

Primljen / Received: 1.12.2018.

Ispravljen / Corrected: 8.4.2019.

Prihvaćen / Accepted: 11.12.2019.

Dostupno online / Available online: 10.5.2020.

Utjecaj metoda njege i udjela otpadne gume na svojstva morta

Autori:



Doc.dr.sc. **Levent Bostanci**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Beykent, Istanbul, Turska
Škola naprednih strukovnih studija
leventbostanci@beykent.edu.tr



Mr.sc. **Ozlem Ustundag**, dipl.ing.građ.
Istanbulsko Sveučilište Cerrahpasa
Odjel za građevinarstvo
ozlemust@istanbul.edu.tr



Izv.prof.dr.sc. **Ozlem Celik Sola**, dipl.ing.građ.
Istanbulsko Sveučilište Cerrahpasa
Odjel za građevinarstvo
celik@istanbul.edu.tr
Autor za korespondenciju



Izv.prof.dr.sc. **Mucteba Uysal**, dipl.ing.građ.
Istanbulsko Sveučilište Cerrahpasa
Odjel za građevinarstvo
mucteba.uysal@istanbul.edu.tr

Prethodno priopćenje

Levent Bostanci, Ozlem Ustundag, Ozlem Celik Sola, Mucteba Uysal

Utjecaj metoda njege i udjela otpadne gume na svojstva morta

U radu se eksperimentalno istražuju poroznost te mehanička i toplinska svojstva morta s dodatkom otpadne gume u različitim uvjetima njege. Mješavinama morta dodana je otpadna guma u udjelu od 0 %, 1 %, 5 %, 10 % i 18 % mase cementa, nakon čega su provedena tri postupka njege u razdoblju od 14 tjedana. Najniže vrijednosti toplinske provodljivosti od 1,09 tj. 1,14 W/mK dobivene su kod udjela otpadne gume od 18 % na uzorcima koji su njegovani vodom te vlaženjem i sušenjem. Najviša vrijednost tlačne čvrstoće od 61,5 MPa dobivena je na uzorku bez dodatka otpadne gume koji je njegovan vlaženjem i sušenjem, dok je čvrstoća na savijanje uzoraka bez gume i s 1 % otpadne gume iznosila 9,1 odnosno 8,2 MPa.

Ključne riječi:

mort, otpadna guma, postupak njege, toplinska provodljivost, tlačna čvrstoća

Research Paper

Levent Bostanci, Ozlem Ustundag, Ozlem Celik Sola, Mucteba Uysal

Effect of curing methods and scrap tyre addition on properties of mortars

Mechanical, thermal conductivity, and porosity properties of scrap tyre incorporated mortars are examined experimentally in this study for various curing conditions. Cement mortars were prepared by adding 0%, 1%, 5%, 10% and 18% of scrap tyre by cement weight, and the mortars were subjected to three curing procedures for 14 weeks. The lowest thermal conductivity values were obtained on samples containing 18% of scrap tyre by water curing and wetting-drying curing as 1.09 and 1.14 W/mK, respectively. The maximum compressive strength of 61.5 MPa was obtained on a pure sample cured by wetting and drying, while the flexural strength of pure and a 1% additive incorporated samples, which were also cured by wetting-drying, amounted to 9.1 and 8.2 MPa, respectively.

Key words:

mortar, scrap tyre, curing procedure, thermal conductivity, compressive strength

Vorherige Mitteilung

Levent Bostanci, Ozlem Ustundag, Ozlem Celik Sola, Mucteba Uysal

Einfluss der Pflegemethode und des Gummiabfallgehalts auf die Eigenschaften von Mörtel

In der Abhandlung werden experimentell die Porosität sowie die mechanischen und thermischen Eigenschaften von Mörtel unter Zusatz von Gummiabfällen unter verschiedenen Pflegebedingungen untersucht. Den Mörtelmischungen wurden Gummiabfälle in einem Anteil von 0%, 1%, 5%, 10% und 18% Zementmasse hinzugefügt, wonach drei Pflegeverfahren in einem Zeitraum von 14 Wochen durchgeführt wurden. Die niedrigsten Wärmeleitfähigkeitswerte von 1,09, d.h. 1,14 W/mK wurden bei Gummiabfallgehalten von 18% bei Proben erreicht, die mit Wasser sowie durch Nässen und Trocknen gepflegt wurden. Den höchsten Druckfestigkeitswert von 61,5 MPa erhielt man mit der Probe ohne Zusatz von Gummiabfall, die mit Nässen und Trocknen gepflegt wurde, während die Biegefestigkeit der Proben ohne Gummi und mit 1% Gummiabfall 9,1 beziehungsweise 8,2 MPa betrug.

Schlüsselwörter:

Mörtel, Gummiabfall, Pflegeverfahren, Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit

1. Uvod

Brz porast broja stanovnika u zemljama u razvoju doveo je i do povećanje potražnje za prijevoznim sredstvima te se stoga bilježi značajan porast proizvodnje u sektoru automobilske industrije. Zbog takvog porasta u automobilskom sektoru, procjenjuje se da se diljem svijeta svake godine proizvede 1,4 milijardi guma [1, 2]. Automobilske gume izuzetno su otporne na abraziju i koroziju, a osnovni su im sastojci prirodni i umjetni sintetički materijali, čađa i različiti aditivi poput sumpora, cinkovog oksida i stearinske kiseline. Zbog toga se automobilske gume vrlo teško mogu razgraditi u prirodi [3-6].

U razvijenim su državama na snazi brojni propisi kojima se regulira recikliranje guma kad im istekne rok trajanja. Postupak recikliranja značajan je jer omogućuje što učinkovitije korištenje energetskih resursa, a i pridonosi manjemu zagađenju okoliša i zaštiti prirode, s obzirom na to da su sirovine za gumu bazirane na nafti [7]. Danas se otpadna guma može koristiti kao gorivo u sektorima industrije u kojima je potrošnja energije visoka. Međutim, zbog ekonomskih razloga, taj materijal ipak je manje atraktivan od drugih dostupnih rješenja [8]. Može se, dakle, reći da su automobilske gume ozbiljna prijetnja okolišu jer se teško razgrađuju u prirodnim uvjetima, pa recikliranje i ponovna upotreba otpadnih guma danas sve više dobiva na važnosti iz ekonomskih i ekoloških razloga [9].

U tehnologiji proizvodnje betona recikliranje se otpadnih guma u novije vrijeme smatra ključnom i znanstveno atraktivnom idejom. U većini prijašnjih studija navodi se da se tlačna čvrstoća betona smanjuje zbog dodavanja otpadne gume kao djelomične zamjene za agregat, te su u tom smislu provedene različite analize kako bi se odredila veličina i raspored čestica gume koji omogućuju znatno smanjenje gubitka čvrstoće. Beton s dodatkom gume u današnje se vrijeme upotrebljavati u konstrukcijskim elementima kojima ne prijeti opasnost od oštećenja uslijed potresa [10].

Utjecaj dodavanja otpadne gume na mehaničku čvrstoću morta eksperimentalno je istražen u velikom broju studija. Tako su Marques i dr. koristili tretiranu i netretiranu gumu u volumenskom udjelu od 12 %, te su ustanovili da u tom slučaju tlačna čvrstoća pada za 40 % i 47 % u odnosu na kontrolni uzorak [11]. U svom eksperimentalnom radu o mortu visokih čvrstoća, Angelin i dr. ustanovili su da kod uzoraka morta s težinskim udjelom od 30 % otpadne gume tlačna čvrstoća pada za 12 puta, a čvrstoća na savijanje za četiri puta u odnosu na kontrolni uzorak [12]. Oikonomou i Mavridou mješavinama morta dodali su do 15 % otpadne gume te su ustanovili da je došlo do poboljšanja glede propusnosti na kloride, ali se nije mogao izbjeći pad tlačne čvrstoće i to bez obzira na količinu otpadne gume [13]. Boukour i Benmalek pokušali su smanjiti pad tlačne čvrstoće i čvrstoće na savijanje zbog dodavanja otpadne gume te su u tom cilju dodali punilo od otpadne cigle, čime su poboljšali svojstva trajnosti morta s dodatkom otpadne gume [14].

Prijenosom mase između agregata s visokim koeficijentom toplinske provodljivosti (2,45-5,20 W/mK) i otpadne gume s

niskim koeficijentom toplinske provodljivosti (0,25-0,50 W/mK) smanjuje se koeficijent toplinske provodljivosti morta s dodatkom otpadne gume, a tome padu provodljivosti ne pridonosi samo provodljivost preraspoređenih materijala već i pora struktura, udio vlage te stupanj kristalizacije [15].

