

Utjecaj tretmana gumenog agregata na mehanička svojstva cementom stabiliziranog nosivog sloja s otpadnom gumom

Zvonarić, Matija

Source / Izvornik: **Zajednički temelji 2023. - uniSTem : deseti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, Split, 14.-17. rujna, 2023. : zbornik radova, 2023, 44 - 49**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.31534/10.ZT.2023.03>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:587837>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

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



UTJECAJ TRETMANA GUMENOG AGREGATA NA MEHANIČKA SVOJSTVA CEMENTOM STABILIZIRANOG NOSIVOG SLOJA S OTPADNOM GUMOM

Matija Zvonarić¹

(1) Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet
Osijek, Republika Hrvatska, mzvonaric@gfos.hr

Sažetak

Ugradnja otpadne gume u cementom stabilizirane nosive slojeve kolnika pokazuje nedostatke kao što je smanjenje čvrstoće mješavine. Kako bi se ti nedostaci nadomjestili, guma se može tretirati različitim sredstvima i na različite načine. Ovo istraživanje obuhvaća tretiranje gume natrijevim hidroksidom i kipućom vodom. Guma tretirana na ovaj način ugrađena je u mješavinu definiranu u sklopu projekta „RubSuPave“ koja nije zadovoljila uvjete tlačne čvrstoće za ugradnju u nosive slojeve kolnika. Rezultati pokazuju kako oba tretmana gume uzrokuju smanjenje tlačne čvrstoće mješavine. Pri tome je smanjenje nakon 7 dana podjednako, dok su bolji rezultati postignuti nakon 28 dana tretmanom natrijevim hidroksidom. Uz to, nakon 28 dana njege postignuta je veća krutost stabilizacijske mješavine s gumom tretiranom natrijevim hidroksidom. Dodatno je analizirana i površina gume pretražnim elektronskim mikroskopom čime je utvrđeno kako su oba tretmana uzrokovala znatnu nepravilnost površine gume. Primijenjenim metodama nije postignuto povećanje čvrstoće mješavine.

Ključne riječi: stabilizacijska mješavina, otpadna guma, čvrstoća, krutost, RubSuPave

IMPACT OF RUBBER AGGREGATE TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT STABILIZED BASE COURSE WITH WASTE RUBBER

Abstract

The incorporation of waste rubber in cement-stabilized bearing layers exhibits drawbacks, such as a reduction in the mixture's strength. To address these drawbacks, various treatments can be applied to the rubber. This research investigates the treatment of rubber with sodium hydroxide and boiling water. The rubber treated using these methods was incorporated into a mixture defined within the „RubSuPave“ project that did not meet the compressive strength requirements for installation in the pavement's bearing layers. The results indicate that both rubber treatments lead to a decrease in the compressive strength of the mixture. After 7 days, the reduction is similar for both treatments, while better results were achieved after 28 days with the sodium hydroxide treatment. Additionally, after 28 days of curing, the rubber treated with sodium hydroxide exhibited increased stiffness in the stabilization mixture. Furthermore, the rubber surface was analyzed using a scanning electron microscope, revealing significant irregularities caused by both treatments. The applied methods did not result in an increase in the mixture's strength.

