M}{W} \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

(gdje je M moment savijanja uslijed loma, a W moment otpora poprečnog presjeka).

#### 4.4.7 Ispitivanje dinamičkog modula elastičnosti betona

Dinamički modul betona određuje se indirektno iz mjerenja brzine prolaza ultrazvučnih valova. Površinu betona potrebno je prethodno namazati gelom radi bolje prijanjanja uređaja, zatim se postavljaju generatori ultrazvučnih impulsa.

Put valova se zna jer je put zapravo dimenzija našeg uzorka, prijamnik očitava vrijeme prolaska te pomoću tih podataka se izračuna brzina, prema HRN EN 12504-4:2004, slika 4.4.7.

Brzinu širenja ultrazvučnog vala se računa po formuli :  $v = \frac{L}{T}$ , a dinamički modul elastičnosti

po formuli:  $E_{din} = \frac{v^2 * \rho}{K}$  { gdje je: v-brzina vala,  $\rho$  gustoća betona ( $\frac{kg}{m^3}$ ),

a  $K = \frac{1-v}{(1+v)(1-2v)}$  (gdje je v-Poissonov koeficijent, ovdje je korišten koeficijent 0.2 s obzirom da je za vlažni cementni kamen koeficijent 0.25 a suhi oko 0.15 pa je upotrijebljena sredina tog iznosa) }.



*Slika 4.4.7 Ispitivanje brzine širenja ultrazvučnih valova u betonu*

## 5. Rezultati i analize ispitivanja betona

### 5.1.1 Rezultati ispitivanja temperature betona

Kod mjerenja temperature sve mješavine su pokazale temperature koje nemaju previše odstupanja te su u zavisnosti o temperaturi okoline. Što prikazuje i njihov raspon od 20.60 do 23.60 °C prikazan u *Tablici 5.1.1.*

OZNAKA	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
Temperatura (°C)	23.6	21.5	21.5	20.6	22	23.2

*Tablica 5.1.1 Rezultati mjerenja temperature*

### 5.1.2 Rezultati ispitivanja sadržaja zraka u betonu

Test je proveden metodom porometra koji je opisan u poglavlju 4.4.2, a u *Tablici 5.1.4* su dani rezultati tih mjerenja.

OZNAKA	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
Sadržaj zraka (%)	2.5	3.4	2.8	4	4.3	3

*Tablica 5.1.4 Rezultati ispitivanja sadržaja zraka u betonu*

Prema podacima iz [4] za mješavine s vlaknima očekivana je količina zraka 4 do 6%. Mješavine PP-S i PP-M su u skladu sa očekivanim rezultatima. Dok naprimjer mješavine s medicinskim otpadom tj. mješavine M-S i M-M imaju manju količinu zraka. Etalonska mješavina E-M ima veću količinu uvučenog zraka od očekivane, s obzirom da nema dodatak vlakana.

### 5.1.3 Rezultati ispitivanja gustoće betona

Mjerenje gustoće provedeno je samo na očvrslulim uzorcima. Nakon što su mješavine stavljene u kalupe i zbijene, prošao je period od 28 dana njege i čuvanja betona, te nakon skidanja kalupa izmjerene su sve dimenzije uzoraka u ovome slučaju bridovi kocki, te se pomoću laboratorijske precizne vage izmjerila masa tih istih uzoraka.

Rezultati mjerenja i gustoća su prikazani u *tablici 5.1.2.1.*

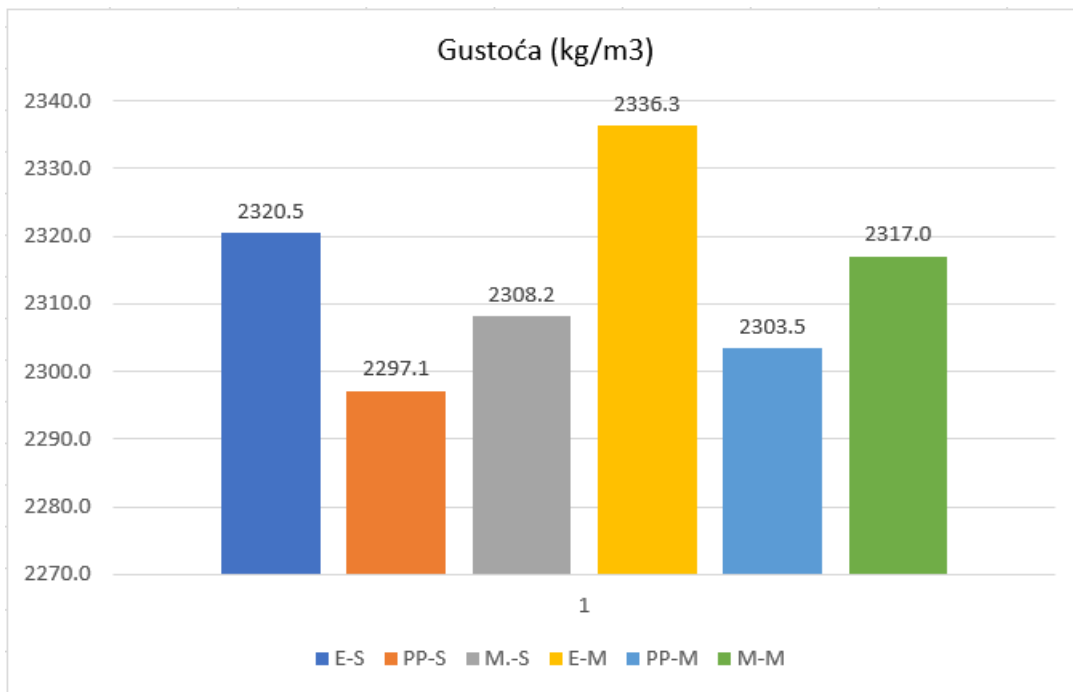
UZORAK	a (mm)	b (mm)	c (mm)	masa (g)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )
E-S	150	150	150	7871.5	0.003375	2332.30
	153	150	150	7947.4	0.0034425	2308.61
	152	150	150	7936.3	0.00342	2320.56
PP-S	153	150	150	7879.8	0.0034425	2288.98
	152	150	150	7866	0.00342	2300.00
	152	150	150	7874.1	0.00342	2302.37
M-S	154	150	150	7958.1	0.003465	2296.71
	153	150	150	7963.2	0.0034425	2313.20
	152	150	150	7916.4	0.00342	2314.74
E-M	150	150	150	7955.2	0.003375	2357.10
	153	150	150	8036.9	0.0034425	2334.61
	153	150	150	7977.2	0.0034425	2317.27
PP-M	151	150	150	7860.5	0.0033975	2313.61
	152	150	150	7840.5	0.00342	2292.54
	151	150	150	7828.5	0.0033975	2304.19
M-M	152	150	150	7972.9	0.00342	2331.26
	154	150	150	8008.1	0.003465	2311.14
	152	150	150	7895.7	0.00342	2308.68

