

# PRIMJENA INDUSTRIJSKE OTPADNE PVC PILJEVINE U MORTU I BETONU

## USE OF INDUSTRIAL WASTE PVC SAWDUST IN MORTAR AND CONCRETE

Matei Cukarić\*, Natalija Bede\*, Silvija Mrakovčić\*

### Sažetak

*U radu je istraživana mogućnosti primjene industrijske otpadne PVC piljevine kao djelomične zamjene za pijesak u mortu i betonu. U tu svrhu izrađene su mješavine standardnog cementnog morta i običnog betona u kojima je udio pijeska zamijenjen različitim volumnim udjelima PVC piljevine. Rezultati ispitivanja ukazuju na smanjenje obradivosti mješavina te trend smanjenja tlačne i vlačne čvrstoće savijanjem povećanjem udjela PVC piljevine u odnosu na referentni beton.*

**Ključne riječi:** *otpadna PVC piljevina, zamjena pijeska, svojstva morta i betona*

### Abstract

*The paper investigates the possibility of using industrial waste PVC sawdust as partial replacement for sand in mortar and concrete. For this purpose, mixtures of standard cement mortar and ordinary concrete were prepared in which the proportion of sand was replaced by different volume fraction of PVC sawdust. The test results show a decrease in the workability of mixtures and a decreasing trend in compressive and bending tensile strength with the increase of PVC sawdust in comparison to the reference concrete.*

**Key words:** *waste PVC sawdust, sand replacement, mortar, and concrete properties*

---

\* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

E-mail: [mcukaric@student.uniri](mailto:mcukaric@student.uniri), [natalija.bede@uniri.hr](mailto:natalija.bede@uniri.hr), [silvija.mrakovcic@uniri.hr](mailto:silvija.mrakovcic@uniri.hr)

## 1. Uvod

U današnje vrijeme rastuće industrije proizvode se velike količine otpadnih materijala koji se adekvatno ne zbrinjavaju te na taj način uvelike onečišćuju okoliš. Jedan od takvih materijala koji uvelike onečišćuje rijeke, kopna, mora i oceane je plastika. Sam materijal je lagan, savitljiv, dugotrajan, dobar izolator, otporan na vlagu i uz to vrlo jeftin. U posljednjih nekoliko godina naglašava se porast uporabe poli-vinil-klorida, poznatijeg pod kraticom PVC, koji se u velikoj mjeri koristi prvenstveno u građevinskoj industriji u proizvodnji stolarije, krovnih i hidroizolacijskih membrana te raznih cijevnih sustava [1]. Pri proizvodnji PVC stolarije nastaju velike količine otpada, tzv. PVC piljevina, čije zbrinjavanje u RH nije adekvatno riješeno. U zadnje vrijeme znanstvenici u cijelom svijetu veliku pažnju pridaju istraživanjima s otpadnim materijalima koji bi se mogli primijeniti kao djelomična zamjena standardnim sastojcima u proizvodnji morta i betona. Jedan od takvih materijala je i PVC piljevina, što je dokumentirano u provedenim istraživanjima [1-5].

Osnovna ideja ovoga rada bila je istražiti mogućnosti primjene PVC piljevine kao djelomične zamjene za pijesak u mortu i betonu koji su danas najrasprostranjeniji građevinski materijali, a kako bi se smanjila količina nezbrinutog i po okoliš opasnog otpada, korištenje prirodnih resursa i troškovi.

U tu svrhu, izrađene su različite mješavine standardnog cementnog morta i običnog betona u kojima je udio pijeska zamijenjen različitim udjelima PVC piljevine. U mješavinama cementnog morta je 15% i 30% volumena pijeska zamijenjeno PVC piljevinom. Pri izradi betonske mješavine 15% volumena pijeska se zamijenilo s udjelom PVC piljevine. Na svježim mješavinama cementnog morta i betona ispitane su gustoća i konzistencija metodom rasprostiranja kao mjera obradivosti, dok je za očvrslje uzorke ispitana tlačna i vlačna čvrstoća savijanjem.

Na temelju dobivenih rezultata te njihove usporedbe s referentnim mješavinama bez dodatka PVC piljevine u nastavku rada su prikazani rezultati te zaključak o mogućnosti primjene PVC piljevine u izradi mortova i betona s obzirom na dobivene rezultate ispitivanja.

## 2. Materijali

U eksperimentalnom dijelu rada, prilikom izrade mješavina cementnog morta i betonskih mješavina korišten je cement CEM II/A-LL 42,5 R Holcim Lumen istoimenog proizvođača Holcim (Hrvatska) d.o.o., a u skladu s normom HRN EN 197-1 [6]. Osnovna fizikalna i kemijska svojstva tog cementa prikazana su u Tablici 1 [7].

U pripremi mješavina cementnog morta korištene su dvije vrste pijeska, CEN standardni pijesak [8] i pijesak iz tvrtke Holcim (Hrvatska) d.o.o., čija gustoća iznosi  $2600 \text{ kg/m}^3$ . Za izradu betonskih mješavina, osim pijeska iz tvrtke Holcim (Hrvatska) d.o.o. korišten je i krupni agregat istog proizvođača maksimalnog zrna  $16 \text{ mm}$  i gustoće  $2750 \text{ kg/m}^3$ .