Keywords: stabilized mixture, waste rubber, strength, stiffness, RubSuPave

1. Uvod

Cementom stabilizirani nosivi sloj (CNS) ugrađuje se u kolničke konstrukcije velikog prometnog opterećenja i kao takav izložen je ponavljajućem dinamičkom opterećenju prenesenom preko osovina vozila. Ovaj materijal ima veliku krutost i kao posljedica podložan je nastanku pukotina i njihovom širenju [1]. Kao jedna od mjera smanjenja nastanka takvih pukotina istražuje se upotreba prerađene otpadne gume u stabilizacijskim mješavinama. No, istraživanja pokazuju kako guma ima negativan utjecaj na tlačnu čvrstoću, indirektnu vlačnu čvrstoću i čvrstoću na savijanje [2–4]. Primjena otpadne gume u stabilizacijskoj mješavini istražuje se i na *Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijek* u okviru projekta „RubSuPave“. Rezultati ovog projekta, također, pokazuju kako guma izaziva smanjenje tlačne čvrstoće mješavina [5–7]. Kvalitetu ovog materijala ponajprije karakterizira njegova tlačna čvrstoća. Osim temeljem tlačne čvrstoće, ponašanje ovog materijala moguće je okarakterizirati i pomoću njegove krutosti. Mjere krutosti materijala su dinamički i statički modul elastičnosti. Zbog jednostavnosti primjene i nerazorne prirode provođenja ispitivanja, najzastupljenija je metoda određivanja dinamičkog modula elastičnosti mjerenjem brzine prolaska ultrazvučnog impulsa [8,9]. Stoga se dinamički modul elastičnosti češće koristi u okviru laboratorijskih ispitivanja. Autori Farhan i suradnici [3] tvrde kako povećanjem udjela gume u mješavini dolazi do smanjenja dinamičkog modula elastičnosti, odnosno upotrebom gume dolazi do smanjenja krutosti mješavine. Kako bi se negativan utjecaj gume smanjio, istraživači primjenjuju različite metode površinskog tretiranja gumenog agregata s ciljem boljeg povezivanja gume s cementnom pastom unutar mješavine. Pri tome, u fokusu su tretmani gume koji ne zahtijevaju znatne modifikacije proizvodnog procesa i znatno povećanje cijene materijala. Takve metode su tretman gumenog agregata otopinom natrijevog hidroksida i tretman gumenog agregata kipućom vodom. Ovi materijali su jeftini, lako dostupni i lako primjenjivi. No, primjena ovih metoda je za sada istražena samo za betone s otpadnom gumom. Primjenom natrijevog hidroksida u tretiranju gume dolazi do reakcije NaOH i cinkovog stearata čime osnažuju veze između gume i cementne paste [10]. Autori Agrawal i suradnici [11] tretirali su gumena vlakna 1 molarnom otopinom natrijevog hidroksida (4 %-tna otopina). Kao rezultat povećana je tlačna čvrstoća betona u odnosu na beton s netretiranim gumenim vlaknima. Nadalje, tretmanom gume otopinom NaOH dolazi do stvaranja valovite površine čestice gume što omogućava bolje obavijanje gume cementnom pastom. Modifikacija gume natrijevim hidroksidom eliminira hidrofobnu prirodu gume što omogućava bolju adheziju između gume i cementne paste [12,13]. U radu [13] autori ističu kako se tretmanom otopinom NaOH ne postiže smanjenje površinskih nepravilnosti koje povećavaju poroznost matrice i smanjuju njena mehanička svojstva. S druge strane, tretiranjem gume visokom temperaturom postiže se smanjenje masenog udjela cinka u gumi koji je uzrok slabih unutarnjih veza između gume i cementne paste. Nadalje, zagrijavanjem gume izgaraju nečistoće te ona stvara svojevrsnu ljušturu čime se smanjuje njena elastičnost [14]. Unutar ovog istraživanja biti će ispitana mogućnost primjene tretmana gume natrijevim hidroksidom sa svrhom smanjenja hidrofobnosti gume i osnaženja unutarnjih veza između gume i cementne paste. Druga metoda koja će biti primijenjena je dodavanje kipuće vode u mješavinu agregata kako bi se postigli učinci metode zagrijavanja gume te spriječilo potencijalno smanjenje elastičnosti čestica gume. Ove metode bit će primijenjene na mješavini

ispitanoj u okviru projekta „RubSuPave“ koja nije zadovoljila zahtjeve za tlačnu čvrstoću propisane Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama [15]. Cilj ovog istraživanja je poboljšati povezanost gume s ostatkom matrice stabilizacijske mješavine metodom koja ne zahtjeva promjene u tehnološkom procesu proizvodnje i ugradnje mješavine. Kao rezultat bolje povezanosti očekuje se veća čvrstoća mješavine.