Bez obzira na smanjenje mehaničke čvrstoće morta uslijed povećanja udjela otpadne gume, ipak se ne smije zanemariti značajan pozitivan utjecaj dodatka gume na trajnosna svojstva i koeficijent toplinske provodljivosti. Iako se mehanička čvrstoća mješavina morta smanjuje nakon dodavanja otpadne gume u udjelima od 10 i 30 %, vrijednosti toplinske provodljivosti se smanjuju za 12 odnosno 20 % [16]. Kada su u svojem eksperimentalnom ispitivanju mješavini dodali 40 % otpadne gume, Fadiel i dr. su ustanovili da se time koeficijent toplinske provodljivosti smanjuje za 28 % u usporedbi s tradicionalnim mortom [17].

Iako se dodavanje otpadne gume smatra vrlo korisnim u smislu značajnog smanjenja koeficijenta toplinske provodljivosti morta, primjena toga dodatka još uvijek je ograničena zbog istovremenog smanjenja i tlačne čvrstoće i čvrstoće na savijanje. Jedan od načina koji omogućuju kompenzirati pad mehaničke čvrstoće zbog dodavanja otpadne gume jest i primjena odgovarajuće metode njege. Noviji tehnološki pomoci u tehnologiji proizvodnje cementa omogućili su uvođenje brojnih metoda njege u proizvodnju konstrukcijskih elemenata. Iako su do sada razvijene i uvedene brojne nove metode njege, još uvijek postoje oprečna mišljenja o njihovoj pouzdanosti i djelotvornosti, te o utjecaju njege na mehanička, toplinska i mikrostrukturna svojstva konstrukcijskih elemenata. Svaka metoda njege djeluje na neki određeni način, a cilj, koji je zajednički za sve metode, sastoji se u određivanju relativne vlage u kalcijevoj silikatnoj strukturi i u osiguravanju kontinuiranog odvijanja hidratacijskog procesa. Naime, niska relativna vlaga u kapilarnoj strukturi onemogućuje kontinuirano odvijanje kemijskih reakcija zbog nedostatnog udjela vode. Zbog toga hidratacijski proces završava prije nego što bi trebalo, a to negativno utječe na mehanička svojstva, toplinska izolacijska svojstva, svojstva trajnosti i mikrostrukturna svojstva konstrukcijskih elemenata [18].

U proizvodnji konstrukcijskih elemenata na bazi kalcijevog silikata primjenjuje se nekoliko metoda njege poput tradicionalne njege vodom, njege parom, njege toplinom te njege prekrivanjem pomoću nepropusne membrane. Tradicionalna metoda njegovanja vodom smatra se referentnom metodom njege koja se može primijeniti za dokazivanje djelotvornosti i učinkovitosti drugih mogućih metoda njege. Uzorci proizvedeni tijekom njege vodom obično se na početku postupka jedan dan čuvaju u kalupu te se sljedećeg dana vade iz kalupa i čuvaju u zatvorenom spremniku potpuno uronjeni u vodu, gdje ostaju sve do ispitivanja mehaničkih svojstava. Metoda njege vodom iznimno je značajna jer vjerno predstavlja uvjete njege na terenu tijekom proizvodnje konstrukcijskih elemenata [19, 20]. U svojoj eksperimentalnoj studiji, Nasr i dr. istražili su djelotvornost okolnih i hidrotermalnih uvjeta njege uzoraka morta koji su

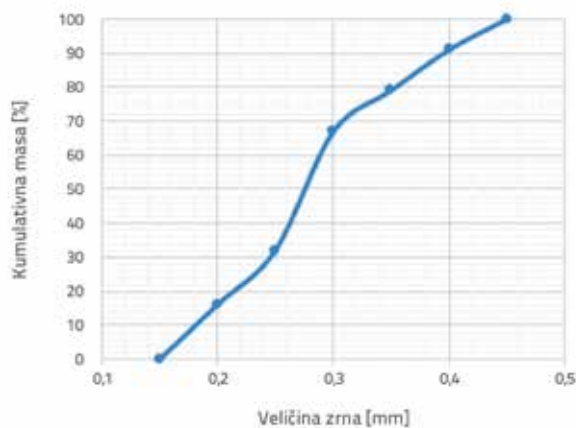
proizvedeni u različitim uvjetima njege, s tim da je pritom njega vodom služila kao referentna metoda. Kong i dr. analizirali su djelotvornost alternativnoga postupka njege parom te postupka prethodne njege mikrovalovima, a pritom su također njegu vodom primjenili kao referentnu metodu [21]. Štoviše, rezultati u našem prethodnom istraživanju pokazali su kako su u uzorcima morta koji su njegovani postupkom vlaženja i sušenja u usporedbi s klasičnim načinom njegovanja vodom dobivene su veće tlačne čvrstoće i čvrstoće na savijanje [22].

U ovom se radu razmatra mogućnost primjene dviju metoda njege - njege vlaženjem i sušenjem te njega magnezijevim sulfatom - umjesto postupka njege vodom, a pritom njega vodom služi kao referentni postupak. Detaljno se istražuju mehanička svojstva i toplinska izolacijska svojstva uzoraka morta na osnovi promjene strukture pora i porozimetrijskih svojstava u različitim uvjetima njege.

2. Materijali i metode

2.1. Materijali

Otpadna guma korištena u mortu izrađenom za potrebe ovog ispitivanja dobivena je od tvrtke Isfalt A.S. Veličina čestica gume varirala je od 0,18 do 0,425 mm. Raspodjela veličine čestica i ostala svojstva otpadne gume prikazana su na slici 1. i u tablici 1. Ostale komponente korištene u proizvodnji morta su portlandski cement tipa CEM I 42.5 R što proizvodi tvrtka Limak Cement Co. te standardni CEN pijesak. Fizikalna i kemijska svojstva cementa CEM I 42.5 R prikazana su u tablici 2.



Slika 1. Raspodjela veličine čestica otpadne gume korištene u ispitivanju

Tablica 1. Fizikalna i kemijska svojstva otpadne gume korištene u ispitivanju

Prividna gustoća [kg/m ³]	1140
Veličina čestica [mm]	0,18 - 0,45
Ukupan udio polimera [%]	43
Čađa [%]	38

Tablica 2. Kemijska i fizikalna svojstva cementa CEM I 42,5 [22]

Kemijski sastav [tež./ %tež.]		
SiO ₂ (otopljena tvar)		18,99
Al ₂ O ₃		4,77
Fe ₂ O ₃		3,15
CaO		63,69
MgO		1,12
SO ₃		2,96
K ₂ O		0,64
Na ₂ O		0,17
Cl -		0,0099
Gubitak žarenjem		3,70
Neotopivi ostatak		0,38
Ukupna količina alkalija		0,59
C ₃ A		7,32
Fizikalna svojstva		
Vrijeme vezivanja [min]	Početno vezivanje	150
	Kraj vezivanja	195
Specifična težina		3,11
Specifična površina [cm ² /g]		3769
Postojanost volumena [mm]		1

2.2. Sastav mješavina

U okviru eksperimentalnog ispitivanja pripremljeno je pet različitih mješavina s različitim udjelima otpadne gume kako bi se odredila toplinska i mehanička svojstva mortova pri različitim uvjetima njege. Njega uzoraka provedena je za tri različita postupka njege, a to su njega vlaženjem i sušenjem, njega magnezijevim sulfatom i njega vodom. U svim je mješavinama korišten standardni pijesak CEN koji udovoljava tehničkim uvjetima TS EN 196-1 te portlandski cement CEM I 42.5 R. Otpadna guma dodana je mješavinama morta kao djelomična zamjena cementa i to u udjelima od 1,0%, 5,0%, 10,0%, i 18% mase cementa. Prije ugradnje u mort, standardni pijesak i otpadna guma čuvani su u vlažnoj komori u kojoj je relativna vlaga iznosila više od 50 %. Tako je postignuto da pijesak i otpadna guma budu u odgovarajućem stanju površinskog zasićenja te su u takvom stanju i dodani mješavinama morta. Udjeli mješavina s otpadnom gumom prikazani su u tablici 3.

U početku je proveden postupak suhog miješanja zbog porozne struktura i oblika površine čestica otpadne gume korištene u ispitivanjima. U svrhu povećanja homogenosti mješavine, voda je dodavana postupno, a sve čestice gume potpuno su prekrivane cementnim mortom kako bi se ubrzalo adhezijsko djelovanje morta. U mješavinama je omjer vode i veziva bio konstantan (0,5). Ukupan omjer cementa i otpadne gume bio

Tablica 3. Udjeli u mješavinama morta s otpadnom gumom

Oznaka mješavina	Udio otpadne gume [%]	Udio cementa [%]	Udio otpadne gume [g]	Cement [g]	Vodocementni faktor	Voda [ml]	Pijesak [g]
L0	0	100	0	450	0,50	225	1350
L1	1	99	4,5	445,5			
L2	5	95	22,5	427,5			
L3	10	90	45	405			
L4	18	82	81	369			

je konstantan, tj. maseni udio pijeska u mješavinama iznosio je 1/3.