Tablica 5.1.2.1 Gustoće uzoraka betona nakon 28 dana

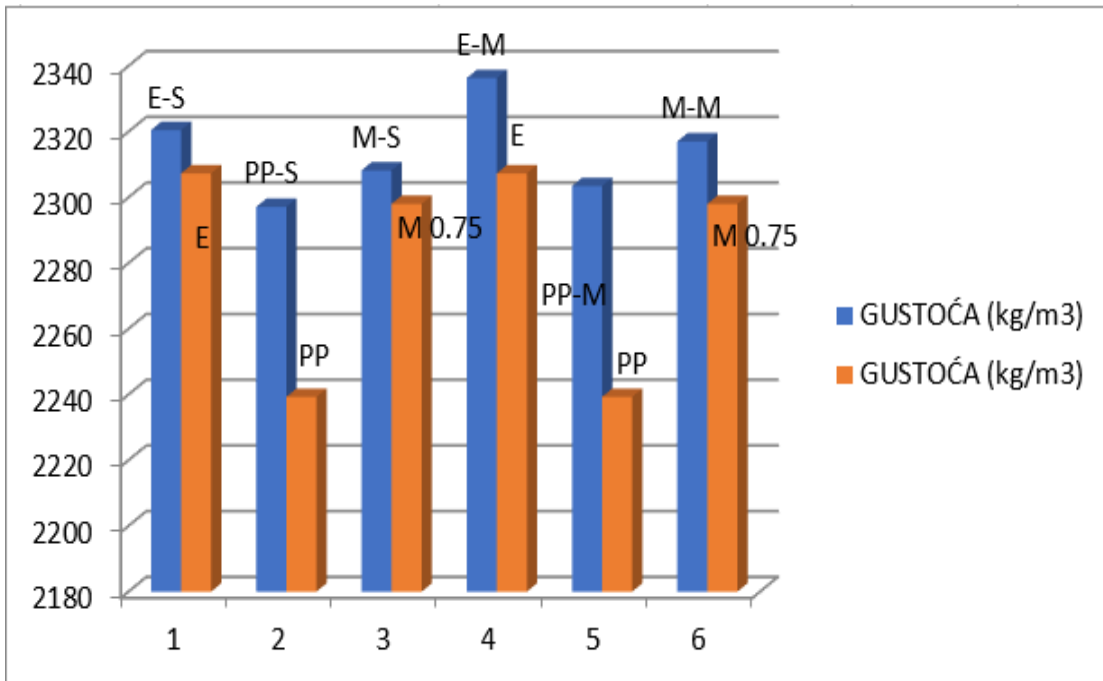
Kod usporedbe mješavina uzimana je srednja gustoća svake mješavine (sredina od 3 uzorka), te su sve uspoređene s polaznom mješavinom etalon ili kontrolna mješavina sa silikatnom prašinom.

Kao što je vidljivo na *Grafu 5.1.2.2* najveću gustoću je pokazala etalonska mješavina s metakaolinom dok su najniži postotak gustoće odnosno najlakše betone davale mješavine s PP vlaknima za beton i u slučaju silikatne prašine i metakaolina.

No razlike u gustoćama su zanemarive s obzirom da razlika između najviše postignute gustoće i najmanje iznosi 3%.



*Graf 5.1.2.1* Grafički prikaz srednjih gustoća uzoraka



Graf 5.1.2.2 Rezultati srednjih gustoća uspoređeni s rezultatima gustoća iz [5]

Promjena dodatka silikatne prašine s dodatkom metakaolina je utjecala na povećanje gustoće u svim mješavinama, uključujući etalonsku kao i mješavine s PP vlaknima i dodatcima medicinskih maski u usporedbi s tim istim mješavinama s dodatkom silikatne prašine.

### 5.1.4 Rezultati ispitivanja konzistencije betona

Ovo ispitivanje je provedeno metodom slijeganja koja je prethodno pojašnjena.

U *Tablici 5.1.3* su dani svi izmjereni podaci kao i razredi konzistencija pojedinih mješavina.

OZNAKA	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
Slijeganje (cm)	2.5	4.5	2	8	6.5	4
Razred konzistencije	S1	S2	S1	S2	S2	S1

*Tablica 5.1.3 Rezultati ispitivanja konzistencije betona*

#### RAZREDI KONZISTENCIJE:

- Slijeganje 10-40 mm -> S1
- Slijeganje 50-90 mm -> S2
- Slijeganje 100-150 mm -> S3.

Najveće slijeganje se dogodilo u etalonskoj mješavini s metakaolinom dok je ista mješavina s silikatnom prašinom pokazala samo 30% slijeganja prethodne mješavine.

Kako su mješavine načinjene po istim recepturama odnosno jedine razlike su u dodatcima koje čine silikatna prašina, metakaolin i vrsta medicinskog otpada tj. jedna mješavina je bez takvih dodataka za obje vrste pucolana, jedna je s dodatcima jednokratnih maski te finalne mješavine s dodatcima PP vlakana za beton. Silikatna prašina ima vjerojatno veću finoću mliva, pa je i njena potreba za vodom veća.

Mješavine s dodatkom maski imaju manju veličinu slijeganja odnosno nalaze se u boljem razredu konzistencije (S1) od mješavina s PP vlaknima za beton(S2).

Sve mješavine se klasificiraju kao standardno obradive.