2. Metodologija

2.1. Priprema uzoraka

Cilindrični uzorci za ispitivanje tlačne čvrstoće i brzine prolaska ultrazvučnog impulsa proizvedeni su pomoću vibrirajućeg čekića postupkom opisanim u normi HRN EN 13286 – 51 [16]. Ispitana je mješavina s 5 % cementa i 30 % volumne zamjene pijeska s gumenim granulatom (C5R30). Detaljan opis mješavine prikazan je u radu [5]. Primijenjena su dva tretmana gume. Jedan tretman obuhvaća potapanje gume u 5 %-tnu otopinu natrijevog hidroksida (C5R30 – NaOH) u trajanju od sat vremena. Nakon toga guma je temeljito isprana na situ pod mlazom vode. Drugi tretman je proveden na način da se zamiješanoj mješavini agregata dodala kipuća voda (C5R30 - 100°C) u količini ekvivalentnoj optimalnoj količini vode definiranoj za mješavinu. Mješavina je zatim zamiješana i ostavljena sat vremena da se ohladi na sobnoj temperaturi prije dodavanja cementa kako se toplom vodom ne bi ubrzao proces hidratacije cementa i stvaranja snažnih unutarnjih naprezanja u ranom razdoblju njege. Uzorci su njeđovani 7 i 28 dana.

2.2. Ispitivanje dinamičkog modula elastičnosti

Dinamički modul elastičnosti određen je primjenom nerazorne metode mjerenja brzine ultrazvučnog impulsa. Postupak se provodi prema normi za testiranje betona HRN EN 12504 – 4 [17]. Mjerenje brzine prolaska ultrazvučnog impulsa mjeri se pri frekvenciji do 54 kHz na način da se prijarnik i predajnik ultrazvučnog impulsa postave okomito na bazu horizontalno položenog cilindričnog uzorka. Kontakt hrapave površine uzorka i uređaja osigurava se gelom. Dinamički modul elastičnosti se potom računa prema izrazu danom u navedenoj normi.

2.3. Ispitivanje tlačne čvrstoće

Ispitivanje tlačne čvrstoće uzorka provedeno je na automatskoj preši prema normi HRN EN 13286 – 41 [18]. Ispitivanje obuhvaća opterećenje uzorka vertikalnom silom s kontinuiranim prirastom. Do loma uzorka treba doći između 30. i 120. sekunde od početka unosa opterećenja pa se sukladno tome, temeljem iskustva, određuje prirast sile tijekom ispitivanja.

2.4. Mikroanaliza pretražnim elektronskim mikroskopom (SEM)

Zbog boljeg razumijevanja mehanizama unutar matrice mješavine, morfologija gumenih čestica prije i nakon dvaju tretmana analizirana je pretražnim elektronskim mikroskopom (eng. scanning electron microscope – SEM). Prije analize pomoću SEM-a uzorak je potrebno u potpunosti osušiti te osigurati dobru obavijenost uzorka elektroprovodljivim materijalom. U ovom slučaju uzorak je obavijen zlatom.

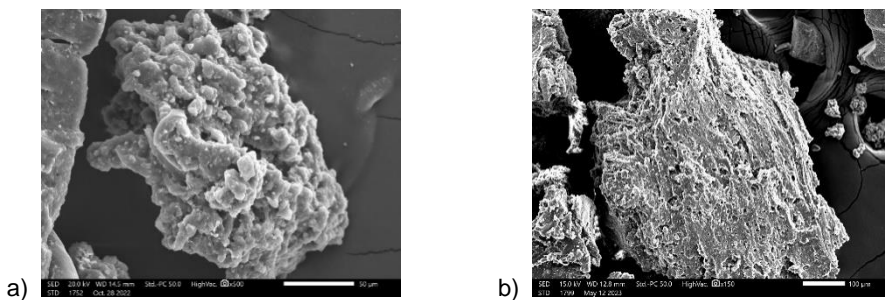
3. Rezultati

Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti i tlačne čvrstoće nakon 7 i 28 dana njege prikazani su tablicom 1.