Nakon postupka miješanja, cementni mort uliven je u standardne kalupe od nehrđajućeg čelika dimenzija 40 mm x 40 mm x 160 mm te je proveden postupak vibriranja kako bi se spriječila segregacija. Uzorci su u kalupima čuvani 24 sata na sobnoj temperaturi (20 ± 3 °C) te su zatim izvađeni iz kalupa. Po tri uzorka iz svake mješavine podvrgnuta su različitim postupcima njege, što je i bila prvobitna namjera eksperimenta.

2.3. Metode negovanja

Kako bi se ispitala poroznost te mehanička i toplinska svojstva mortova s dodatkom otpadne gume, za svaku su skupinu uzoraka primijenjene tri različite metode njege: njega vlaženjem i sušenjem, njega magnezijevim sulfatom i njega vodom, kako je preporučeno u radu [22]. Skupina uzoraka koja je negovana vodom čuvana je u spremniku za njegu zasićenom vapnom pri temperaturi od 21 °C (± 2 °C) tijekom 14 tjedana. Jedan ciklus njege uzoraka vlaženjem i sušenjem sastojao se od vlaženja i sušenja u spremniku zasićenom vapnom pri temperaturi od 21 °C (± 2 °C) u vremenu od tjedan dana, a u sljedećem su tjednu uzorci čuvani pri sobnoj temperaturi (21 °C ± 2 °C). Spomenuti je ciklus proveden sedam puta kako bi se kompletirala njega u trajanju od 14 tjedana. Za skupinu uzoraka koja je negovana 13-postotnom otopinom magnezijevog sulfata, nakon tjedan dana su sušena u sušioniku pri temperaturi od 105 °C. Taj je ciklus također ponavljan sedam puta kako bi se postigla njega u trajanju od 14 tjedana.

U svakom postupku njege, uzorci s nula posto otpadne gume korišteni su kao referentni uzorci za dotični postupak njege. U svim postupcima njege korištena je voda istog kemijskog sastava.

Tablica 4. Program eksperimentalnih ispitivanja

Ispitivanje	Broj uzoraka	Dimenzije [mm]	Norma
Tlačna čvrstoća	45	40 x 40 x 160	TS EN 196-1
Čvrstoća na savijanje	45	40 x 40 x 160	TS EN 196-2
Toplinska provodljivost	15 x 5 puta	40 x 40 x 160	ASTM C-518
Živin porozimetar	15	40 x 40 x 160	ASTM D-7984

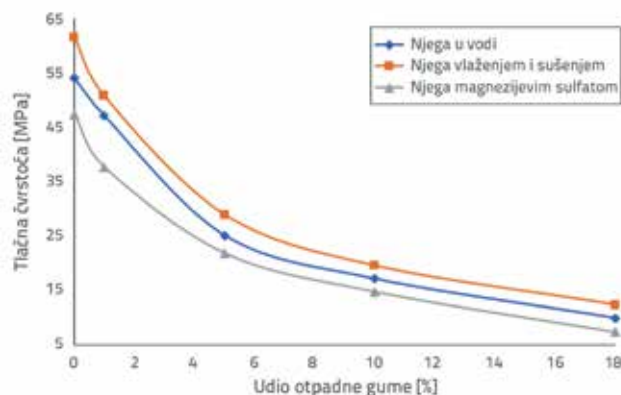
2.4. Ispitivanje

Nakon 14 tjedana negovanja uzoraka vodom, vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom, na uzorcima je ispitana čvrstoća na savijanje i tlačna čvrstoća, izmjeren je koeficijent toplinske provodljivosti, te je provedeno ispitivanje živinim porozimetrom (eng. mercury porosimetry - MIP). U okviru eksperimentalnih analiza definirano je pet različitih mješavina, a iz svake je mješavine pripremljeno devet uzoraka. Svaka je mješavina podijeljena u tri zasebne skupine njege s po tri uzorka, nakon čega je na njima provedeno ispitivanje mehaničkih svojstava. Za razliku od mehaničkih ispitivanja čvrstoće, mjerenja živinim porozimetrom i koeficijenta toplinske provodljivosti provedena su na uzorcima s najvišim vrijednostima tlačne čvrstoće. U okviru određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti, mjerenja su ponavljana na pet različitih dijelova uzorka. Program eksperimentalnih ispitivanja prikazan je u tablici 4., prema [22].

3. Rezultati i rasprava

3.1. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Slika 2. prikazuje rezultate tlačne čvrstoće za mortove s 1 %, 5 %, 10 % i 18 % udjela otpadne gume koji su prethodno negovani vodom, vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom. Rezultati tlačne čvrstoće variraju od 17,1 do 54 MPa, s maksimalnom standardnom devijacijom od 0,45 MPa za skupinu negovanu vodom, dok tlačna čvrstoća za skupine negovane vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom varira u rasponu od 12,3 do 61,5 MPa s maksimalnom standardnom devijacijom od 0,96 MPa, tj. od 7,3 do 47,4 MPa s maksimalnom standardnom devijacijom do 0,62 MPa. Što se tiče tlačne čvrstoće, ona se u svim uvjetima njege smanjivala s povećanjem udjela otpadne gume u mortu, slika 2.



Slika 2. Odnos između udjela otpadne gume u mortu i tlačne čvrstoće za mortove s dodatkom otpadne gume

Dodavanjem čestica otpadne gume u mješavinu morta umanjuje se kvaliteta na kontaktu između tih čestica i cementne paste. Slabljenju veze između čestica otpadne gume i cementne paste znatno pridonosi hrapava površina i nepolarnost čestica otpadne gume. Kako je hrapava površina otpadne gume pogodan medij za nakupljanje zraka, logično je da udio zraka raste s povećanjem udjela otpadne gume. U prijašnjim se studijama navodi da su osnovni razlozi niske čvrstoće morta s otpadnom gumom upravo slab kontakt, neodgovarajuća prionjivost, loše povezivanje, visok stupanj poroznosti i niska gustoća. Zbog poroznosti na kontaktu između cementne matrice i otpadne gume, u svim se uvjetima njege tlačna čvrstoća smanjuje s povećanjem udjela otpadne gume [16, 23-26].

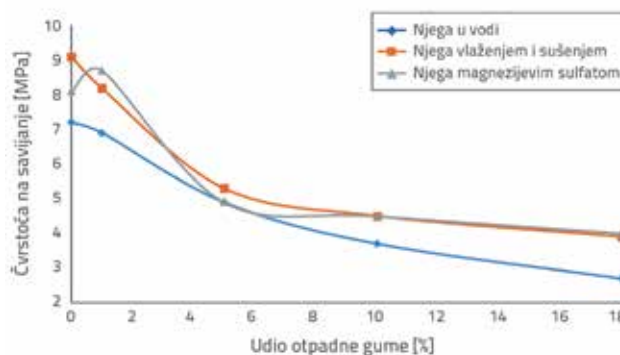
Najviša vrijednost tlačne čvrstoće iznosi 54 MPa za njegu uzoraka vodom, 61,5 MPa za njegu vlaženjem i sušenjem te 47,4 MPa za njegu magnezijevim sulfatom. Kod istog udjela otpadne gume, najviša tlačna čvrstoća zabilježena je kod uzoraka koji su njegovani vlaženjem i sušenjem, dok je najniža vrijednost zabilježena za njegu magnezijevim sulfatom. U svim uvjetima njege, nagli i značajan pad tlačne čvrstoće zabilježen je kod uzoraka s 5-postotnim udjelom otpadne gume u mortu (L2). Kod uzoraka s 5-postotnim udjelom otpadne gume u mortu bilježi se značajan pad tlačne čvrstoće u usporedbi s kontrolnim uzorcima (L0), pa tako iznosi 53,0 % za njegu vlaženjem i sušenjem, 53,5 % za njegu vodom te 54,0 % za njegu magnezijevim sulfatom.

3.2. Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje

Čvrstoća na savijanje uzoraka s 0 do 18 % udjela otpadne gume u mortu prikazana je na slici 3. za uvjete njege vlaženjem i sušenjem, magnezijevim sulfatom i vodom. Rezultati čvrstoće na savijanje variraju od 2,7 do 7,2 MPa s maksimalnom standardnom devijacijom od 0,2 MPa za skupinu njegovanu vodom, a čvrstoća na savijanje skupine njegovane vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom varira u rasponu od 3,9 do 9,1 MPa s maksimalnom standardnom devijacijom od 0,3 MPa, tj. od 4,0 do 8,1 MPa s maksimalnom standardnom devijacijom od 0,43 MPa. U svim uvjetima njege, čvrstoća na savijanje

uzoraka pada s povećanjem količine otpadne gume (osim kod uzorka L1 njegovanog magnezijevim sulfatom), što je u skladu s rezultatima ispitivanja tlačne čvrstoće.