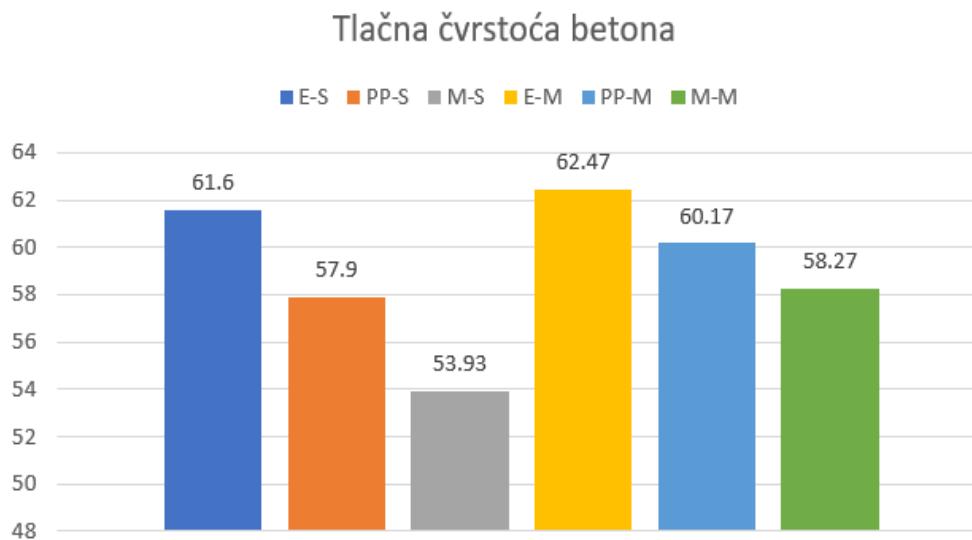
### 5.1.5 Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona

Postupak ispitivanja tlačne čvrstoće betona je opisan u poglavlju 4.5.5.

Svaka mješavina je imala tri rezultata te su u *Tablici 5.1.5.1* i *Grafu 5.1.5.1* prikazane srednje vrijednosti dobivene od istih.

OZNAKA	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
Tlačna čvrstoća	61.6	57.9	53.93	62.47	60.17	58.27

*Tablica 5.1.5.1 Rezultat ispitivanja tlačne čvrstoće betona*



*Graf 5.1.5.1 Grafički prikaz srednjih rezultata tlačne čvrstoće uzoraka*

E-M mješavina je postigla najvišu konačnu tlačnu čvrstoću. Otprilike za 1.5% veću nego etalonska mješavina sa silikatnom prašinom.

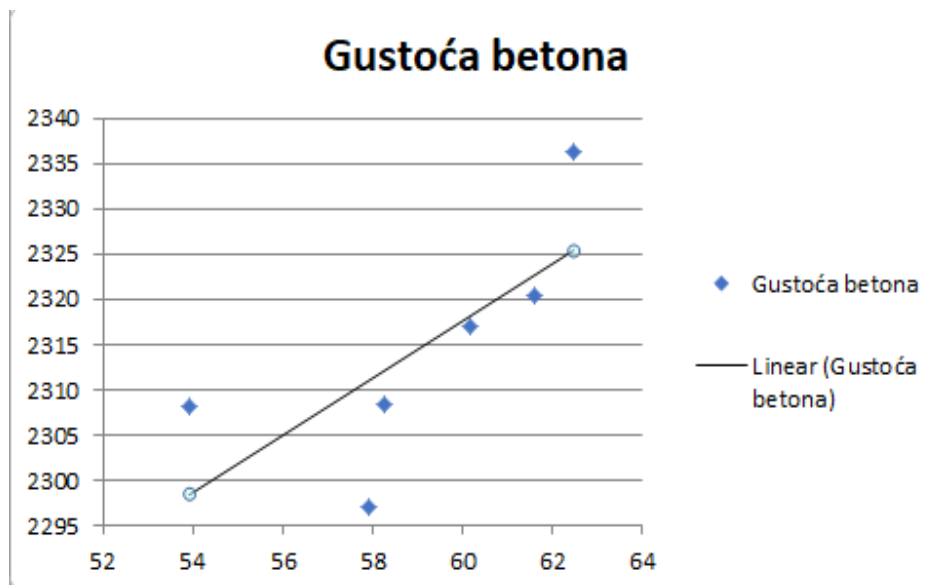
Dok je najniže rezultate pokazala M-S mješavina odnosno mješavina sa izrezanim jednokratnim maska i silikatnom prašinom, njena tlačna čvrstoća iznosi samo 87,50% referentne E-S



mješavine sa silikatnom prašinom. Za usporedbu mješavina uzimane su mješavine iz [5] gdje su se mješavine E-S i E-M usporedile s mješavinom E iz [5], mješavine PP-S i PP-M usporedile s mješavinom PP iz [5], te naposljetku i mješavine M-S i M-M uspoređene s mješavinom M 0.75 iz [5], *graf 5.1.5.3*. Obje etalonske mješavine su pokazale povećanje tlačne čvrstoće. Mješavina E-S je pokazala povećanje od 5% u odnosu na mješavinu E [5], dok je mješavina E-M pokazala povećanje od 6.4%. Mješavine s dodatkom PP vlakana su prikazale povećanja od 9,6% tj. mješavina PP-S, dok je mješavina PP-M pokazala povećanje čvrstoće u iznosu od 14% u usporedbi s mješavinom PP iz [5]. No u slučaju gdje su se u mješavine dodavale jednokratne maske za lice i njihove gumice, obje mješavine su pokazale manju tlačnu čvrstoću u usporedbi s mješavinom M 0.75 iz [5]. Mješavina M-S je imala 89% tlačne čvrstoće referentne mješavine dok je mješavina M-M pokazala 96% u usporedbi s već rečenom mješavinom.