Tablica 1. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće i dinamičkog modula elastičnosti

Mješavina	Tlačna čvrstoća [MPa]		Dinamički modul elastičnosti [GPa]	
	7 dana	28 dana	7 dana	28 dana
C5R30	1.56	1.94	5.656	8.588
C5R30 - NaOH	1.03	1.74	4.875	8.856
C5R30 - 100°C	1.05	1.33	4.833	6.853

Prikazani rezultati pokazuju kako se nije postiglo očekivano povećanje mehaničkih svojstava materijala tretmanom korištene gume. Kod oba tretmana došlo je do podjednakog pada tlačne čvrstoće uzoraka nakon 7 dana njege i to za 34.11 % i 32.82 %. Dinamički modul elastičnosti nakon 7 dana, također, pokazuje slične rezultate. Pad dinamičkog modula elastičnosti za tretman natrijevim hidroksidom nakon 7 dana iznosi 13.82 %, a za tretman kipućom vodom 14.55 %. Nakon 28 dana njege rezultati su nešto drugačiji. Uočen je znatno manji pad čvrstoće i modula mješavina tretiranih natrijevim hidroksidom u odnosu drugu mješavinu. Kod tretmana natrijevim hidroksidom nakon 28 dana došlo je do pada čvrstoće za 10.53 % i porasta modula za 3.13 %. Tretman kipućom vodom je nakon 28 dana rezultirao padom čvrstoće za 31.32 % i modula za 20.20 %. Temeljem ovih rezultata, tretman kipućom vodom može se odbaciti kao metoda za poboljšanje mehaničkih svojstava mješavine, dok tretman natrijevim hidroksidom pokazuje određeno poboljšanje nakon duljeg vremena njege. Očito je kako je natrijev hidroksid smanjio negativni utjecaj cinka i izazvao stvaranje jačih veza unutar matrice što je vidljivo u većoj krutosti postizanjem većeg modula elastičnosti. No, bez obzira na povećanje krutosti mješavine, došlo je do smanjenja tlačne čvrstoće što nije u skladu s istraživanjima u betonima s tretiranom otpadnom gumom [11]. Naime, u mješavini betona prisutno je znatno više cementne paste koja u potpunosti obavlja zrna agregata, dok to nije slučaj u stabilizacijskoj mješavini. Kako bi se otkrio razlog smanjenja tlačne čvrstoće provedena je analiza pretražnim elektronskim mikroskopom. Na Slici 1. a) prikazana je čestica gume tretirana natrijevim hidroksidom, dok je na Slici 1. b) prikazana guma tretirana kipućom vodom. Guma sa Slike 1. a) ima znatno hrapaviju površinu u odnosu na gumu sa Slike 1. b). Nadalje, guma tretirana kipućom vodom ima ravniju površinu ispunjenu porama do kojih je, vjerojatno, došlo zbog kidanja molekularnih veza uslijed visoke temperature. Analizom površine gume može se zaključiti kako je u oba slučaja gumena čestica zarobila čestice zraka u porama i time stvorila poroznu strukturu matrice i izazvala smanjenje tlačne čvrstoće obje mješavine.



Slika 1. Analiza čestica gume pretražnim elektronskim mikroskopom

4. Zaključak

U ovom istraživanju primijenjene su dvije metode površinskog tretmana gumenih čestica s ciljem povećanja čvrstoće mješavine. Objе metode su rezultirale povećanom površinom čestica koja zarobljava molekule zraka i time stvara poroznu matricu mješavine. Takve mješavine razvijaju manje čvrstoće. No, tretiranje gume natrijevim hidroksidom izazvalo je manje smanjenje tlačne čvrstoće nakon duljeg vremena njege i povećanje modula elastičnosti. Ovim tretmanom umanjen je negativni utjecaj cinka na hidrataciju i osigurano je bolje povezivanje gume s cementom pastom što rezultira većom krutosti mješavine.

Zahvala

Ovo istraživanje financirano je sredstvima Hrvatske zaklade za znanost u okviru projekta UIP – 2019 – 04 – 8195 Cementom stabilizirani nosivi slojevi s otpadnom gumom za održive kolnike – „RubSuPave“.