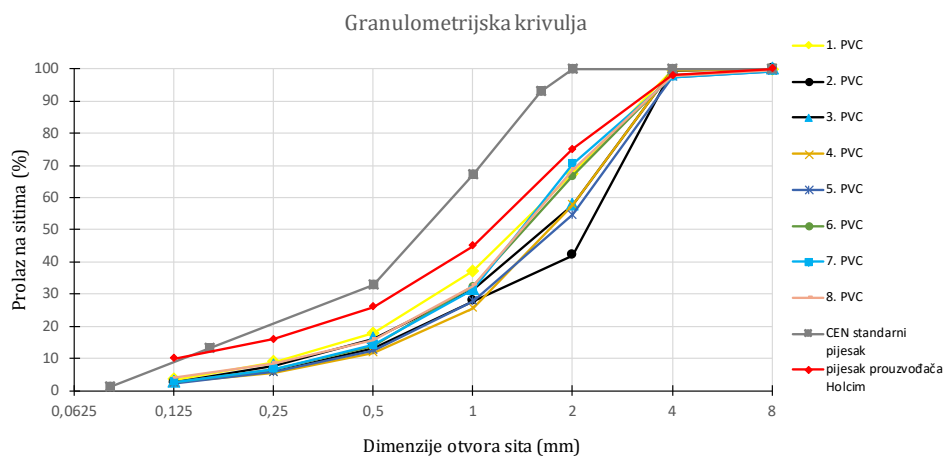
Kao zamjena za pijesak, prilikom izrade uzoraka cementnog morta te prilikom izrade betonskih uzoraka korišten je otpadni materijal nastao prilikom proizvodnje PVC stolarije, tzv. PVC piljevina (Slika 1). Prije pripreme mješavina, da bi se utvrdila veličina čestica PVC piljevine, izdvojen je reprezentativni uzorak materijala te prosijan na sitima otvora  $4, 2, 1, 0,5, 0,25$  i  $0,125 \text{ mm}$ . Količina materijala za prosijavanje iznosila je  $300 \text{ g}$  a postupak prosijavanja ponovljen je više puta. Na Slici 2 prikazane su granulometrijske krivulje PVC piljevine za ukupno 8 prosijanih uzoraka, kao i granulometrijski sastav pijeska proizvođača Holcim te CEN standardnog pijeska [8]. Iz prikazanih granulometrijskih krivulja vidljivo je da je većina čestica PVC piljevine maksimalne veličine do  $4 \text{ mm}$ . Time je potvrđeno da, obzirom na veličinu zrna, PVC piljevina može zamijeniti dio pijeska. Uz navedeno, određena je i nasipna gustoća PVC piljevine i ona iznosi  $0,0989 \text{ g/cm}^3$ .

**Tablica 1.** Fizikalna i kemijska svojstva cementa [7]

Svojstvo	JM	CEM II/A-LL 42,5 R	Uvjet norme
Fizikalna svojstva			
Postojanost volumena	mm	0	$\leq 10$
Početak vezivanja	min	160	$\geq 60$
Tlačna čvrstoća na 2 dana	MPa	27	$\geq 20$
Tlačna čvrstoća na 28 dana	MPa	51	$\geq 42,5 \leq 62,5$
Kemijska svojstva			
SO <sub>3</sub>	%	3	$\leq 4$
Cl	%	0,0123	$\leq 0,1$



*Slika 1. Izgled PVC piljevine*



*Slika 2. Granulometrijski sastav pijeska i PVC piljevine*

### 3. Mješavine cementnog morta

U Laboratoriju za materijale ukupno je spravljeno 7 mješavina cementnog morta: jedna referentna mješavina oznake CM-REF (bez PVC piljevine i sa CEN standardnim pijeskom), tri mješavine s 15% PVC piljevine (oznake CM-PVC 15), od čega dvije mješavine sa standardnim pijeskom, a jedna mješavina s pijeskom proizvođača Holcim te tri mješavine s 30%

PVC piljevine (oznake CM-PVC 30), od čega također dvije mješavine sa standardnim pijeskom, a jedna mješavina s Holcim pijeskom. Oznaka svake mješavine sadrži podatke o zamjenskom udjelu PVC piljevine u mješavini. Na primjer, kod mješavine oznake CM-PVC 15, od ukupnog volumena standardnog pijesaka ili pijeska proizvođača Holcim u mješavini je 15% volumena zamijenjeno PVC piljevinom. Detaljnije informacije o pripremi i izradi mješavina može se pronaći u [9].

Sve mješavine cementnog morta spravljene su i ispitane u skladu s normom HRN EN 196-1 [10]. To znači da je za spravljanje svake mješavine omjer masa cementa, pijeska (i PVC-piljevine ukoliko se dodaje mješavini) i vode bio 1:3:0,5. Kako bi se ispitala tlačna čvrstoća i vlačna čvrstoća na savijanje, za svaku mješavinu napravljen je jedan set uzoraka od ukupno 3 prizme standardnih dimenzija 40 mm × 40 mm × 160 mm. Uzorci mješavina spravljenih sa CEN standardnim pijeskom ispitani su nakon 28 dana starosti, dok su uzorci s Holcim pijeskom ispitani pri starosti od 7 dana.