Kod svih uzoraka, najviša vrijednost čvrstoće na savijanje iznosi 7,2 MPa za njegu vodom, 9,1 MPa za njegu vlaženjem i sušenjem te 8,7 MPa za njegu magnezijevim sulfatom, slika 3. Nagli pad čvrstoće na savijanje zabilježen je kod 5-postotnog udjela otpadne gume u mortu (L2) za slučaj njege vlaženjem i sušenjem. U odnosu na referentni uzorak (L0), ovaj pad iznosi samo 4,1 % kada je udio otpadne gume 1 % (L1) Međutim, kada udio otpadne gume u mortu iznosi 5 %, bilježi se pad veći od 30 %. Osim toga, kod uzoraka njegovanih vodom zabilježene su najniže vrijednosti čvrstoće na savijanje za sve postotke otpadne gume i za sve uvjete njege.



Slika 3. Odnos između udjela otpadne gume u mortu i čvrstoće na savijanje za mortove s dodatkom otpadne gume

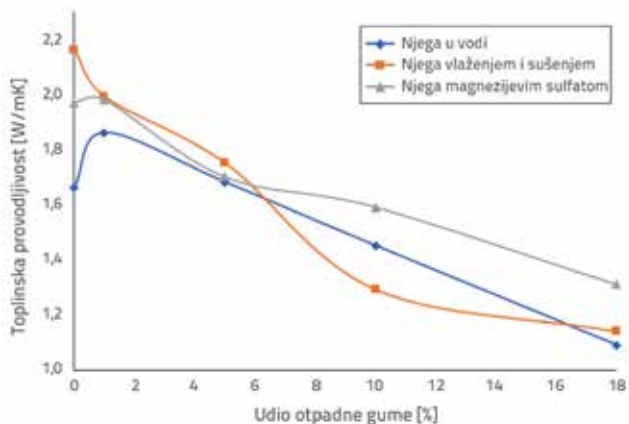
Referentni uzorak (L0) ima veću čvrstoću na savijanje tijekom postupka njege vlaženjem i sušenjem (9,1 MPa) od referentnih uzoraka njegovanih vodom i magnezijevim sulfatom. Kada udio otpadne gume u mortu iznosi 18 % (uzorci L4), tada je čvrstoća na savijanje uzoraka njegovanih u vodi niža od čvrstoće zabilježene u preostala dva postupka njege (3,9 MPa).

U uvjetima njege vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom, kod uzoraka (L3) i (L4) s 10 i 18 % udjela otpadne gume u mortu bilježi se skoro elastično ponašanje.

Kod uzoraka s 10 % udjela otpadne gume u mortu, gubitak čvrstoće na savijanje iznosi 44,4 % u odnosu na referentni uzorak u kojemu nema otpadne gume. Pri uvjetima njege magnezijevim sulfatom, razlika u čvrstoći između uzoraka s 10 i 18 % udjela otpadne gume u mortu iznosi 0,50 MPa. Ta razlika iznosi 0,6 MPa pri uvjetima njege vlaženjem i sušenjem. Može se uočiti da u takvim uvjetima njege 5-postotni udio otpadne gume u mortu bitno utječe na gubitak čvrstoće na savijanje, tj. dovodi do naglog pada te čvrstoće.

3.3. Rezultati ispitivanja toplinske provodljivosti

Rezultati ispitivanja toplinske provodljivosti za mortove s 0 %, 1 %, 5 %, 10 % i 18 % udjela otpadne gume u mortu prikazani su na slici 4. za njegu vodom, njegu vlaženjem i sušenjem te njegu magnezijevim sulfatom.



Slika 4. Odnos između udjela otpadne gume u mortu i rezultata ispitivanja toplinske provodljivosti za mortove s dodatkom otpadne gume

U svim uvjetima njege, koeficijent toplinske provodljivosti svih uzoraka s otpadnom gumom (L1, L2, L3 i L4) smanjuje se usporedno s povećanjem udjela otpadne gume.

Utvrđeno je da udio otpadne gume ne bi smio biti manji od 10 % ako se želi postići znatno smanjenje koeficijenta toplinske provodljivosti u uvjetima njege vodom. Za 5-postotni udio otpadne gume, izmjerena vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti gotovo je jednaka vrijednosti referentnog uzorka. U uzorku s 10 % udjela otpadne gume (L3), koeficijent toplinske provodljivosti manji je za 12,6 % u odnosu na referentni uzorak (L0). Kada udio otpadne gume iznosi 18 %, koeficijent toplinske provodljivosti pada za 34,3 %.

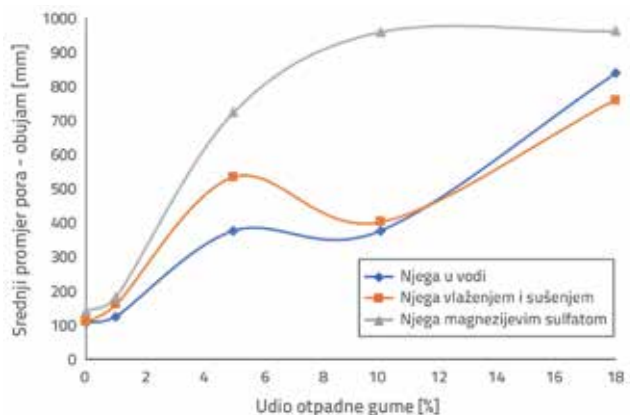
U uvjetima njege magnezijevim sulfatom, koeficijent toplinske provodljivosti gotovo je jednak vrijednosti referentnog uzorka kada udio otpadne gume u mortu iznosi 1 %. Znatna smanjenja koeficijenta toplinske provodljivosti postižu se kada udio otpadne gume iznosi 5 % ili više. Kada udio otpadne gume u mortu iznosi 5 %, 10 % i 18 % (uzorci L2, L3 i L4), odgovarajući pad koeficijenta toplinske provodljivosti istim redom iznosi 13,7 %, 19,2 % i 33,5 %.

Kod svih uzoraka njegovanih postupkom vlaženja i sušenja (L0, L1, L2, L3 i L4), povećanje postotka dodatka dovodi do smanjenja koeficijenta toplinske provodljivosti. U rasponu udjela otpadne

gume u mortu od 0 do 5 %, najviše vrijednosti koeficijenta toplinske provodljivosti bilježe se za njegu vlaženjem i sušenjem. To omogućuje smanjenje koeficijenta toplinske provodljivosti čak i pri niskim udjelima otpadne gume. Kod uzoraka njegovanih vlaženjem i sušenjem bilježi se pri visokim udjelima otpadne gume u mortu značajan pad koeficijenta toplinske provodljivosti od 40,2 % i 47,2 % u odnosu na referentni uzorak. Pozitivan utjecaj njege vlaženjem i sušenjem na smanjenje koeficijenta toplinske provodljivosti naročito je uočljiv, u odnosu na ostale postupke njege, kada udio otpadne gume u mortu iznosi 10 % i 18 %.

3.4. Rezultati ispitivanja živinim porozimetrom (MIP)

U tablici 5. prikazani su rezultati porozimetrijske analize uzoraka s dodatkom otpadne gume njegovanih u vodi, vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom. U svim uvjetima njege, ukupna poroznost uzoraka morta i vrijednost srednjega promjera pora - obujma raste usporedno s porastom udjela otpadne gume. Pri analizi odnosa između tlačne čvrstoće, ukupne poroznosti i srednjega promjera pora, može se uočiti da je u svim metodama njege visoka tlačna čvrstoća povezana s niskom ukupnom poroznošću i s niskom vrijednošću srednjega promjera pora.

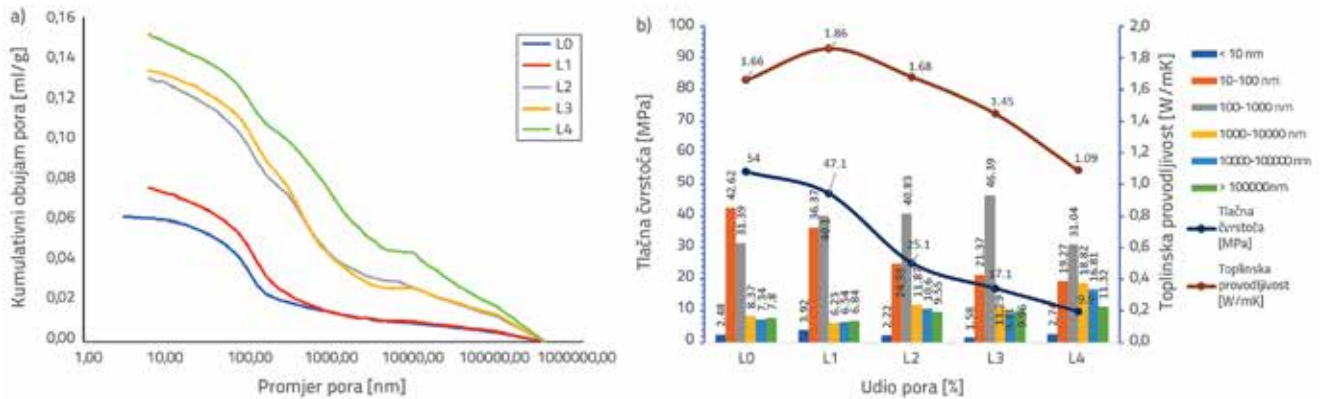


Slika 5. Odnos između udjela otpadne gume u mortu i srednjega promjera pora za mortove s dodatkom otpadne gume