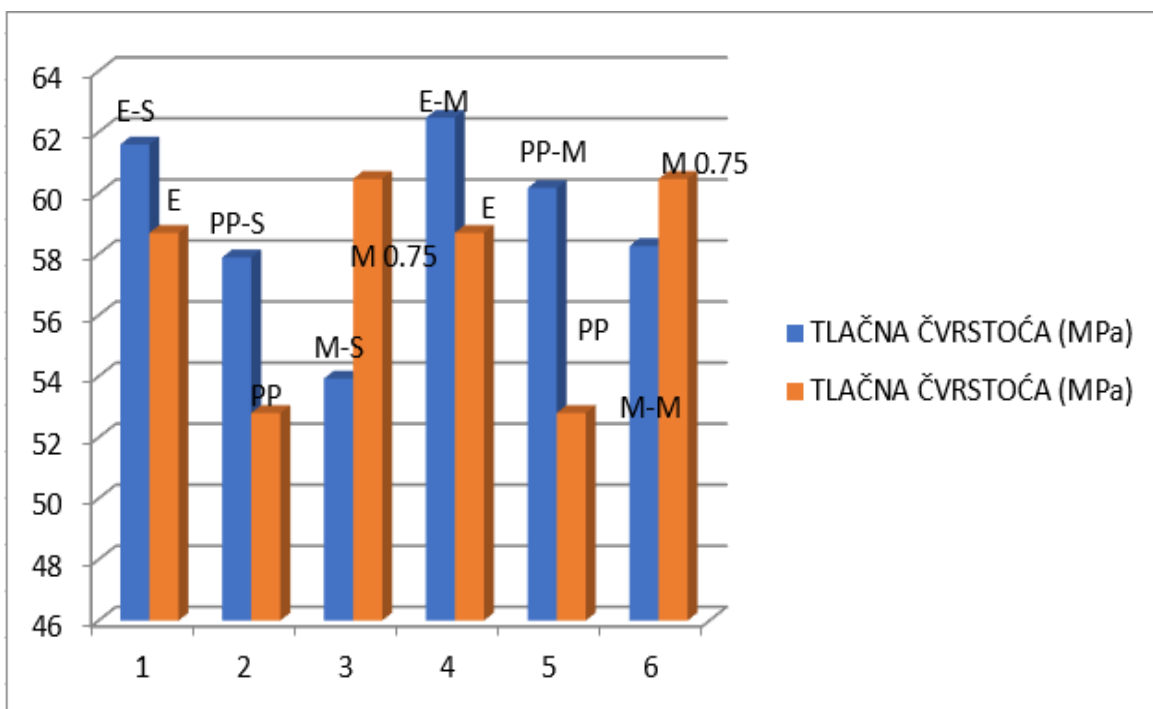
Iz dobivenog *Grafa 5.1.5.2* možemo doći do zaključka kako najbolju čvrstoću postiže E-M mješavina, no ne i previše veću od E-S mješavine (razlika 1.5%). Mješavine s PP vlaknima su također pokazale dobru tlačnu čvrstoću odnosno mješavina PP-S je pokazala 94% tlačne čvrstoće kao E-S.

Mješavina PP-M čak 96% tlačne čvrstoće mješavine E-M, dok kod mješavine M-M taj postotak pada na 93%.



*Graf 5.1.5.2* Grafčki prikaz ovisnosti gustoće i tlačne čvrstoće

U *Grafu 5.1.5.2* je prikazan odnos gustoće i tlačne čvrstoće te prema izračunatom koeficijentu korelacije  $R=0,724$  potvrđeno je da beton veće gustoće postiže i veću tlačnu čvrstoću. Gdje je jedino odudaranje prikazano u mješavini M-S tj. mješavini s dodatkom silikatne prašine i jednokratnih maski za lice, gdje je mješavina pokazala relativno istu gustoću kao i ostatak mješavina no njena tlačna čvrstoća je manja od ostalih subjekata testiranja u odnosu na njenu gustoću.



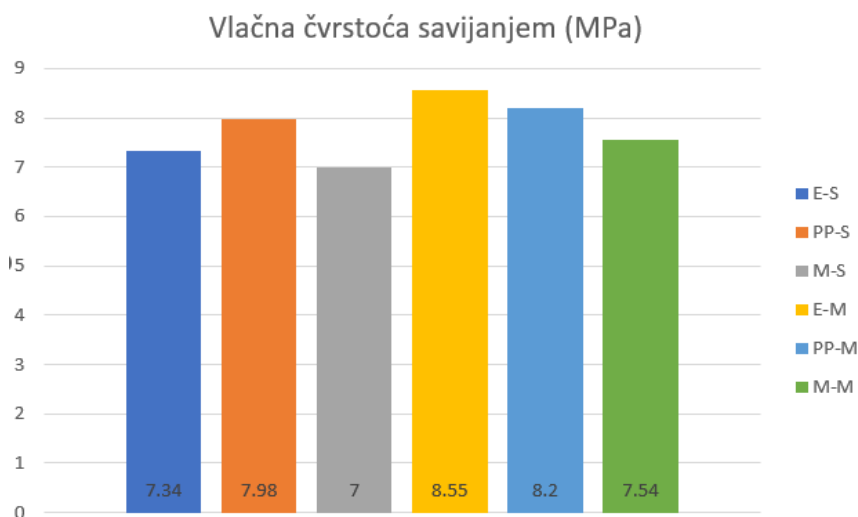
*Graf 5.1.5.3* Rezultati tlačne čvrstoće betona uspoređeni s rezultatima iz [5]

### 5.1.6 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem

Ispitivanje je provedeno metodom savijanja. U *tablici 5.5.6.1.* i na *grafu 5.1.6.1.* su dani rezultati.

Uzorak	Čvrstoća na savijanje (MPa)
E-S	7.34
PP-S	7.98
M-S	7,00
E-M	8.55
PP-M	8.2
M-M	7.54

*Tablica 5.1.6.1 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem*

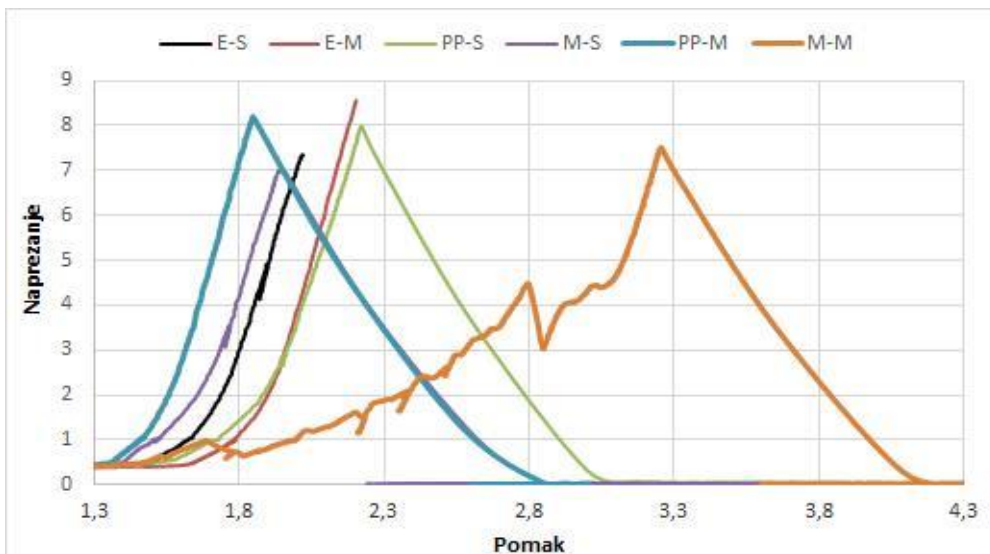


*Graf 5.1.6.1 Grafički prikaz rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem*