### **3.1. Svojstva svježe mješavine cementnog morta**

Nakon završetka procesa miješanja svakoj mješavini svježeg cementnog morta izmjerena je temperatura, gustoća te konzistencija metodom rasprostiranja prema normi HRN EN 1015-3 [11]. Za određivanje konzistencije korišten je automatski stolić za potresanje prikazan na Slici 3.



**Slika 3.** Uređaj za određivanje konzistencije svježe mješavine cementnog morta: stolić za potresanje

Rezultati ispitivanja prikazani su u Tablici 2. Na temelju izmjerenih rezultata vidljivo je da dodatak PVC piljevine značajno utječe na smanjenje obradivosti mješavine cementnog morta. Za sve mješavine s dodatkom piljevine izmjereno je manje rasprostiranje u odnosu na referentnu mješavinu (Tablica 2). Na Slici 4 vizualno se može vidjeti smanjenje obradivosti, odnosno smanjenje promjera mješavine kao mjere konzistencije rasprostiranjem s povećanjem udjela PVC piljevine. Dodatno, problem loše obradivosti mješavina s dodatkom PVC piljevine manifestirao se u otežanoj ugradnji svježeg morta u kalupe već kod mješavina s 15% PVC piljevine te naročito kod mješavina s 30% PVC piljevine. Razlog smanjene obradivosti mješavina s PVC piljevinom može biti u tome da zbog sila adhezije čestice PVC piljevine dio vode vežu na sebe te ne dozvoljavaju reakciju ukupne količine vode s cementom. U Tablici 2 prikazani su i rezultati ispitivanja gustoće svježih mješavina.

**Tablica 2.** Rezultati ispitivanja svježih mješavina cementnog morta

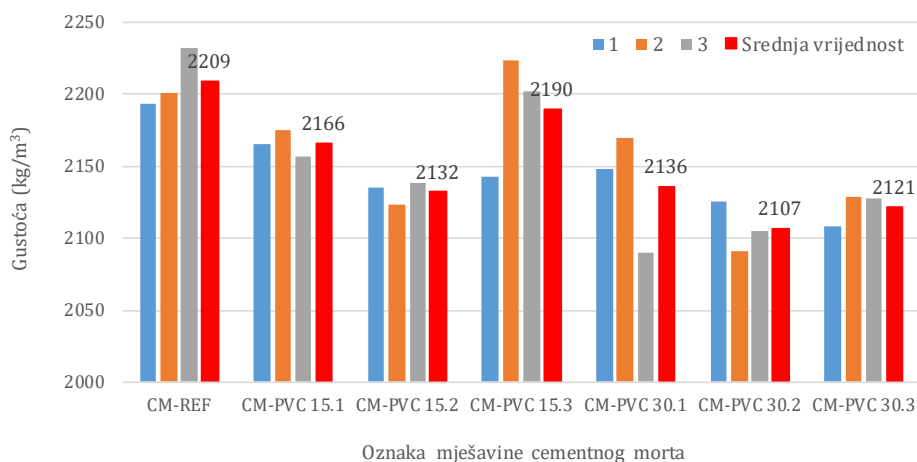
Mješavina	Korišteni pijesak	Volumni udio PVC-a (%)	Maseni udio PVC-a (g)	Temp. (° C)	Rasprostiranje (mm)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )
CM-REF	CEN	0	0	22,5	190	-
CM-PVC 15.1	CEN	15	12,2	23,6	145	2201
CM-PVC 15.2	CEN	15	12,2	24,3	155	2168
CM-PVC 15.3	Holcim	15	12,2	23,7	134	2189
CM-PVC 30.1	CEN	30	24,5	23,5	124	2174
CM-PVC 30.2	CEN	30	24,5	23,9	120	2116
CM-PVC 30.3	Holcim	30	24,5	23,5	177	2155



**Slika 4.** Uzorci cementnog morta prilikom ispitivanja konzistencije metodom rasprostiranja CM REF, CM-PVC 15 i CM-PVC 30 (s lijeva na desno)

## 4. Svojstva očvrsllog cementnog morta

Neposredno prije ispitivanja čvrstoće, cementne prizme su izvađene iz bazena s vodom te je sa njih odstranjena površinska vlaga. Nakon toga su izmjerene dimenzije i masa svih prizmi te izračunata gustoća očvrsljih uzoraka. Na Slici 5 prikazani su rezultati ispitivanja za svaki uzorak prizme (oznake 1, 2, i 3) zajedno sa srednjom vrijednošću gustoće za svaku mješavinu.



**Slika 5.** Rezultati ispitivanja gustoće očvrsllog cementnog morta

Za referentnu mješavinu CM-REF postignuta je najveća gustoća i ona iznosi  $2209 \text{ kg/m}^3$ . Mješavine s udjelom PVC piljevine pokazuju značajno smanjenje gustoće u odnosu na mješavinu CM-REF te neznatno smanjenje gustoće povećanjem udjela PVC piljevine ukoliko se međusobno usporede mješavine s različitim udjelom PVC piljevine.