Vrijednosti srednjega promjera pora-obujma prikazane su na slici 5. za sve udjele otpadne gume. Te su vrijednosti veće pri

Tablica 5. Rezultati ispitivanja živinim porozimetrom (eng. mercury porosimetry - MIP) za mort s dodatkom otpadne gume

Oznaka mješavine	Njega uzoraka u vodi		Njega uzoraka metodom vlaženja i sušenja		Njega uzoraka magnezijevim sulfatom	
	Ukupna poroznost [%]	Srednji promjer pora - obujam [nm]	Ukupna poroznost [%]	Srednji promjer pora - obujam [nm]	Ukupna poroznost [%]	Srednji promjer pora - obujam [nm]
L0	13,05	109,6	12,46	111,1	2,32	143,7
L1	15,57	126,5	14,05	161,8	15,89	182,5
L2	23,65	377,5	21,85	534,5	21,6	724,6
L3	23,99	377	23,24	402,5	21,01	961,1
L4	25,83	838,5	26,77	760,5	24,24	963,4



Slika 6. a) Kumulativna raspodjela veličina pora za sve uzorke njegovane u vodi prema podacima dobivenim MIP analizom; b) Odnos između udjela pora, toplinske provodljivosti i tlačne čvrstoće za uzorke njegovane u vodi

njezi magnezijevim sulfatom negoli u preostala dva postupka njege. Ovakvo stanje, koje je naročito izraženo kada udio otpadne gume u mortu iznosi 5 % ili više, umanjuje tlačnu čvrstoću pri svim udjelima otpadne gume za uzorke njegovane magnezijevim sulfatom, u usporedbi s preostala dva postupka njege.

Slike 6.a i 6.b prikazuju kumulativnu raspodjelu obujma pora ovisno o promjeru pora, te odnos između udjela pora, toplinske provodljivosti i tlačne čvrstoće uzoraka njegovanih u vodi. Može se uočiti da je raspodjela stabilna u čitavom rasponu promjera u pogledu ukupne poroznosti i vrijednosti srednjeg promjera pora. Uzorak L4 ima najvišu ukupnu vrijednost poroznosti (25,83 %) i najveću vrijednost srednjeg promjera pora (838,8 nm) te najnižu tlačnu čvrstoću (9,9 MPa) i čvrstoću na savijanje (2,7 MPa). Također se odlikuje i najvišim kumulativnim obujmom pora u čitavom rasponu veličina pora. Ujednačeno ponašanje uočava se i kod uzoraka L0, L1, L2 i L3. Na grafičkom se prikazu vidi da uzorci L2 i L3 (377,5 nm i 377 nm), čije su vrijednosti srednjeg promjera pora- obujma vrlo slične, imaju vrlo slične karakteristike u čitavom rasponu promjera. Prilikom analize koeficijenata toplinske provodljivosti, može se uočiti da se smanjenje koeficijenta toplinske provodljivosti podudara s visokim kumulativnim vrijednostima obujma pora na čitavom grafičkom prikazu, ovisno o udjelima u uzorcima L1 do L4. Takav trend nije prisutan jedino u uzorku L0 (uzorak bez dodatka otpadnih guma) u rasponu promjera od 3 do 800 nm, a u raspodjeli promjera viših od 800 nm može se uočiti da su krivulje uzoraka L0 i L1 gotovo podudarne.

Kao što se vidi na slici 6.b, vrijednosti makropora uzoraka L0 (1,66 W/mK) i L1 (1,86 W/mK) iznose 15,1 % tj. 13,3 %. Stoga je utvrđeno da je koeficijent toplinske provodljivosti uzorka L0, koji ima veći udio makropora, niži od odgovarajućeg koeficijenta uzorka L1 zbog dominantnog utjecaja makropora na koeficijent toplinske provodljivosti, iako treba naznačiti da uzorak L0 ima niži kumulativni obujam pora u rasponu promjera od 3 do 800 nm. Zastupljenost makropora uočeni na uzorcima L2, L3 i L4 iznosi 20,1 %, 19,3 % i 28,1 %, a njihovi koeficijenti toplinske provodljivosti iznose 1,68, 1,45 i 1,09 W/mK. I na tim se uzorcima

može uočiti dominantan utjecaj povećane zastupljenosti makropora na koeficijent toplinske provodljivosti. Iako je razina zastupljenosti makropora na uzorku L3 niža od one uočene na uzorku L2, zastupljenost kapilarnih pora registriranih na uzorku L3 u rasponu od 100 do 1000 nm je na maksimalnoj razini (46,39 %). Za sličnu razinu makropora dobiveno je značajno smanjenje koeficijenta toplinske provodljivosti usporedno s povećanjem zastupljenosti kapilarnih pora.

Na slici 7.a prikazana je kumulativna raspodjela obujma pora ovisno o promjeru pora te odnos između udjela pora, toplinske provodljivosti i tlačne čvrstoće za uzorke njegovane vlaženjem i sušenjem.

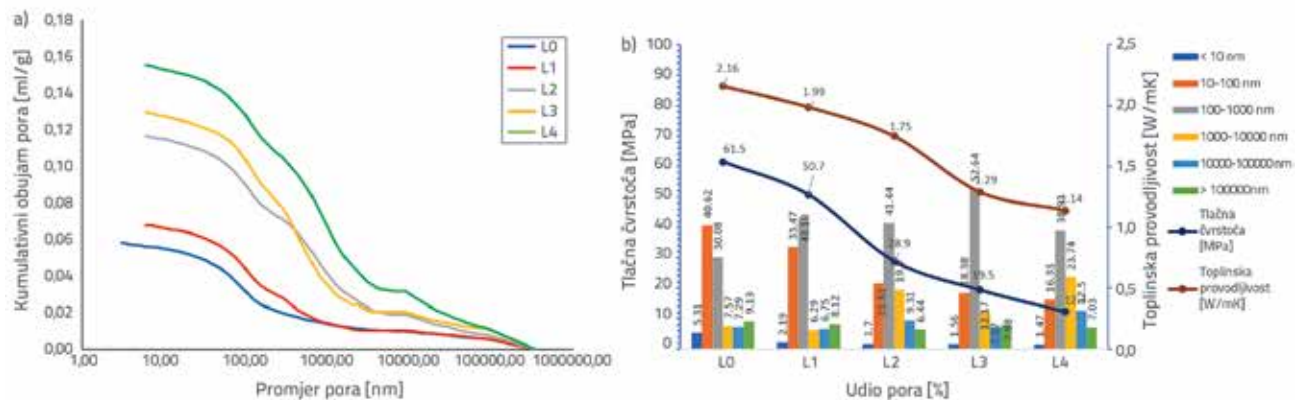
Na slici 7.a može se uočiti ravnomjerna raspodjela između tlačnih čvrstoća i čvrstoća na savijanje za sve uzorke od L0 do L4, što je uvjetovano visokim kumulativnim obujmom pora koji odgovara visokom stupnju ukupne poroznosti i srednjem promjeru promjera pora, pri čemu koeficijent toplinske provodljivosti po svojim karakteristikama odgovara uvjetima njege u vodi.

Što se tiče raspodjele veličine pora za uzorke L0 i L1, krivulje se podudaraju pri visokim promjerima, što je slično kao i kod trenda za njegu u vodi. Međutim, podudarnost se javlja pri vrijednostima od otprilike 1545 nm i više, što se razlikuje od njege u vodi.