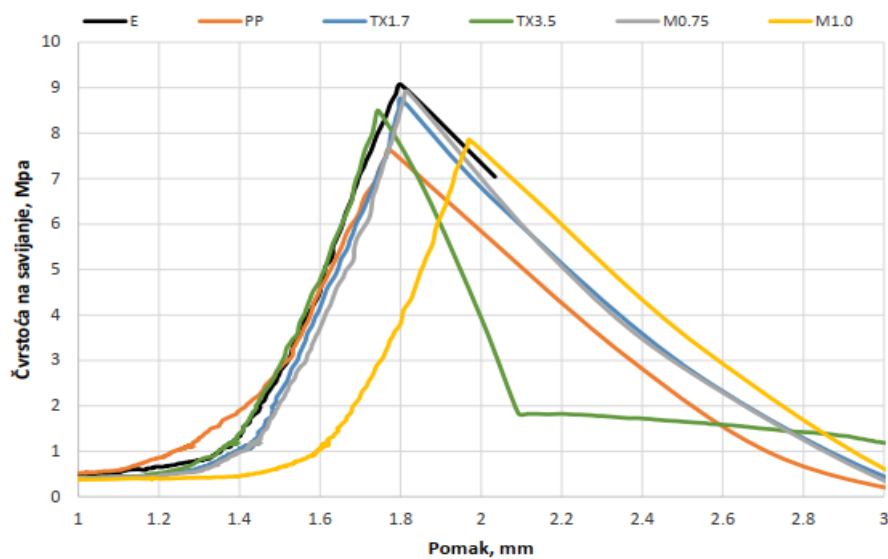
Za usporedbu čvrstoća kao referenta mješavina uzeta je E-S (etalonska mješavina s dodatkom silikatne prašine) u jednom slučaju, a u drugom slučaju mješavina E-M (etalonska mješavina s dodatkom metakolina). U slučaju sa silikatnom prašinom veću vlačnu čvrstoću u iznosu od 9%

je pokazala mješavina s PP-S vlaknima za beton, dok je mješavina M-S s dodatkom jednokratnih maski pokazala manju tj. iznosila je 95% čvrstoće E-S mješavine.

U slučajevima s mješavinama s dodatkom metakaolina najbolju vlačnu čvrstoću je pokazala upravo E-M mješavina dok su mješavine PP-M s dodatkom vlakana i mješavina M-M s dodatkom jednokratnih maski pokazale manju čvrstoću i to u iznosima od 96% od čvrstoće E-M mješavine za PP vlakna, i 88% gdje su dodatak bile jednokratne maske za lice.



Slika 5.1.6.2  $\sigma$ - $\delta$  dijagram



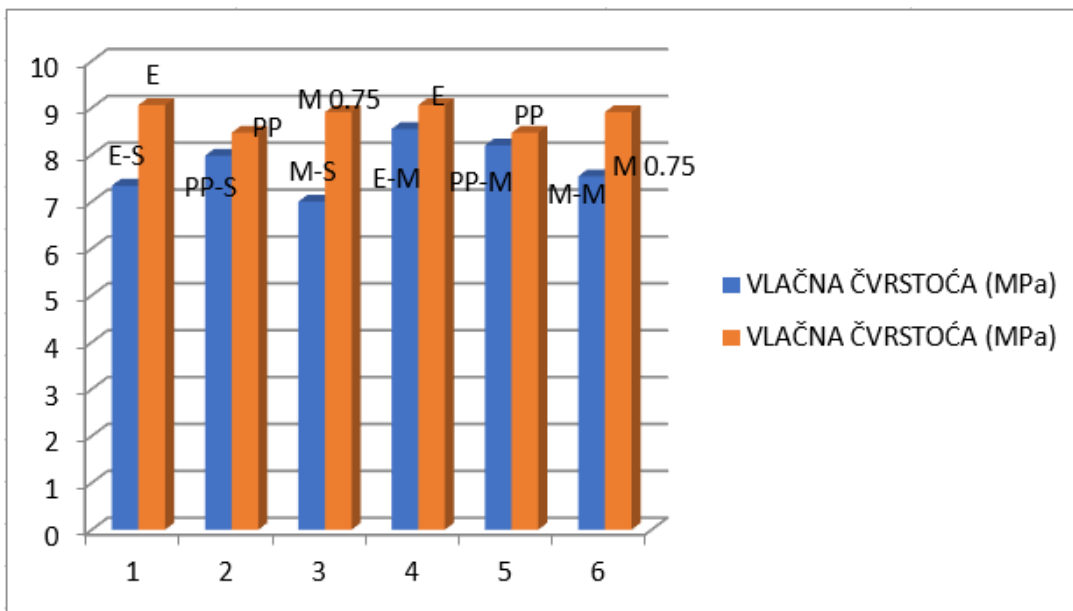
Slika 5.1.6.3  $\sigma$ - $\delta$  dijagram [5]

Na prikazanom *dijagramu 5.1.6.2* je usporedno sa mjerenjem savijanja prikazan i odnos naprezanje-pomak.

Te ispod istog je postavljen dijagram *Slika 5.1.6.3* dobiven u [5] radi usporedbe rezultata.

Prema dijagramu mješavine iz prošlog ispitivanja ostvarile su nešto bolje rezultate.

Dijagram prikazuje duktilnost svih mješavina te na ovome dijagramu se najbolje vidi utjecaj ojačanja za svaku mješavinu. Od uzoraka s dodatkom silikatne prašine mješavina s dodatkom PP vlakana i nakon loma ostala u komadu te neki period nosila opterećenje isto kao i M-S mješavina, kao i mješavine s dodatkom metakaolina.



Graf 5.1.6.4 Usporedba rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće s rezultatima iz [5]

### 5.1.7 Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti

Postupak ovog ispitivanja je dobiven indirektno te je cijeli pojašnjen u točki 4.4.7.

Za svaku mješavinu nakon što je beton očvrstnuo i uklonjen iz kalupa te nakon 28 dana njege, mjereno je vrijeme prolaska ultrazvučnog vala na tri uzorka po tri točke. Izračunata je srednja brzina prolaska vala te pomoću toga i dinamički modul elastičnosti. Rezultati mjerenja brzina su prikazani u *tablici 5.1.7.1.* i *grafu 5.1.7.1* gdje su i uspoređeni s rezultatima iz [5]. Dok su rezultati dinamičkog modula elastičnosti prikazani u *tablici 5.1.7.2* i *grafu 5.1.7.2* te uspoređeni s rezultatima iz [5] u *grafu 5.1.7.3.*

Prema tim podacima može se zaključiti kako su E-S mješavine kao i sa metakaolinom postigle najbolje rezultate, dok najniži dinamički modul ima mješavina PP-S tj. mješavina sa silikatnom prašinom i dodatkom PP vlakana za beton, te mješavina M-M, s dodatkom metakaolina i jednokratnih maski za lice.