### 4.1. Čvrstoća savijanjem

Ispitivanje čvrstoće cementnog morta, spravljenih od Holcim pijeska, provedeno je na uzorcima oznake CM-PVC 15.3 i CM-PVC 30.3, starim 7 dana. Ispitivanje je provedeno sukladno normi HRN EN 196-1 [10] u uređaju za ispitivanje savojne čvrstoće cementnog morta s mjernom dozom kapaciteta 15 kN (Slika 6, lijevo). Uzorci oznaka CM-REF, CM-PVC 15.1, CM-PVC 30.1, CM-PVC 15.2 i CM-PVC 30.2 spravljeni s CEN standardnim pijeskom ispitivani su pri starosti od 28 dana. Dodatno, primijenjene su dvije metode ispitivanja na dva različita uređaja. Uzorci oznaka CM-REF, CM-PVC 15.1 i CM-PVC 30.1 ispitani su metodom kontrole sile, a sve u skladu s normom HRN EN 196-1, dok su uzorci oznake CM-PVC 15.2 i CM-



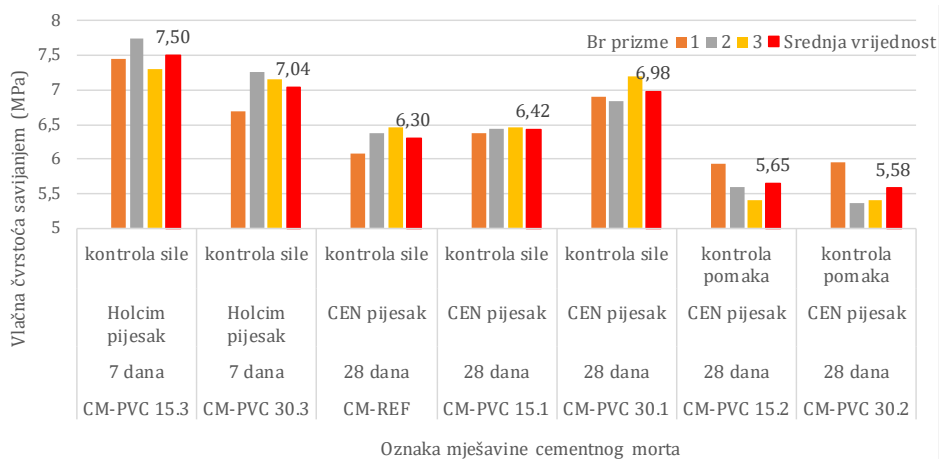
PVC 30.2 ispitivani na uređaju s mjernom dozom kapaciteta 300 kN (Slika 6, desno) metodom kontrole pomaka. Za svaki ispitani uzorak je zabilježena maksimalna sila pri slomu te izračunata vlačna čvrstoća savijanjem prema izrazu danom u normi HRN EN 196-1 [10].



*Slika 6. Uređaj za ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem metodom sile (lijevo) i metodom pomaka (desno)*

Na Slici 7 dana je usporedba pojedinačnih rezultata ispitivanja za svaku prizmu (oznake 1, 2 i 3) te srednja vrijednost vlačne čvrstoće savijanjem dobivena po mješavini. Rezultati ispitivanja dobiveni metodom kontrole sile na uzorcima starosti 7 dana pokazuju smanjenje čvrstoće povećanjem udjela PVC piljevine, odnosno, vlačna čvrstoća savijanjem izmjerena na uzorcima CM-PVC 15.3 je veća od one dobivene ispitivanjem uzoraka CM -PVC 30.3 za otprilike 7%. Uzorci ispitani nakon 28 dana pokazuju obratni trend; čvrstoća uzorka s 30% PVC piljevine veća je za otprilike 9% u odnosu na čvrstoću uzorka s 15% PVC piljevine. Nasuprot tome, rezultati ispitivanja metodom kontrole pomaka ne pokazuju znatnu razliku vlačne čvrstoće savijanjem bez obzira na udio PVC piljevine. Isto tako, vidljiva je razlika u vrijednostima čvrstoće dobivenim metodom kontrole sile i metodom kontrole pomaka. Za uzorak CM-PVC 15 vlačna čvrstoća savijanjem dobivena metodom kontrole pomaka je manja za 12% od čvrstoće mjerene metodom kontrole sile. Također, za uzorak CM-PVC 30 vidljivo je kako je čvrstoća mjerena metodom kontrole pomaka manja za 20% od čvrstoće mjerene metodom kontrole sile. Naveden razlike mogu biti posljedica primjene različitih metoda ispitivanja te različitih uređaja i kapaciteta njihovih mjernih doza.



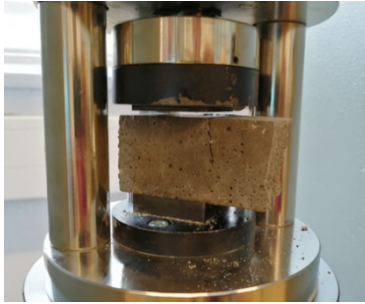


**Slika 7.** Usporedba vlačne čvrstoće savijanjem mješavina cementnog morta

Vrijednost vlačne čvrstoće savijanjem za obje mješavine cementnog morta s PVC piljevinom za uzorke starosti 7 dana (oznake CM-PVC 15.3 i CM-PVC 30.3) veća je u odnosu na uzorke starosti 28 dana (oznake CM-PVC 15.1, CM-PVC 30.1, CM-PVC 15.2 i CM-PVC 30.2). To je kontradiktorno s općepoznatim saznanjima o razvoju čvrstoće cementnih kompozita proporcionalno povećanju starosti uzorka. Dobiveni se rezultati mogu pripisati upotrebi različitih vrsta agregata u ispitnim mješavinama. Naime, za spravljanje uzoraka ispitanih pri starosti od 7 dana korišten je pijesak proizvođača Holcim Hrvatska d.o.o. koji je po svom sastavu drobljeni vapnenac čija je posmična čvrstoća između cementne paste i čestica pijeska veća u odnosu na CEN standardni pijesak koji je sastavljen od okruglih čestica silikatnog sastava.

