

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2021.20>

RUBSUPAVE - MOGUĆNOST PRIMJENE RECIKLIRANE GUME U CEMENTOM STABILIZIRANIM NOSIVIM SLOJEVIMA KOLNIKA

RUBSUPAVE - POSSIBILITY OF USING RECYCLED RUBBER IN PAVEMENT CEMENT STABILIZED BEARING COURSES

Matija Zvonarić¹

(1) Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, Osijek, R. Hrvatska, mzvonaric@qfos.hr

Sažetak

Cementom stabilizirani nosivi slojevi u kolničkoj konstrukciji povećavaju nosivost, pružaju ravnu podlogu za asfaltne slojeve i sprječavaju ispumpavanje materijala prema gore. Unatoč pozitivnim karakteristikama ovoga sloja, postoje i negativni učinci. Prilikom stvrdnjavanja ovih mješavina, što je rezultat hidratacije cementa, dolazi do skupljanja materijala te se proizvode vlačna naprezanja. Kao posljedica nastaju pukotine koje se pod utjecajem vremenskih činitelja i dinamičkoga prometnog opterećenja šire i reflektiraju na asfaltne slojeve. Kako bi se spriječili ili smanjili negativni učinci, istražuje se primjena alternativnih materijala u ovim slojevima. U ovome radu predstavljen je projekt *RubSuPave* koji se provodi na Građevinskome i arhitektonskom fakultetu Osijek koji istražuje mogućnosti upotrebe reciklirane gume u cementom stabiliziranim nosivim slojevima kolnika. Cilj je projekta utvrditi utjecaj gume na pojavu reflektivnih pukotina u kolničkim konstrukcijama.

Ključne riječi: cementom stabilizirani nosivi slojevi, reciklirana guma, reflektivne pukotine, RubSuPave

Abstract

Cement bound base course in pavement increase its bearing capacity, provides flat surface for asphalt layers and prevent pumping material upwards. Despite all positive characteristics of this course, there are some negative effects. During hardening of the mixture, which is a result of cement hydration, material starts to shrink which induces tensile strains. As a result, cracks occurs and star to propagate under climatic conditions and dynamic traffic load. Those cracks reflect to asphalt layers. In order to prevent or minimize those negative effects, application of alternative materials is being investigated. In this paper, project *RubSuPave* which is carried out on Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, is presented. Project is dealing with investigating the possibility of application of recycled rubber in pavement cement stabilized bearing courses. The objective of this project is to determine impact of recycled rubber on reflective crack occurrence in pavement.

Keywords: cement bound base courses, recycled rubber, reflective cracks, RubSuPave