U usporedbi s prethodnim istraživanjima, u ovom slučaju Diplomski rad Paula Šakić [5] po dobivenim rezultatima dolazi se do zaključka da se rezultati mogu još poboljšati. Razlog manje brzine ultrazvučnih valova je zarobljeni zrak u betonu jer se zna da je njegova brzina kroz zrak manja od brzine kroz beton. No s obzirom da su rezultati sadržaja zraka bolji od rezultata u [5] odnosno u tom ispitivanju rezultati sadržaja zraka su bili 5,2% za mješavinu M0.75, 6,5% za E mješavinu te čak 7,5% za PP mješavinu, dok u ovom ispitivanju ti postotci su znatno manji, odnosno variraju gdje su rezultati za E-S mješavinu 2,5%, E-M mješavinu 4%, PP-S mješavinu 3,4%, PP-M mješavinu 4,3%, te naposljetku M-S mješavinu 2,8% i M-M mješavinu 3%, možemo doći do zaključka kako se ti rezultati mogu i dalje poboljšati.

Rezultati ovog ispitivanja brzine ultrazvučnog vala u usporedbi s [5] za E-S mješavinu koja je uspoređena s E mješavinom iz [5] su bolji za otprilike 1%, što nije veliki postotak, no ipak kako se teži poboljšanju rezultati ne bi trebali biti zadovoljavajući.

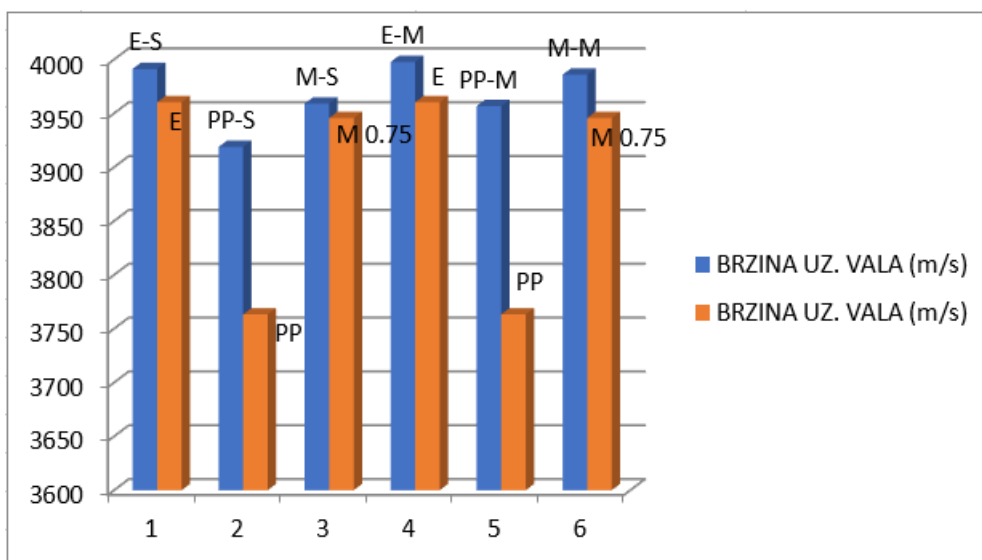
Kada se gleda dinamički modul elastičnosti, rezultati E-S mješavine i E mješavine iz [5] su bolji za otprilike 2% što također pokazuje poboljšanje mješavina ali ne preveliko. Najbolje poboljšanje je vidljivo kod mješavina s udjelom PP vlakana za beton, gdje su vidljivi rezultati

bolji za čak 10% u slučaju s PP-S mješavinom, te čak 12% u slučaju usporedbe PP mješavine s PP-M mješavinom.

Rezultati srednjih brzina ultrazvučnog vala su dani u *Tablici 5.1.7.1*. Te su isti uspoređeni s rezultatima iz [5] te prikazani u *Grafu 5.1.7.1*. S obzirom da je za brzinu ultrazvučnog vala između 3500 – 4500 m/s prema [12] kvaliteta betona ocjenjena kao dobra, sve mješavine ulaze u tu skupinu.

Uzorak	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
brzina ultrazvučnog vala (m/s)	3991.17	3918.74	3959.02	3997.71	3956.66	3985.87

*Tablica 5.1.7.1 Rezultati mjerenja brzine ultrazvučnog vala*

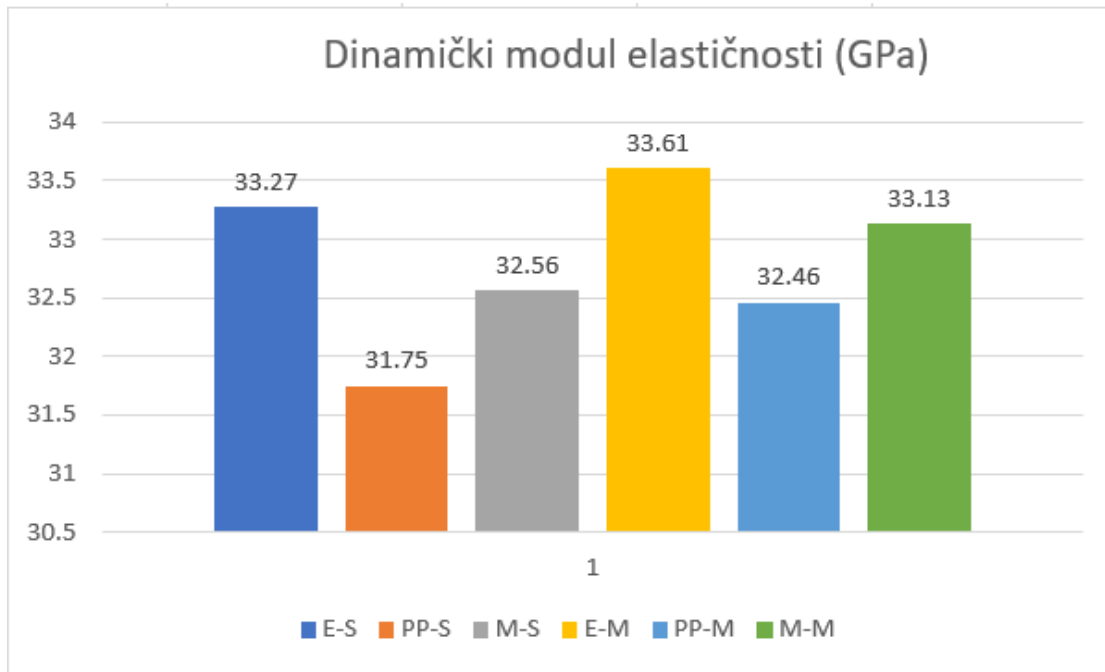


*Graf 5.1.7.1 Usporedba rezultata mjerenja brzine ultrazvučnog vala s rezultatima iz [5]*