#### 4.2. Tlačna čvrstoća

Nakon ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem, dobivene polovice prizmi ispitane su na tlak korištenjem uređaja za ispitivanje čvrstoće cementnog morta s mjernom dozom kapaciteta 600 kN (Slika 8) prema normi HRN EN 196-1 [10]. Kao i kod ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem na uzorcima CM-PVC 15.3 i CM-PVC 30.3 spravljenim s Holcim pijeskom, ispitana je tlačna čvrstoća na 7 dana starosti, dok je tlačna čvrstoća na 28 dana starosti ispitana na svim preostalim uzorcima. Za svaki uzorak je vizualno analiziran oblik sloma (Slika 9), zabilježena maksimalan sila pri slomu te izračunata tlačna čvrstoća sukladno izrazu danom u normi HRN EN 196-1 [10].

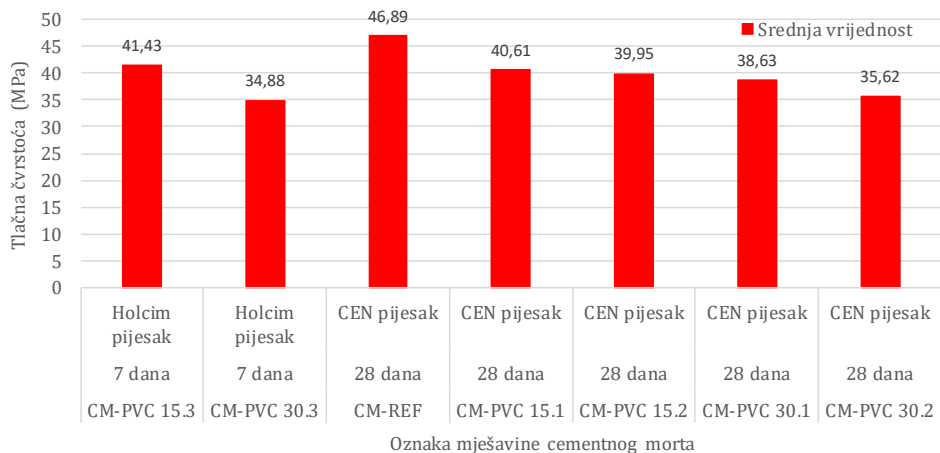


**Slika 8.** Ispitivanje tlačne čvrstoće cementnog morta



**Slika 9.** Tipični oblik sloma uzorka cementnog morta nakon ispitivanja na tlak

Na Slici broj 10 prikazana je usporedba srednje vrijednosti rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće svih uzoraka (po 6 uzoraka za svaku mješavinu). U odnosu na referentnu mješavinu CM-REF, sve mješavine cementnog morta spravljene sa standardnim pijeskom CM-PVC 15.1, CM-PVC 15.2, CM-PVC 30.1 i CM-PVC 30.2 pokazuju smanjenje tlačne čvrstoće i to redom za 15%, 17%, 21% i 32%. Bez obzira na starost ispitnog uzorka vidljiv je trend smanjenja tlačne čvrstoće s povećanjem udjela PVC piljevine u mješavinama. Ti rezultati su u skladu s rezultatima ispitivanja koji su dani u [3].



**Slika 10.** Usporedba tlačne čvrstoće mješavina cementnog morta

## 5. Betonske mješavine

Nakon ispitivanja prizmi od cementnog morta projektirane su dvije različite mješavine za izradu uzoraka betona: referentna mješavina (oznake B-REF) i mješavina s 15% volumnog udjela PVC piljevine (oznake B-PVC 15) gdje je udio sitnog agregata zamijenjen s 15% volumnog udjela PVC piljevine. Za spravljanje B-REF mješavine, omjer mase cementa, pijeska, frakcije 4/8 mm, frakcije 8/16 mm i vode bio je 1:2,108:0,937:1,64:0,5. Za spravljanje B-PVC 15 mješavine, omjer mase cementa, pijeska, PVC piljevine, frakcije 4/8 mm, frakcije 8/16 mm i vode bio je 1: 1,792: 0,152: 0,937: 1,64:0,5. Zbog poteškoća pri ugradnji cementnog morta s 30% PVC piljevine spravljena je samo betonska mješavina s 15% PVC piljevine. Za mješavinu s 15% volumnog udjela PVC piljevine (oznake B-PVC 15) napravljene su dvije serije uzoraka u dva odvojena postupka miješanja.