Literatura

- [1] Zvonarić, M., Dimter, S.: Prevention and remediation measures for reflective cracks in flexible pavements, *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 74(3), pp. 189–97, 2022, doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.14256/JCE.3427.2021>
- [2] Farhan, A.H., Dawson, A.R., Thom, N.H. :Characterization of rubberized cement bound aggregate mixtures using indirect tensile testing and fractal analysis, *Construction and Building Materials*, 105, pp. 94 - 102, 2016, doi: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.018>
- [3] Farhan, A.H., Dawson, A.R., Thom, N.H., Adam, S., Smith, M.J.: Flexural characteristics of rubberized cement-stabilized crushed aggregate for pavement structure, *Materials and Design*, 88, pp. 897-905, 2015, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.071>
- [4] Farhan, A.H., Dawson, A.R., Thom, N.H.: Compressive behaviour of rubberized cement-stabilized aggregate mixtures, *Construction and Building Materials*, 262(120038), 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120038>
- [5] Zvonarić, M., Barišić, I., Galić, M., Minažek, K.: Influence of Laboratory Compaction Method on Compaction and Strength Characteristics of Unbound and Cement-Bound Mixtures, *Applied Sciences* 11(11), 2021, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11114750>

- [6] Zvonarić, M., Barišić, I., Dokšanović, T., Zagvozda, M.: Preliminary research on waste rubber application in cement bound base layer, 30th International Baltic Road Conference (IBRC 2021), Riga, Latvia, 2021, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1202/1/012047>
- [7] Barišić, I., Zvonarić, M., Netinger Grubeša, I., Šurdonja, S.: Recycling waste rubber tyres in road construction, Archives of Civil Engineering, 67(1), pp. 499-512, 2021, doi: <https://doi.org/10.24425/ace.2021.136485>
- [8] Barišić, I., Dokšanović, T., Draganić, H.: Characterization of hydraulically bound base materials through digital image correlation, Construction and Building Materials, 83, pp. 299–307, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.033>
- [9] Barišić, I., Dimter, S., Rukavina, T.: Characterization of cement stabilized pavement layers with ultrasound testing, Technical Gazette, 2016, 23(2), pp. 447 – 53, doi: [10.17559/TV-20140916142451](https://doi.org/10.17559/TV-20140916142451)
- [10] Liu, L., Wang, C., Liang, Q., Chen, F., Zhou, X.: A state-of-the-art review of rubber modified cement-based materials: Cement stabilized base, Journal of Cleaner Production, 392(136270), 2023, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136270>
- [11] Agrawal, D., Waghe, U., Ansari, K., Dighade, R., Amran, M., Qader, D.N., et al.: Experimental effect of pre-treatment of rubber fibers on mechanical properties of rubberized concrete, Journal of Materials Research and Technology, 23, pp. 791 - 807, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.027>
- [12] Noor Azline, M.N., Nabilah, A.B., Nor Azizi, S., Farah Nora Aznieta, A.A.: A comparative investigation on mechanical strength of blended concrete with surface modified rubber by chemical and non-chemical approaches, Case Studies in Construction Materials, 17(e01444), 2022, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01444>
- [13] Assaggaf, R.A., Maslehuddin, M., Al-Dulaijan, S.U., Al-Osta, M.A., Ali, M.R., Shameem, M.: Cost-effective treatment of crumb rubber to improve the properties of crumb-rubber concrete, Case Studies in Construction Materials, 16(e00881), doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00881>
- [14] Yousf, O., Swilam, A., Tahwia, A.M.: Performance of crumb rubber concrete made with high contents of heat pre-treated rubber and magnetized water, Journal of Materials Research and Technology, 23, pp. 2160 - 2176, 2023, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.146>
- [15] Institut građevinarstva Hrvatske, Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III Kolnička konstrukcija, Zagreb: 2001.
- [16] European committee for standardization. HRN EN 13286-51:2004 Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine - 51. dio: Metoda za izradu ispitnih uzoraka hidrauličnim vezivom vezanih mješavina zbijanjem vibracijskim čekićem. Brussels, Belgium: 2004.
- [17] EN 12504-4:2021 Ispitivanje betona u konstrukcijama - 4. dio: Određivanje brzine ultrazvučnog impulsa. Brussels: 2021.
- [18] European committee for standardization. HRN EN 13286-41- dio: Ispitna metoda za određivanje tlačne lvrstoće hidrauličnim vezivom vezanih mješavina. Brussels, Belgium: 2021.