1. Uvod

U cestama opterećenim srednje teškim, teškim i vrlo teškim prometnim opterećenjem uobičajena je primjena cementom stabiliziranih nosivih slojeva. Ovi slojevi povećavaju nosivost kolničke konstrukcije, osiguravaju dovoljnu ravnost za polaganje asfaltnih slojeva i onemogućavaju ispumpavanje materijala kroz više slojeve kolničke konstrukcije. Uobičajene su količine cementa u mješavinama ovih slojeva od 3 % do 8 %, ovisno o tipu agregata i traženoj nosivosti sloja. Kao posljedica hidratacije dolazi do skupljanja materijala čime nastaju vlačna naprezanja unutar stabiliziranoga sloja koja uzrokuju nastanak pukotina. Dinamička priroda prometnoga opterećenja izaziva posmična naprezanja na licima pukotina što dovodi do njihova širenja. Na širenje pukotina utječu i temperaturne razlike, osobito u područjima s niskim zimskim temperaturama, i vlažnost. U uvjetima niskih temperatura, osim pucanja veza cementne paste, zaostala voda u pukotinama smrzava se i time utječe na širenje pukotina. Kombinacijom navedenih utjecaja pukotine vrlo brzo propagiraju prema gore i dolaze do kontakta stabiliziranih slojeva s asfaltnim slojevima. Mjesto gdje se pukotina proširila do kontakta slojeva stabilizacijska mješavina više nije u mogućnosti preuzeti i prenijeti prometno opterećenje, nego se naprezanje akumulira u vrhovima pukotine. Posljedica toga je pucanje asfaltnoga sloja i tako nastalu pukotinu nazivamo reflektivnom pukotinom. Ove pukotine vrlo brzo napreduju do vozne površine asfalta i narušavaju udobnost i sigurnost vožnje. Fenomen reflektivnih pukotina dovodi do ubrzanoga propadanja kolničkoga zastora i povećanja troškova njegova održavanja. Unatoč problemu skupljanja, velika je korist upotrebe ovih mješavina u cestogradnji te je potrebno maksimalno smanjiti negativne pojave. Velik broj istraživača vidi rješenje ovoga problema u upotrebi alternativnih materijala u cementom stabiliziranim slojevima. Opsežno je istražena upotreba čelične zgure u stabilizacijskim mješavinama. Čelična zgura povećava tlačnu čvrstoću i dinamički modul elastičnosti u mješavinama sa šljunkom [1, 2]. U vapnenačkim agregatima dokazan je pozitivan učinak čelične zgure na proces skupljanja [3]. Kod razmatranja alternativnih materijala važno je da primjena tih materijala ima i ekonomski i ekološki učinak, a čelična zgura, kao nusproizvod proizvodnje čelika, zadovoljava oba aspekta. Nadalje, leteći je pepeo kao još jedan industrijski nusproizvod prilično zastupljen u istraživanjima. Zbog svojih pucolanskih svojstava leteći pepeo koristi se kao zamjena za vezivni materijal. Dokazano je kako cement može biti zamijenjen letećim pepelom do 25 % udjela. Leteći pepeo usporava hidrataciju čime bitno utječe na smanjenje skupljanja. Bez obzira na usporenje hidratacije, mješavina nakon dužega razdoblja postiže zadovoljavajući stupanj tlačne čvrstoće [4, 5]. Leteći pepeo u količinama < 15 % ima pozitivan učinak i na otpornost mješavina na utjecaj smrzavice [6]. Reciklirani asfalt nastao rekonstrukcijom kolnika također ima potencijal za ugradnju u stabilizirane nosive slojeve. Stabilizacijske mješavine s recikliranim asfaltom postižu veću duktilnost [7]. Udio recikliranoga asfalta koji se može koristiti u ovim slojevima seže do 70 % [7, 8], a dokazana je i mogućnost upotrebe ovoga materijala u kombinaciji s drugim otpadnim građevinskim materijalima [9]. S obzirom na rastući broj prijevoznih sredstava po glavi stanovnika, i u Europi i u svijetu, zbrinjavanje iskorištenih guma predstavlja sve veći problem. U ovome će se radu prikazati mogućnosti primjene reciklirane gume u stabilizacijskim mješavinama. Bit će predstavljen i projekt ispitivanja mogućnosti primjene gume u kolničkim konstrukcijama koji se provodi na Građevinskome i arhitektonskom fakultetu Osijek pod akronimom *RubSuPave*.

2. Primjena reciklirane gume u stabiliziranome nosivom sloju

Provedena su brojna istraživanja o mogućnostima primjene reciklirane gume u asfaltima proizvedenim po hladnome i toplome postupku, dok su istraživanja o mogućnostima primjene reciklirane gume u nosivim slojevima ograničena. Yadav i Tiwari [10] istražili su utjecaj gume u stabiliziranoj glini. Uočili su smanjenje čvrstoće što pripisuju slabijim vezama između čestica gume i gline. Kao pozitivne učinke ističu povećanje CBR-a za dodatak gume u količini od 2,5 % i povećanje duktilnosti mješavine. Arulrajah i suradnici [11] istražili su mogućnost primjene reciklirane gume u drobljenome kamenu. Dodatak gume od 2 % doveo je do smanjenja krutosti mješavine. Farhan i suradnici [12–15] proveli su opsežna istraživanja o mogućnostima primjene reciklirane gume u šljunkovitim materijalima u količinama od 15 %, 30 % i 45 %. U njihovim istraživanjima dodatak gume doveo je do pada čvrstoće, gustoće i krutosti [12]. Nadalje, dolazi do većega pada čvrstoće s dodatkom gume kod čvršćih mješavina, odnosno kod mješavina s većim udjelom cementa [13]. Prema tome autori preporučuju upotrebu gume u mješavinama s nižim udjelom cementa. U svome radu Farhan i suradnici [14] ističu prigušujući efekt gume prilikom zbijanja pomoću vibracija zbog čega dolazi do disipacije energije zbijanja. Nakon proučavanja odnosa naprezanja i deformacija autori zaključuju kako pukotine napreduju kroz čestice gume za koje se smatra da apsorbiraju energiju. Uočeno je i kako se pojavljuje manji broj velikih pukotina s većim brojem malih. Pham i suradnici [16, 17] istražili su utjecaj aditiva na stabilizacijske mješavine s gumom i zaključili kako aditivi ojačavaju veze između čestica gume i cementne paste te samim time povećavaju čvrstoću mješavine i otpornost mješavine na uvjete smrzavice. U zimskim uvjetima teže dolazi do pucanja unutarnjih veza.