Pomoću dobivenih srednjih brzina ultrazvučnih valova na uzorcima dobiven je i dinamički modul elastičnosti, čiji su rezultati prikazani u *Tablici 5.1.7.2* te *Grafu 5.1.7.2*. Također dat je i grafički prikaz usporedbe dinamičkog modula elastičnosti s rezultatima iz [5] te su isti prikazani u *Grafu 5.1.7.3*.

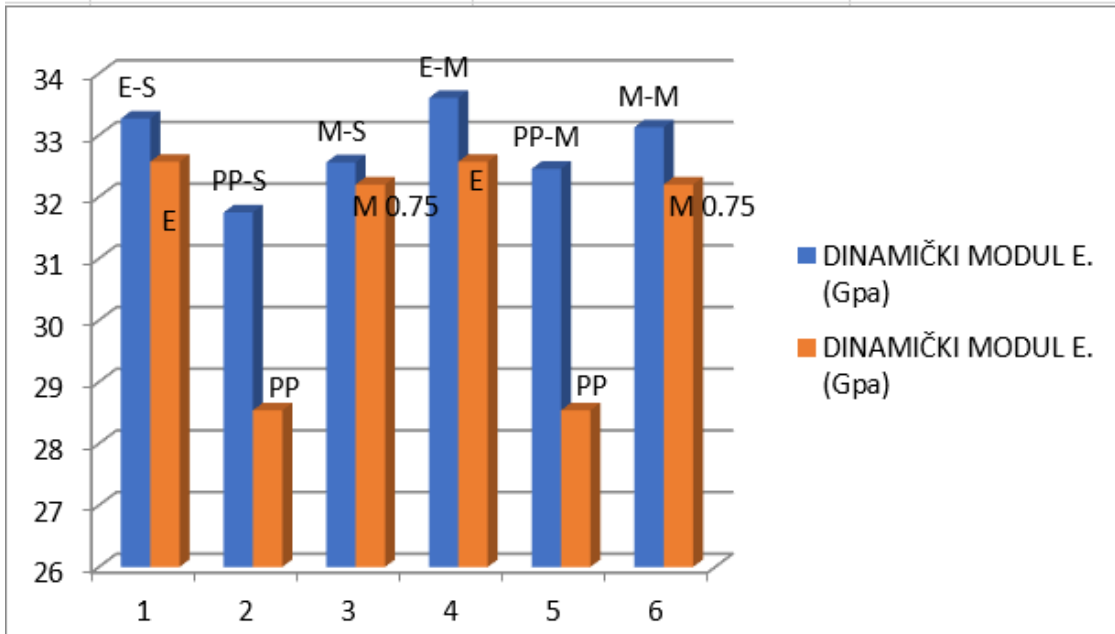
Uzorak	E-S	PP-S	M-S	E-M	PP-M	M-M
Dinamički modul elastičnosti (GPa)	33.27	31.75	32.56	33.61	32.46	33.13

Tablica 5.1.7.2 Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti



Graf 5.1.7.2 Grafički prikaz rezultata dinamičkog modula elastičnosti





Graf 5.1.7.3 Usporedba rezultata dinamičkog modula elastičnosti s rezultatima iz [5]

S obzirom na grafički prikaz usporedbe dinamičkog modula elastičnosti iz ovog istraživanja te istih tih rezultata iz [5], vidljivo je kako su sve mješavine iz ovog ispitivanja postigle veći odnosno bolji dinamički modul elastičnosti bez ikakvih iznimki, a pogotovo slučaj s PP mješavinama kako je već navedeno, i u slučaju sa silikatnom prašinom i s metakaolinom, gdje je  $E_{cd}$  u ovome slučaju veći čak do 12%.

## 6. Zaključak

21. stoljeće je uz mnoge tehnološke promjene i napretke donijelo i veliki problem ekološkog uništavanja. Što u pogledu otpada koji se više ne razrađuje jednako brzo kao otpad u stoljećima ranije, a tome je pridonosi najviše proizvodnja plastike, isto tako postoji i problem stakleničkih plinova koji se stvaraju većinom proizvodnjom moderne industrije.

Građevinska industrija također pridonosi tome trendu jer koristi i iscrpljuje prirodne resurse a proizvodnjom npr. cementa otpušta veliku količinu stakleničkih plinova u atmosferu.

Cilj je ekološki dizajn koji nalazi optimalnu sredinu odnosno zadovoljava ekološke standarde a isto tako udovoljava i potrebama i željama potrošača, odnosno ekološki dizajn bi trebao imati proizvod koji ima kvalitetu koja se zahtjeva već nekim normama a isto tako pozitivan učinak na okoliš.

U ovome radu su istraživana svojstva betona sa dodatkom medicinskog otpada. Kao medicinski otpad korištene jednokratne maske za lice koje su u današnje vrijeme pandemije jedan od gorućih problema gomilanja otpada iz razloga što sadrže plastiku i treba se pronaći zeleno rješenje za njihovu reciklažu.

Otpad bi trebao kao dodatak mješavini betona služiti kao ojačanje betona. Ovakva vrsta betona je već bila provedena, te se u ovom istraživanju za polaznu točku uzelo neke rezultate iz [5] jer u ovim mješavinama za u tri mješavine se dodavala silikatna prašina drugog proizvođača, a za druge tri mješavine metakaolin. Za svaku od ove dvije vrste mješavina s dodacima su napravljene 3 mješavine, gdje jedna je referentna mješavina bez ojačanja, a u drugu su dodana PP vlakna za beton te finalna treću gdje je dodan medicinski otpad odnosno jednokratne maske za lice. Za sve mješavine se koristila istu količinu cementa, veziva, jednake količine i jednako granulometrijski raspoređen agregat, te jednake količine superplastifikatora.