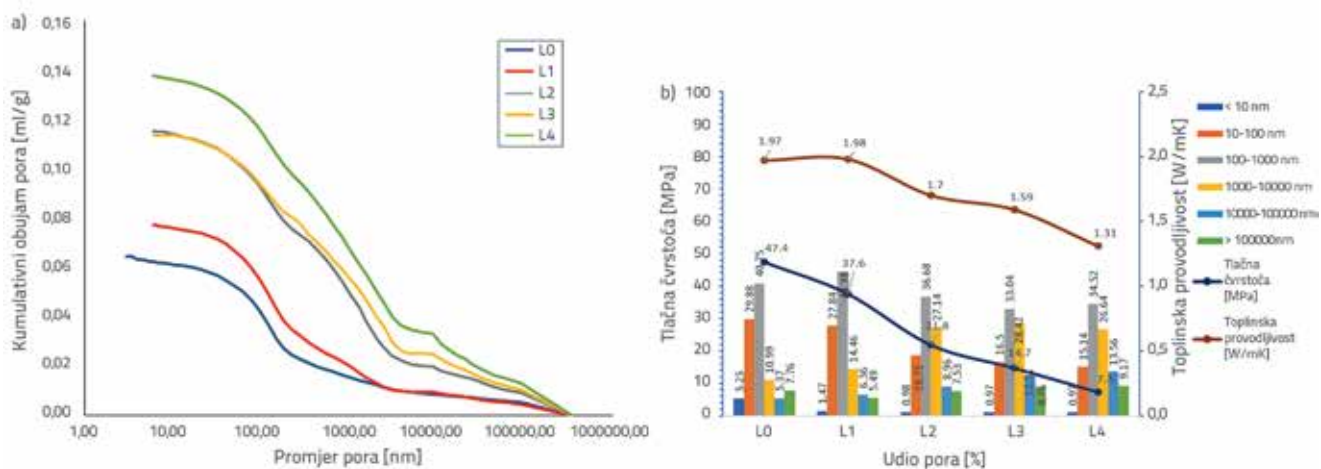
Uzorak L1 ima veći kumulativni obujam pora u rasponu kapilarnih pora od 3 do 1545 nm, ali mu je koeficijent toplinske provodljivosti niži u odnosu na uzorak L0. Stoga se može zaključiti da koeficijent toplinske provodljivosti iznosi 7,8 %.

Što se tiče krivulja za uzorke L2 (1,75 W/m.K) i L3 (1,29 W/m.K), uzorak L3 ima veći udio dodatka, a manji koeficijent toplinske provodljivosti, te manji kumulativni obujam pora u približnom rasponu promjera od 1000 do 9045 nm. No uzorak L3 ima veći kumulativni obujam pora u odnosu na ukupan raspon promjera za uzorak L2. Međutim, ako grafički prikaz povećamo u rasponu promjera do makrorazine, ukupna vrijednost poroznosti doseže 23,24 %, a uočava se koeficijent provodljivosti koji je niži od uzorka L2, uz ukupnu poroznost od 21,85 %.

Na slici 7.b vidimo da je kod njege vlaženjem i sušenjem promjena u zastupljenosti makropora manja u usporedbi s metodom njege u vodi. Unatoč ograničenoj promjeni u zastupljenosti



Slika 7. a) Kumulativna raspodjela veličina pora za sve uzorke njegovane postupkom vlaženja i sušenja prema podacima dobivenim MIP analizom; b) Odnos između udjela pora, toplinske provodljivosti i tlačne čvrstoće za uzorke njegovane vlaženjem i sušenjem



Slika 8. a) Kumulativna raspodjela veličina pora za sve uzorke njegovane magnezijevim sulfatom prema podacima dobivenim MIP analizom; b) Odnos između udjela pora, toplinske provodljivosti i tlačne čvrstoće za uzorke njegovane magnezijevim sulfatom

makropora, stalno povećanje kapilarnih pora (30,0-52,6 %) u rasponu od 100 do 1000 nm omogućuje linearno smanjenje koeficijenta toplinske provodljivosti. Minimalni koeficijent toplinske provodljivosti iznosi 1,14 W/mK za uzorak L4, a postiže se pri maksimalnom udjelu makropora (19,5 %).

Na slici 8.a prikazana je kumulativna raspodjela obujma pora ovisno o promjeru pora te odnos između udjela pora, toplinske provodljivosti i tlačne čvrstoće za uzorke njegovane magnezijevim sulfatom.

Analizom poroznosti, za sve uzorke od L0 do L4 uočava se kontinuirana raspodjela između tlačne čvrstoće i čvrstoća na savijanje, ovisno o velikom kumulativnom obujmu pora koji odgovara visokoj ukupnoj poroznosti i srednjem promjeru pora-obujma, pri čemu karakteristike koeficijenta toplinske provodljivosti odgovaraju onima zabilježenima kod druga dva načina njegovanja.

Vrijednosti toplinske provodljivosti uzoraka L0 i L1 vrlo su slične (1,97 W/mK i 1,98 W/mK). Krivulje raspršenosti podudaraju se od otprilike 2000 nm naviše; međutim, do te vrijednosti uzorak L1 ima veće vrijednosti kumulativni obujam pora. U početku se

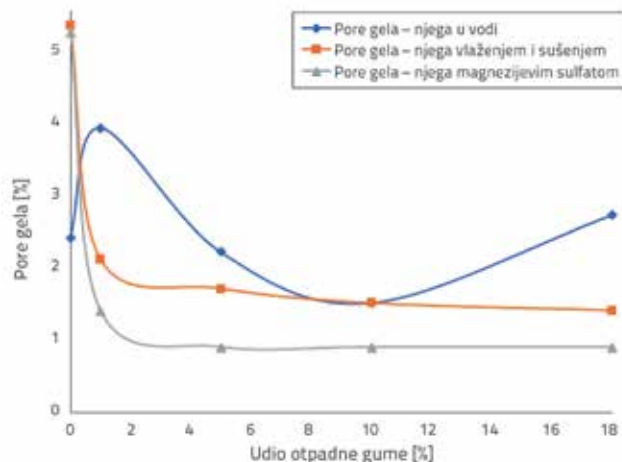
parcijalna razlika u kumulativnom obujmu pora između krivulja ne odražava na rezultate koeficijenta toplinske provodljivosti. Stoga se može reći da promjer makropora bitno utječe na koeficijent toplinske provodljivosti.

Situacija je gotovo posve jednaka kod uzoraka L2 (1,70 W/mK) i L3 (1,59 W / mK). Razlika između koeficijenata toplinske provodljivosti također je povezana s razlikom između makropora (16,4 % i 21,0 %) jer je raspored promjera pora gotovo jednak do vrijednosti od 150 nm.

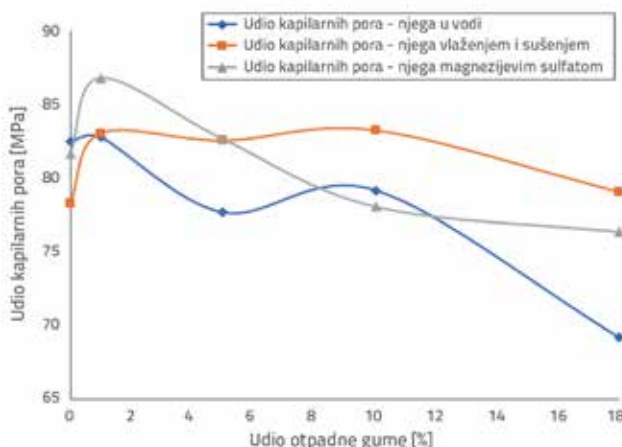
Kao što možemo vidjeti na slici 8.b, promjena u zastupljenosti makropora (11,8-22,7 %) u slučaju njege magnezijevim sulfatom utječe na veličinu koeficijenta toplinske provodljivosti. Na slici 9. prikazan je raspored pore gela u mortu ovisno o udjelu otpadne gume.

Kao rezultat njege u vodi, maksimalni udio pore gela (3,9 %) u skupini uzoraka njegovanih vodom bilježi se na uzorku L1 koji sadrži 1 % otpadne gume u mortu i ima najveći koeficijent toplinske provodljivosti (1,86 W/mK). Za njegu vlaženjem i sušenjem, vrijednosti pore gela iznose 5,2 %, a za njegu magnezijevim sulfatom iste vrijednosti iznose 5,2 % gdje se

u oba slučaja radi o uzorcima LO kojima nije dodana otpadna guma. Te se vrijednosti naglo smanjuju kod udjela otpadne gume od 1 %; udio pore gela polako se smanjuje s povećanjem udjela otpadne gume. Na slici 10. prikazan je raspored kapilarnih pora u mortu ovisno o udjelu otpadne gume u mortu.

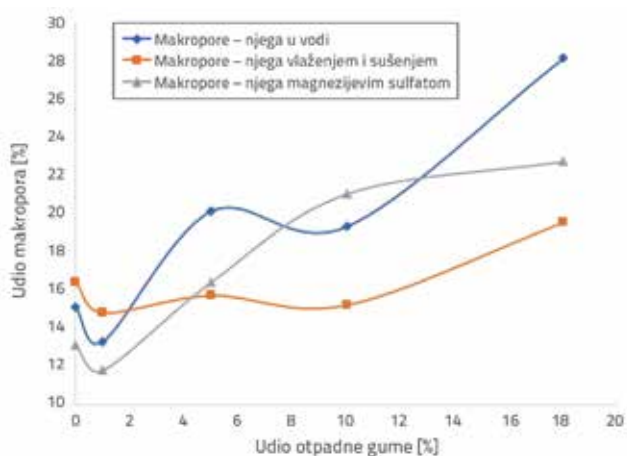


Slika 9. Odnos između udjela otpadne gume u mortu i udjela pore gela za mortove s dodatkom otpadne gume



Slika 10. Odnos između udjela otpadne gume u mortu i udjela kapilarnih pora za mortove s dodatkom otpadne gume

Kao rezultat njege vodom, maksimalni udio kapilarnih pora (83,1 %) u skupini uzoraka njegovanih vodom bilježi se na uzorku L1 koji sadrži 1 % otpadne gume i ima najveći koeficijent toplinske provodljivosti (1,86 W/mK). Kod njege magnezijevim sulfatom, u uzorku L1 koji sadrži 1 % otpadne gume, te u kojem je postignut najviši koeficijent toplinske provodljivosti (1,98 W/mK), postotak kapilarnih pora doseže svoju najveću vrijednost (86,8 %) što se podudara s njegom u vodi. Kod njege vlaženjem i sušenjem, kapilarne pore dosežu svoju maksimalnu vrijednost (83,1 %) kada udio otpadne gume u mortu iznosi 1 % (L1). Na slici 11. prikazan je raspored makropora u mortu ovisno o udjelu otpadne gume u mortu.