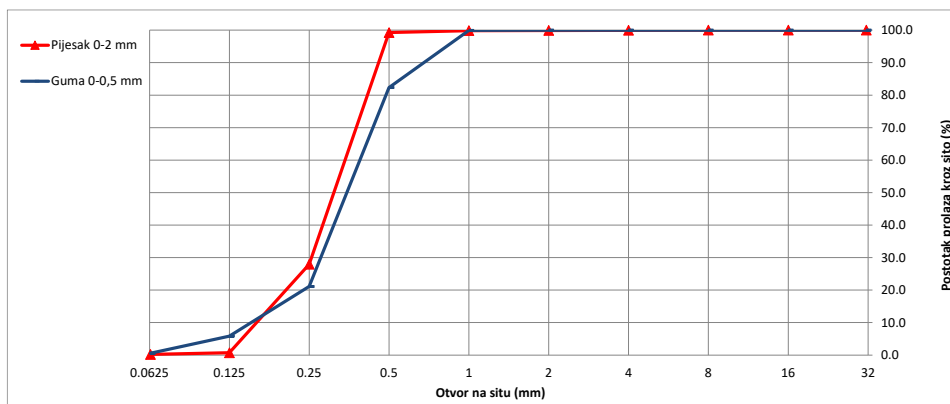
3. Projekt *RubSuPave*

Potaknuti mogućnošću primjene reciklirane gume u stabilizacijskim mješavinama i ekološkim aspektom zbrinjavanja sve većega broja iskorištenih guma na Građevinskome i arhitektonskom fakultetu Osijek, započela je provedba uspostavnoga istraživačkog projekta pod nazivom *Cementom stabilizirani nosivi slojevi s otpadnom gumom za održive kolnike* pod pokroviteljstvom Hrvatske zaklade za znanost. Primarni su ciljevi projekta izobrazba jednoga doktora znanosti, određivanje optimalnoga sastava stabilizacijske mješavine s dodatkom gume te analiza utjecaja reciklirane gume na pojavu reflektivnih pukotina u kolničkoj konstrukciji. Materijali koji će biti korišteni u istraživanju jesu tri frakcije separiranoga savskog šljunka, pijesak i granulirana guma frakcije 0 – 0,5 mm i gumene niti frakcije 0,8 – 3 mm. U sklopu projekta provest će se mehanička ispitivanja kao što su ispitivanje tlačne i indirektno vlačne čvrstoće nakon 7, 28 i 90 dana njege u klima-komori, ispitivanje dinamičkoga i statičkoga modula elastičnosti, ispitivanje tlačne čvrstoće pod utjecajem sredstva za odleđivanje (natrijev hidroksid) te ispitivanje sustava nevezanoga nosivog sloja, stabilizacijske mješavine i asfaltnoga sloja izloženih dinamičkomu opterećenju. Statički modul elastičnosti izračunat će se suvremenom tehnologijom digitalne stereofotogrametrije (Slika 1) uz pomoć stručnjaka iz toga područja. Uzorci se neće raditi uobičajenim postupkom u Proctorovome zbijaju, nego vibrirajućim čekićem što više odgovara uvjetima zbijanja nekoherentnih materijala na terenu. Primjenjivost ove metode dokazana je u radu [18].



Slika 1. Uređaj Aramis

Referentne mješavine sastoje se od 25 % volumnoga udjela svih prirodnih frakcija, dok će se u mješavinama s gumom pijesak mijenjati s gumenim granulatom u volumnim udjelima od 10 %, 20 %, 30 % i 40 %. Zamjena pijeska s gumom temelji se na sličnu granulometrijskom sastavu pijeska i gume (Slika 2).