Na svježim betonskim mješavinama ispitana je gustoća i konzistencija metodom rasprostiranja prema normi HRN EN 12350-5 [12]. Kako bi se ispitala tlačna čvrstoća i vlačna čvrstoća savijanjem, za svaku je mješavinu izrađeno po tri uzoraka oblika kocke dimenzija 150 mm × 150 mm × 150 mm te šest uzoraka oblika prizme dimenzija 100 mm × 100 mm × 400 mm. Svojstva očvrstlog betona ispitana su na uzorcima koji su 28 dana njegovani u vodi temperature 20±2°C.

### 5.1. Svojstva svježeg betona

Na Slici 11 prikazan je rezultat ispitivanja konzistencije betona metodom rasprostiranja u skladu sa normom HRN EN 12350-5 [12]. Kod mješavine B-REF izmjeren je promjer rasprostiranjem od 365 mm, dok se kod mješavina s 15 % PVC piljevine rezultat ispitivanja ne smatra relevantnim zbog izrazito suhe konzistencije betonske mješavine. Neposredno prije ugradnje u kalupe određena je i gustoća svježeg betona i ona je iznosila 2364 kg/m<sup>3</sup> za mješavinu B-REF, dok je kod obje mješavine B-PVC 15 uočeno smanjenje gustoće na 2100 kg/m<sup>3</sup> u odnosu na referentnu mješavinu.



**Slika 11.** Ispitivanja konzistencije rasprostiranjem: mješavina B-REF (lijevo), mješavina B-PVC 15 (desno)

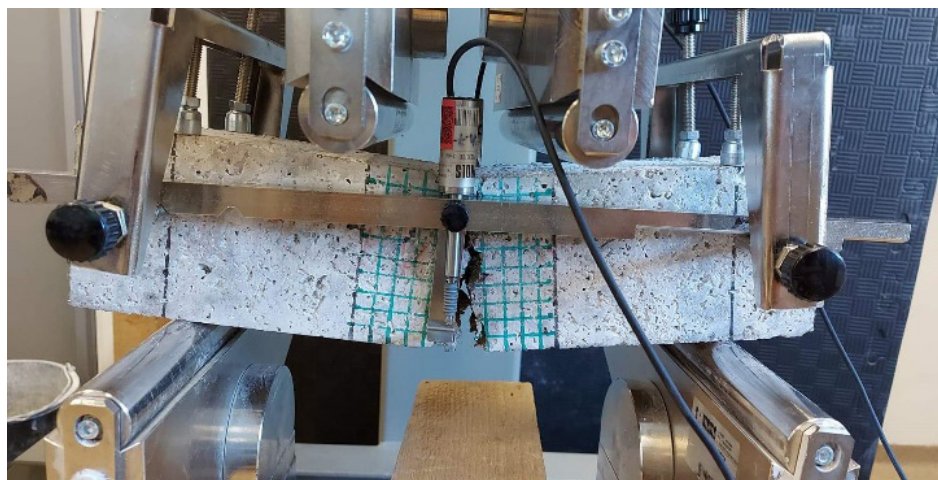
Nakon toga, svježa mješavina je ugrađena u prethodno pripremljene kalupe za ispitivanje čvrstoće na tlak i vlačne čvrstoće savijanjem na takav način da se kalup napunio u jednom sloju, a zatim vibrirao u trajanju od otprilike 10 sekundi.

## 6. Svojstva očvrsllog betona

Nakon 28 dana uzorci su izvagani i dimenzije izmjerene te je određena srednja vrijednost gustoće za svaku mješavinu (po devet uzoraka za svaku mješavinu). Jedna serija uzoraka od ukupno dvije spravljene mješavine s 15% PVC piljevine planira se ispitati pri većoj starosti kako bi se promatrao utjecaj vremena na beton s dodatkom PVC-a. Rezultati ispitivanja gustoće na očvrslim uzorcima prate isti trend kao i rezultati dobiveni ispitivanjem svježeg betona; dakle, dodavanjem udjela PVC piljevine smanjuje se gustoća betonske mješavine. Tako srednja vrijednost gustoće za mješavinu B-REF iznosi  $2296 \text{ kg/m}^3$ , a za mješavinu B-PVC 15  $2009 \text{ kg/m}^3$  što je smanjenje za otprilike 13%.