Slika 11. Odnos između udjela otpadne gume i udjela makropora za mortove s dodatkom otpadne gume

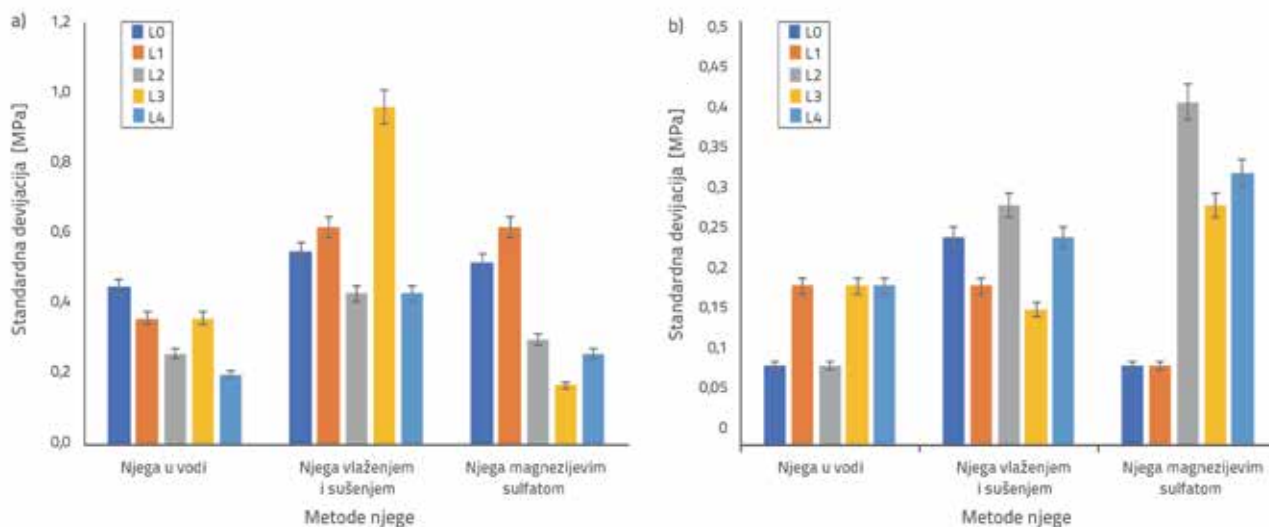
U svim uvjetima njege, kada udio otpadne gume u mortu iznosi 1 %, postotak makropora se u svim slučajevima smanjuje na minimum, a istovremeno koeficijent toplinske provodljivosti doseže svoj maksimum.

3.5. Odnos između rezultata ispitivanja i mehanizama svake metode njege

Standardna devijacija rezultata čvrstoće prikazana je na slici 12. Iznosi standardne devijacije izračunani su za svaku metodu njege.

Kao što se vidi na slici 12., standardne devijacije tlačne čvrstoće variraju od 0,2 do 0,45 MPa za skupinu njegovanu vodom, a standardne devijacije za skupine njegovane vlaženjem i sušenjem tj. magnezijevim sulfatom variraju od 0,43 do 0,96 MPa tj. od 0,17 do 0,62 MPa. Slični rezultati standardne devijacije dobiveni su i za ispitivanja čvrstoće na savijanje. Standardna devijacija čvrstoće na savijanje varira od 0,1 do 0,2 MPa za skupinu njegovanu vodom, a standardna devijacija za skupine njegovane vlaženjem i sušenjem tj. magnezijevim sulfatom variraju od 0,17 do 0,26 MPa tj. od 0,1 do 0,43 MPa. Analiza standardnih devijacija jasno pokazuje da su rezultati vrlo ujednačeni.

Ocjena mehaničke čvrstoće postignute njegom u vodi te vlaženjem i sušenjem pokazuje da se njegom vlaženjem i sušenjem mogu postići visoke vrijednosti čvrstoće za sve analizirane postotke otpadne gume. Ciklusi koji se provode u okviru njege vlaženjem i sušenjem pridonose stvaranju strukture pora koja pridonosi smanjenju ukupne poroznosti, što je povoljnije u odnosu na njegu u vodi. Smanjenje ukupne poroznosti omogućuje ispunjavanje pora u mortu kalcijevim silikatnim hidratom (C-S-H). Kako raste broj C-S-H veza, tako raste i tlačna čvrstoća i čvrstoća na savijanje uzoraka njegovanih vlaženjem i sušenjem, i to brže nego u slučaju njege u vodi. Ako se usporedi s metodom njege pomoću vode, treba napomenuti da je kod metode njege vlaženjem i sušenjem



Slika 12. Rezultati standardne devijacije: a) tlačne čvrstoće; b) čvrstoće na savijanje

(gdje se postižu pozitivni i zadovoljavajući rezultati u pogledu mehaničkih svojstava) izuzetno važno planirati ciklus sušenja koji počinje sedmog dana i to zbog interakcije relativne vlažnosti - hidratacije u prvih sedam dana hidratacije, uzimajući u obzir činjenicu da se 70 % granične otpornosti uzoraka morta postiže u prvih sedam dana.

Metodom njege pomoću magnezijevog sulfata uočeno je formiranje srednjeg promjera - obujma pora. To nije uočeno kod referentne njege vodom, bez obzira na ukupnu vrijednost poroznosti. U usporedbi s rezultatima njege vodom, iako smanjenje poroznosti pozitivno utječe na čvrstoću na savijanje, porast promjera pora dovodi do smanjenja tlačne čvrstoće. U slučaju njege magnezijevim sulfatom, povećanje srednjeg promjera pora - obujma dovodi tijekom hidratacije do stvaranja veze koja je krtija u usporedbi s njegovom pomoću vode. Sol magnezijevog sulfata koja se dodaje vodi u težinskom udjelu od 13 % dovodi tijekom hidratacije do stvaranja magnezijevog silikatnog hidrata. Magnezijev silikatni hidrat izuzetno je krt te slabi kalcijevu silikatnu vezu koja pozitivno utječe na tlačnu čvrstoću. Zato su, u slučaju njege pomoću magnezijevog sulfata, za sve udjele otpadne gume, dobivene tlačne čvrstoće niže od onih zabilježenih u slučajevima njege pomoću vode. Zbog pozitivnog utjecaja niske poroznosti na čvrstoću na savijanje, veća količina energije potrebna je da dođe do deformacije u cementnoj matrici.

4. Zaključak

U radu je analiziran utjecaj različitih metoda njege morta i dodavanja otpadne gume na mehanička svojstva, toplinsku provodljivost i strukturu pora u mortu. Na osnovi postignutih rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci vezano za rezultate ispitivanja tlačne čvrstoće, čvrstoće na savijanje te toplinske provodljivosti i strukture pora za različite metode njege.

Ocjena rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće:

- Minimalne vrijednosti čvrstoće uvijek su postizane pri istim udjelima otpadne gume na uzorcima koji su njegovani

vlaženjem i sušenjem tj. magnezijevim sulfatom. Rezultati postignuti za njegovanje u vodi negdje su u sredini između rezultata postignutih za ostala dva oblika njege.

- U intervalu od 0 do 18 % udjela otpadne gume u mortu, za koji je ovo eksperimentalno ispitivanje i provedeno, utvrđeno je da njega vlaženjem i sušenjem vrlo pozitivno utječe na tlačnu čvrstoću. Kako su za manje udjele dobivene niže vrijednosti ukupne poroznosti (0 do 5 %) te kako su niže vrijednosti srednjeg promjera pora -volumen dobivene pri većim udjelima otpadne gume (10 do 18 %), više su vrijednosti tlačne čvrstoće dobivene za njega vlaženjem i sušenjem u usporedbi s ostala dva oblika njege.
- Maksimalna vrijednost srednjeg promjera pora-obujma ostvaruje se za sve udjele otpadne gume pri njezi magnezijevim sulfatom, a kod ostala dva oblika njege dobivene su niže vrijednosti; stoga su najviši gubici tlačne čvrstoće registrirani za njega magnezijevim sulfatom.