U svježem stanju betona ispitana je temperatura istog, količina zraka u betonu te slijeganje.

U očvrslom stanju su ispitane gustoća betona kao i njegova mehanička svojstva u koje se ubrajaju: tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća savijanjem te dinamički modul elastičnosti.

Nakon provedenih ispitivanja može se zaključiti:

- Rezultati slijeganja uzoraka su dobiveni u rasponu od 20-80mm što je svrstalo sve uzorke u prvi i drugi razred konzistencije (S1,S2).
- Udio zraka u betonu je dobiven u rasponu 2,5-4,3%, što su veoma zadovoljavajući rezultati, jer količina zraka i pora u betonu direktno utječe na sva njegova mehanička svojstva kao i svojstva trajnosti istog. Rezultati u usporedbi s [5] su znatno bolji iz razloga što u [5] su dobiveni rezultati u rasponu od 5,2% do čak 10,5%.
- Prema rezultatima ultrazvuka (gotovo 4000 m/s), svi ispitani betoni spadaju u kategoriju dobri.
- Tlačna čvrstoća uzoraka varira od 53,93 MPa do 62,47 MPa, gdje je najniži rezultat pokazala M-S mješavina tj. mješavina s dodatkom jednokratnih maski za lice odnosno jedina je imala rezultate od samo 87,5% tlačne čvrstoće od mješavine E-S. Dok je zatim nižu tlačnu čvrstoću imala mješavina sa silikatnom prašinom i PP vlaknima za beton, no ona je pokazala dosta dobre rezultate odnosno čak 94% od tlačne čvrstoće etalonske mješavine sa silikatnom prašinom. A najbolje rezultate je prikazala E-M mješavina s metakaolinom koja je imala poboljšanje tlačne čvrstoće od 1.5% u odnosu na referentnu mješavinu (E-S mješavina).
- Prirastom gustoće postoji i prirast tlačne čvrstoće gdje je jedina iznimka mješavina M-S koja ima gustoću u željenom rasponu no ima manju tlačnu čvrstoću od željenog raspona
- Vlačna čvrstoća savijanjem je u rasponu od 7-8,55 MPa gdje je najbolju čvrstoću pokazala E-M mješavina odnosno etalonska mješavina s dodatkom metakaolina. U  $\sigma$ - $\delta$  dijagramu vidljiv je efekt ojačanja.

U prosjeku su bolje rezultate što se tiče mehaničkih svojstava betona dale mješavine s dodatkom metakaolina, Promjena tipa silikatne prašine dala je bolje rezultate u odnosu na [5] u svim testiranjima, osim u slučaju vlačne čvrstoće, gdje su rezultati bili niži u ovome istraživanju u usporedbi s [5].

U konačnici najbolje rezultate u prosjeku su postizale E-S i E-M mješavine, dok su onda za njima mješavine s PP vlaknima za beton te naposljetku niže rezultate su postizale mješavine s jednokratnim maskama za lice. Međutim poznato je da ojačanja u vidu vlakana snižavaju mehaničke karakteristike betona ali povećavaju duktilnost. Temeljem dobivenih rezultata bi trebalo obaviti još istraživanja s primjenom maski kao ojačanja kako bi se ti rezultati doveli do željenih normi te naposljetku kako bi se i riješilo goruće pitanje upotrebe medicinskog otpada u građevini odnosno njegove reciklaže na taj način.

## 7.Literatura

- [1] Alen Harapin, Jure Radnić, Nikola Grgić, Marija Smilović Zulim, Marina Sunara, Ante Buzov : Osnove betonskih konstrukcija, interna skipta, skripta, 2020.
- [2] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=7337> (Pristupljeno 27.06.2022.)
- [3] <http://www.croatiacement.hr/hr/cement-proizvodni-proces.php> (Pristupljeno 27.06.2022.)
- 4] Velimir Ukrainczyk: Beton, struktura, svojstva, tehnologija, ALCOR, 1994.
- [5] Šakić Paula: Utjecaj dodatka tekstilnog i medicinskog otpada na mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona, Sveučilište u Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, diplomski rad, Split 2022.
- [6] [https://www.yahoo.com/lifestyle/disposable-masks-450-years-to-decompose-130042176.html?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly96aW1vLmRuZXZuaWsuahIv&guce\\_referrer\\_sig=AQAAAGD\\_hLYpdCgk2IEfeiR6kjNUdeaHfiuf48xBa0oBFv6gS2frVXaOKPBnqFRqW4AOfYWgpxn\\_6TAgNvZKPsdYXTsNazuC\\_XViC9u-GoQiJow0l41l1dtJJoi2fm0ZDB5NLDzUmHBO63Y6hGmOnNwT56H9Estrg700kG\\_Kp-KWmZaA](https://www.yahoo.com/lifestyle/disposable-masks-450-years-to-decompose-130042176.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly96aW1vLmRuZXZuaWsuahIv&guce_referrer_sig=AQAAAGD_hLYpdCgk2IEfeiR6kjNUdeaHfiuf48xBa0oBFv6gS2frVXaOKPBnqFRqW4AOfYWgpxn_6TAgNvZKPsdYXTsNazuC_XViC9u-GoQiJow0l41l1dtJJoi2fm0ZDB5NLDzUmHBO63Y6hGmOnNwT56H9Estrg700kG_Kp-KWmZaA) (Pristupljeno 28.06.2022.)
- [7] M.Idrees, A.Akbar, A.M.Mohamed, D.Fathi, F.Saeed : Recycling of waste facial masks as a constructio material, a step toward sustainability, Materials 2022, 15(5), 1810; <https://doi.org/10.3390/ma15051810>, (article published online 28. Feb 2022.)
- [8] S.Parija, D.K.Mishra, C. K Y Leung : Preliminary results of concrete with shredded disposable face masks, Conference: 35th Indian Engineering Congress (IEC) - Engineering for Self Reliance and Sutainable GoalsAt: OnlineVolume: 35 (published Dec 2020)
- [9] <https://www.master-builders-solutions.com/en-gb/products/masterglenium> (Pristupljeno 28.06.2022.)
- [10] <https://www.croatiacement.hr/hr/vrste-cemenata-opce-namjene.pdf> (Pristupljeno 14.07.2022.)

[11] <https://www.master-builders-solutions.com/en-caribbean/products/masterroc>

(Pristupljeno 14.07.2022.)

[12] <https://civiconcepts.com/blog/ultrasonic-pulse-velocity-test> (Pristupljeno 30.08.2022.)