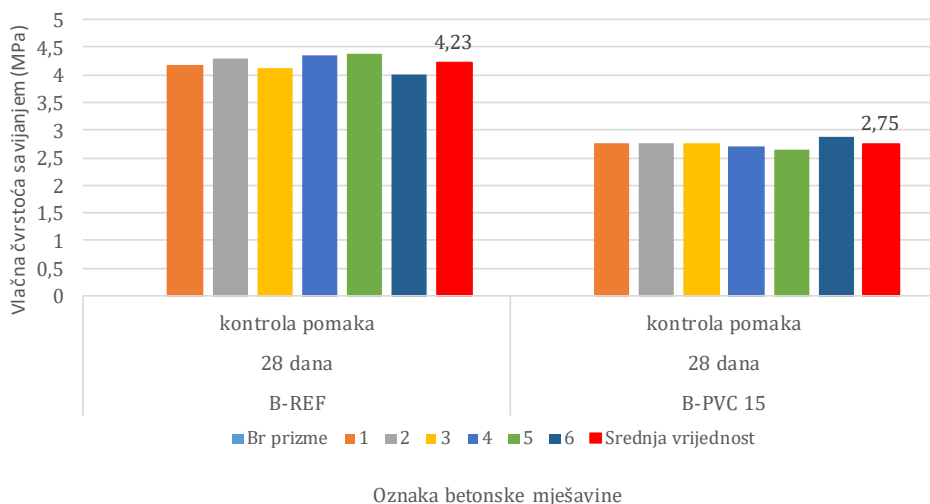
### 6.1. Čvrstoća savijanjem

Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem provedeno je nanošenjem opterećenja u dvije točke metodom kontrole pomaka na uzorcima prizmi dimenzija  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$  (Slika 12) pomoću uređaja za svijanje maksimalnog kapaciteta 300 kN. Brzina nanošenja pomaka određena je iskustveno tako da se zadovolji uvjet statičkog ispitivanja (da se maksimalna sila postigne za oko 3 do 5 minuta). Po svakoj mješavini je ispitano šest prizama, sveukupno 12.



*Slika 12. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem u dvije točke kontrolom pomaka*

Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za svaki ispitni uzorak (po 6 uzoraka) zajedno sa srednjom vrijednosti prikazani su na Slici 13. Betonska mješavina s 15% PVC piljevine pokazuje niže vrijednosti savojne čvrstoće i to u prosjeku za otprilike 35% u odnosu na referentnu mješavinu, što je u skladu s rezultatima danim u [2].



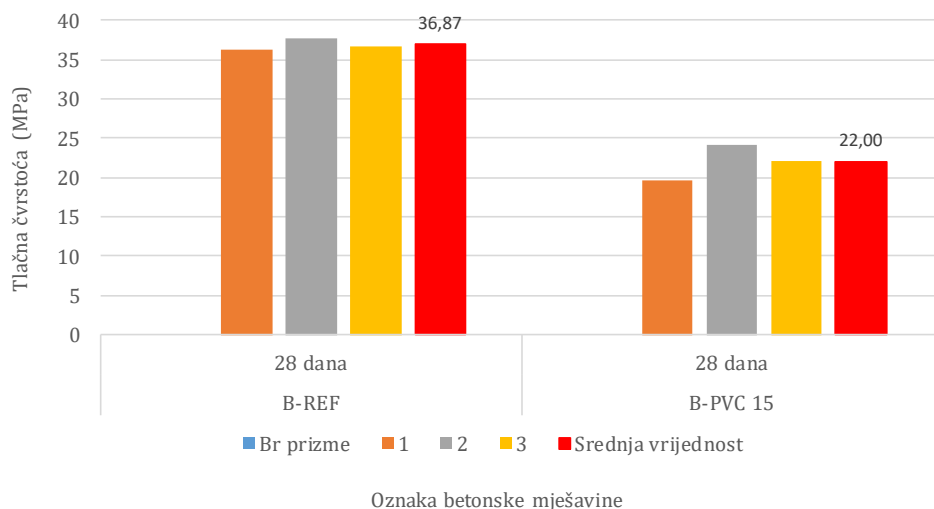
**Slika 13.** Usporedba vlačne čvrstoće savijanjem betonskih mješavina

## 6.2. Tlačna čvrstoća

Tlačna čvrstoća ispitana je na ukupno 3 uzorka sukladno normi HRN EN 12390-3 [13]. Ispitivanje je provedeno na hidrauličkoj preši maksimalnog kapaciteta od 3000 kN (Slika 14). Na Slici 15 prikazani su rezultati ispitivanja za svaki uzorak zajedno sa srednjom vrijednošću za obje mješavine. Vidljivo je kako uzorci sa PVC-piljevinom značajno gube na tlačnoj čvrstoći. Srednja tlačna čvrstoća mješavine B-PVC 15 je za čak 40% manja od tlačne čvrstoće uzorka referentne mješavine. Važno je naglasiti da ovako veliko smanjenje tlačne čvrstoće može biti uzrokovano nedostatkom cementne paste, izrazito suhom konzistencijom i slabom obradivošću betonske mješavine, što u konačnici dovodi do lošije povezanosti cementne paste i agregata te zbijenosti uzorka [3].



*Slika 14. Ispitivanje tlačne čvrstoće*



*Slika 15. Usporedba tlačne čvrstoće betonskih mješavina*

## 7. Zaključak

Osnovni cilj ovoga rada bio je istražiti mogućnost upotrebe otpadnog materijala iz industrije u spravljanju ekološki prihvatljivih mortova i betona. Na temelju vlastitih eksperimentalnih rezultata, provedenih na uzorcima standardnog cementnog morta i običnog betona u kojima je pijesak zamijenjen različitim volumnim udjelima PVC piljevine, izvedeni su sljedeći zaključci:



- Korištenje PVC piljevine kod cementnih i betonskih mješavina negativno utječe na obradivost svježih mješavina, što može utjecati i na smanjenje mehaničkih svojstava.
- Kod cementnog morta ispitanog sukladno [10] na 7 dana starosti zabilježeno je smanjenje čvrstoće povećanjem udjela PVC piljevine. Rezultati ispitivanja na uzorcima starosti 28 dana pokazuju obratni trend; veća je čvrstoća uzorka s 30% PVC piljevine u odnosu na čvrstoću uzorka s 15% PVC piljevine. Nasuprot tome, rezultati ispitivanja metodom kontrole pomaka ne pokazuju znatnu razliku vlačne čvrstoće savijanjem bez obzira na udio PVC piljevine. Kako trend promjene vlačne čvrstoće s dodatkom PVC piljevine nije bio jednoznačan za sve tipove ispitivanja, potrebno je provesti dodatna eksperimentalna ispitivanja kako bi se dobila potvrda točnosti rezultata ispitivanja.
- Kod mješavina cementnog morta i betonskih mješavina s PVC piljevinom zabilježena je manja tlačna čvrstoća nego kod referentnih mješavina te trend smanjenja tlačne čvrstoće povećanjem udjela PVC piljevine, i to bez obzira na starost ispitanih uzoraka.
- Zamjena pijeska PVC piljevinom u betonskim mješavina također nepovoljno utječe i na vlačnu čvrstoću savijanjem.
- Ustvrdeno je da PVC piljevina više utječe na smanjenje tlačne čvrstoće nego vlačne čvrstoće savijanjem.
- Na temelju pregleda rezultata zaključuje se da je potrebno pronaći prikladniji način spravljanja svježih mješavina kako bi se postigla zadovoljavajuća obradivost i, posljedično, povećala tlačna i vlačna čvrstoća savijanjem na očvrslim uzorcima morta i betona. Prema tome, kako bi se poboljšala obradivost mješavina s PVC piljevinom, u nekom od sljedećih istraživanja planira se dodati odgovarajući superplastifikator mješavinama cementnog morta i betonskim mješavinama.
- Usprkos brojnim nepovoljnim rezultatima, uočeno je smanjenje gustoće uzoraka s PVC piljevinom u odnosu na referentne uzorke, zbog čega takav beton nudi mogućnost primjene kao posebna vrsta laganog betona.

Unatoč nepovoljnim rezultatima, ovaj rad služi kao daljnja motivacija pronalasku prikladnog načina korištenja ovog otpadnog materijala u spravljanju betona i morta. Također, neka provedena istraživanja dokazuju prednost betonskih mješavina s udjelom PVC otpada u pogledu trajnosti, kao što je npr. veća otpornost na prodor klorida [5] nad mješavinama bez PVC-a, što ostavlja dodatni prostor za daljnje istraživanje.

**Zahvala.** *Ovaj je članak rezultat rada u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) koji jesu financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.*

*Autori zahvaljuju tvrtki Holcim Hrvatska d.o.o na donaciji potrebnih materijala za izradu mješavina cementnog morta i betonskih mješavina te tvrtki ŽE-MA d.o.o. na donaciji PVC piljevine.*

## Literatura

- [1] S. Alaud, C.P. Suvash. Performance of Recycled PVC Aggregates in Concrete – Comparative Study. Third Conference for Engineering Sciences and Technology (CEST-2020), Libya, December 2020.
- [2] A.J. Babafeni, B. Šavija, S.C. Paul, V. Anggraini. Engineering Properties of Concrete with Waste Recycled Plastic: A Review. *Sustainability*, 10(11): 3875, 2018, <https://doi.org/10.3390/su10113875>.
- [3] J. Thorneycroft, J. Orr, P. Savoikar, R.J. Ball. Performance of Structural Concrete with Recycled Plastic Waste as a Partial Replacement for Sand. *Construction and Building Materials*, 161(10): 63-69, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.127>.
- [4] J. Sasah, C.K. kankam, A Study of Brick Mortar using Sawdust as Partial Replacement of Sand. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 8(6): 59-66, 2017, <https://doi.org/10.5897/JCECT2017.0450>.
- [5] Y. Senhadji, G. Escadeillas, A.S. Benosman, M. Mouli, H. Khelafi, S. Ould. Effect of Incorporating PVC Waste as Aggregate on the Physical, Mechanical, and Chloride Ion Penetration Behavior of Concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(7): 625-640, 2015, <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.1000773>
- [6] HRN EN 197-1:2005. Cement -- 1. dio: Sastav, specifikacije i kriteriji sukladnosti cementa opće namjene, Hrvatski zavod za norme, 2005.
- [7] [https://www.holcim.hr/sites/croatia/files/documents/Holcim\\_Tehnicke\\_specifikacije\\_23.pdf](https://www.holcim.hr/sites/croatia/files/documents/Holcim_Tehnicke_specifikacije_23.pdf), 14. 7. 2021.
- [8] <https://www.normensand.de/en/products/cen-standard-sand-en-196-1/>, 14. 7. 2021.
- [9] Cukarić, M. Mogućnost primjene PVC piljevine kao sitnog agregata u mortu i betonu. Završni rad. Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2020.
- [10] HRN EN 196-1:2005. Metode ispitivanja cementa -- 1. dio: Određivanje čvrstoće, Hrvatski zavod za norme, 2005.
- [11] HRN EN 1015-3:2000/A1:2005. Metode ispitivanja mortova za ziđe -- 3. dio: Određivanje konzistencije svježeg morta (stolićem za potresanje), Hrvatski zavod za norme, 2005.
- [12] HRN EN 12350-5:2009. Ispitivanje svježega betona -- 5. dio: Ispitivanje rasprostiranjem, 2009.
- [13] HRN EN 12390-3:2009, Ispitivanje očvrslunoga betona -- 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka, 2009.