Ocjena rezultata ispitivanja čvrstoće na savijanje:

- Najniže čvrstoće na savijanje dobivene su za sve udjele otpadne gume na uzorcima koji su njegovani vodom.
- Naglo smanjenje čvrstoće na savijanje uočeno je za udio otpadne gume od 5 % na uzorcima koji su njegovani vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom. Međutim, smanjenje čvrstoće na savijanje za udjele otpadne gume od 10 do 18 % posve je zanemarivo kod uzoraka njegovanih vlaženjem i sušenjem te magnezijevim sulfatom.

Ocjena rezultata toplinske provodljivosti i strukture pora:

- Koeficijent toplinske provodljivosti definiran je za različite uvjete njege; za slučaj njege vlaženjem i sušenjem, koeficijent toplinske provodljivosti izmjeren je za sve udjele otpadne gume i to od 1 % naviše. U slučaju njege vlaženjem i sušenjem zabilježen je pad od 7,8 % čak i kod udjela otpadne gume od samo 1 %. Međutim, za slučajeve njege magnezijevim

- sulfatom tj. vodom, zabilježen je pad od 13,7 % i 12,6 % pri 5-postotnim i 10-postotnim udjelima otpadne gume u mortu.
- U slučajevima njege vlaženjem i sušenjem, udio pora gela se smanjuje zbog povećanja udjela dodatka u mortu. U slučajevima njege magnezijevim sulfatom, udio pora gela postupno se smanjuje usporedno s dodavanjem dodatka u udjelima od 0 do 5 %, a na to smanjenje ne utječe povećanje udjela dodatka.
 - U različitim uvjetima njege, najviši udio kapilarnih pora i najniži udio makropora u pornoj strukturi morta zabilježen je pri udjelu otpadne gume od 1 %. Isto tako, u rasponu udjela otpadne gume od 0 do 18 %, koeficijent toplinske provodljivosti postiže najvišu vrijednost kada udio otpadne gume iznosi 1 % u slučajevima njege magnezijevim sulfatom tj. vodom. U ovom je ispitivanju zabilježen velik utjecaj 18-postotnoga udjela otpadne gume u mortu na toplinsku provodljivost, pogotovo u

usporedbi s referentnim uzorkom i to za bilo koji oblik njege. Taj je utjecaj utvrđen pri smanjenju od 33,5 % za njegu magnezijevim sulfatom, 34,3 % za njegu vodom te 47,2 % za njegu vlaženjem i sušenjem.

Što se tiče mehaničke čvrstoće i toplinske provodljivosti raznih mješavina, recepture morta s različitim postocima otpadne gume, koje se mogu definirati zadavanjem parametara u fazi projektiranja ovisno o namjeni i očekivanom trajanju konstrukcije, mogu se smatrati alternativnim rješenjem koje bi se moglo primijeniti umjesto tradicionalnih morta. Metoda njege vlaženjem i sušenjem omogućuje postizanje većih tlačnih i čvrstoća na savijanje, a njegovom magnezijevim sulfatom postižu se veće čvrstoće na savijanje od čvrstoća koje se ostvaruju primjenom tradicionalne metode njege u vodi i to za sve udjele aditiva. Rezultati čvrstoće upućuju na mogućnost proizvodnje montažnih elastičnih elemenata uz primjenu alternativnih metoda njege vlaženjem i sušenjem tj. uporabom magnezijevog sulfata.

LITERATURA

- [1] Sagar, M., Nibedita, K., Manohar, N., Kumar, K.R., Suchismita, S., Pradnyesh, A., Reddy, A.B., Sadiku, E.R., Gupta, U.N., Lachit, P., Jayaramudu, J.: A potential utilization of end-of-life tyres as recycled carbon black in EPDM rubber, *Waste Management*, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.003>
- [2] Subulan, K., Tasan, A.S., Baykasoglu, A.: Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming, *Appl. Math. Modell.*, 39 (2015), pp. 2661-2702.
- [3] Modell, M.: Processing methods for the oxidation of organics in supercritical water, U.S. Patent. 4338199, 1982.
- [4] Sharma, R.K., Yang, J., Zondlo, J.W., Dadyburjor, D.B.: Effect of process conditions on co-liquefaction kinetics of waste tire and coal, *Catal. Today*, 40 (1998), pp. 307-320.
- [5] Quek, A., Balasubramanian, B.: Liquefaction of waste tires by pyrolysis for oil and chemicals - a review, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 101 (2013), pp. 1-16.
- [6] Li, Q., Li, F., Meng, A., Tan, Z., Zhang, Y.: Thermolysis of scrap tire and rubber in sub/super-critical water, *Waste Management*, 71 (2018), pp. 311-319.
- [7] Abdul-Raouf, M.E., Maysour, N.E., Abdul-Azim, A.A., Amin, M.S.: Thermochemical recycling of mixture of scrap tyres and waste lubricating oil into high calorific value products, *Energy Conversion and Management*, 51 (2010), pp. 1304-1310.
- [8] Siddique, R., Naik, T.R.: Properties of concrete containing scrap-tire rubber - an overview, *Waste Management*, 24 (2004), pp. 563-569.
- [9] Cheng, X., Song, P., Zhao, X., Peng, Z., Wang, S.: *Waste Management*, 71 (2018), pp. 301-310.
- [10] Zheng, L., Huo, X.S., Yuan, Y.: Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete, *Constr. Build. Mater.*, 22 (2008) 5, pp. 939-947.
- [11] Marques, A.C., Akasaki, J.L., Trigo, A.P.M., Marques, M.L.: Influence of the surface treatment of tire rubber residues added in mortars, *The Ibracon Structures and Materials Journal*, 1 (2008) 2, pp. 113-120.
- [12] Angelin, F.A., Lintz, R.C.C., Gachet-Barbosa, L.A., Osório, W.R.: The effects of porosity on mechanical behaviour and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber, *Construction and Building Materials*, 151 (2017), pp. 534-545.
- [13] Oikonomou, N., Mavridou, S.: Improvement of chloride ion penetration resistance in cement mortars modified with rubber from worn automobile tires, *Cement Concr. Compos.*, 31 (2009), pp. 403-407.
- [14] Boukour, S., Benmalek, M.L.: Performance evaluation of a resinous cement mortar modified with crushed clay brick and tire rubber aggregate, *Construction and Building Materials*, 120 (2016), pp. 473-481.
- [15] Eiras, J.N., Segovia, F., Borrachero, M.V., Monzó, J., Bonilla, M., Paya, J.: Physical and mechanical properties of foamed Portland cement composite containing crumb rubber from worn tires, *Materials and Design*, 59 (2014), pp. 550-557.
- [16] Corinaldesi, V., Mazzoli, A., Moricon, G.: Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing wasterubber particles, *Materials and Design*, 32 (2011), pp. 1646-1650.
- [17] Fadiel, A., Al Rifaie, F., Abu-Lebdeh, T., Fini, E.: Use of crumb rubber to improve thermal efficiency of cement-based materials, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7 (2014) 1, pp. 1-11.

- [18] Nahata, Y., Kholia, N., Tank, T.: Effect of curing methods on efficiency of curing of cement mortar, *APCBEE Procedia*, 9 (2014), pp. 222-229.
- [19] Aprianti, E., Shafigh, P., Zawawi, R., Hassan, Z.F.A.: Introducing an effective curing method for mortar containing high volume cementitious materials, *Constr. Build. Mater.*, 107 (2016), pp. 365-377.
- [20] Benli, A., Karatas, M., Bakir, Y.: An experimental study of different curing regimes on the mechanical properties and sorptivity of self-compacting mortars with fly ash and silica fume, *Constr. Build. Mater.*, 144 (2017), pp. 552-562.
- [21] Nasr, D., Pakshir, A.H., Ghayour, H.: The influence of curing conditions and alkaline activator concentration on elevated temperature behaviour of alkali activated slag (AAS) mortars, *Constr. Build. Mater.*, 190 (2018), pp. 108-119.
- [22] Bostancı, L., Ustundag, O., Sola, O., Uysal, M.: Effect of various curing methods and addition of silica aerogel on mortar properties, *GRAĐEVINAR*, 71 (2019) 8, pp. 651-661, <https://doi.org/10.14256/JCE.2469.2018>.
- [23] Turki, M., Bretagne, E., Rouis, M.J., Queneudec, M.: Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures, *Constr. Build. Mater.*, 23 (2009) 2715-2722.
- [24] Rashad, A.M.: A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5 (2016), pp. 46 -82.
- [25] Girskas, G., Nagrockiene, D.: Nagrockiene, Crushed rubber waste impact of concrete basic properties, *Constr. Build. Mater.*, 140 (2017), pp. 36-42.
- [26] Thomas, B.S., Gupta, R.C.: A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140 (2017), pp. 36-42.