Slika 2. Granulometrijska krivulja pijeska i gumenoga granulata

Na temelju iskustva odlučeno je kako će udjeli cementa u mješavinama iznositi 3 %, 5 % i 7 %. Također će biti ispitane i mješavine sa 7 % cementa i 2,5 % i 5 % dodanih gumenih niti. U mješavini koja se pokaže optimalnom, na temelju numeričke analize i optimizacije, bit će ispitan utjecaj aditiva za vezanje.

To čini ukupno 18 mješavina od kojih su 3 referentne, 14 s gumom i 1 s gumom i aditivom za vezanje. S odabranom mješavinom planira se izgradnja pokusne dionice u

posljednjoj godini projekta na kojoj će biti praćeni razvoji oštećenja pod utjecajem klimatskih činitelja i prometa. Sredstvima iz projekta laboratorij je opremljen novom klima-komorom s mogućnošću kontrole temperature i vlage te vibrirajućim čekićem s postoljem i odgovarajućim dodacima za zbijanje različitih uzoraka.

4. Zaključak

Primjena recikliranih materijala u cementom stabiliziranim nosivim slojevima predmet je mnogih istraživanja. Dokazane su prednosti primjene čelične zgre, letećega pepela i recikliranih građevinskih materijala. Područje primjene reciklirane gume još je relativno neistraženo. Dostupna istraživanja svjedoče o pozitivnome učinku gume na trajnost i duktilnost stabilizacijskih slojeva kao i o pozitivnome učinku gume u uvjetima smrznutice. U sklopu projekta *RubSuPave* istražiti će se utjecaj dviju različitih frakcija gume na cementom stabiliziranom nosivom sloju šljunka klasičnim ispitivanjem mehaničkih karakteristika uz pomoć suvremene tehnologije. Dodatno će se ispitati sustav nevezanoga nosivog sloja, stabilizacijskoga sloja i asfaltnoga sloja, koji su izloženi dinamičkomu opterećenju kako bi, što je moguće bliže, simulirali realne uvjete. Cilj je projekta utvrditi utjecaj reciklirane gume na skupljanje cementom stabiliziranih mješavina i njezin utjecaj na pojavu reflektivnih pukotina. Svi materijali koji će se koristiti dostupni su na našem tržištu, zbog čega je ovaj pristup izvođenja kolničkih konstrukcija primjenjiv na našim područjima.

Literatura

- [1] Barišić, I., Dimter, S., Rukavina, T.: Elastic properties of cement-stabilised mixes with steel slag, *International Journal of Pavement Engineering*, 17, 2015, (753–762), DOI <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1019496>.
- [2] Barišić, I., Marković, B., Zagvozda, M.: Freeze–thaw resistance assessment of cementbound steel slag aggregate for pavement structures, *International Journal of Pavement Engineering*, 20, 2017, (448–457), DOI <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1309192>.
- [3] Li, W., Lin, Z., Wang, Z. et al.: Characteristics of dry shrinkage and temperature shrinkage of cementstabilized steel slag, *Construction and Building Materials*, 134, 2017, (540–548), DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.214>.
- [4] Dimter, S., Rukavina, T., Dragčević, V.: Strength Properties of Fly Ash Stabilized Mixes, *Road Materials and Pavement Design*, 12, 2011, (687–697). DOI <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.11.005>.
- [5] Dimter, S., Rukavina, T., Minažek, K.: Estimation of elastic properties of fly-ash stabilized mixes using nondestructive evaluation methods, *Construction and Building Materials*, 102, 2016, (505–514). DOI <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.11.005>.
- [6] Zhang, Y., Johnson, A.E., White, D.J.: Freeze-thaw performance of cement and fly ash stabilized loess, *Transportation Geotechnics*, 21, 2019, DOI <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100279>.
- [7] Kasu, S.R., Manupati, K., Muppireddy, A.R.: Investigations on design and durability characteristics of cement treated reclaimed asphalt for base and subbase layers, *Construction and Building Materials*, 252, 2020, DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119102>.

- [8] Isola, M., Betti, G., Marradi, A. et al.: Evaluation of cement treated mixtures with high percentage of reclaimed asphalt pavement, *Construction and Building Materials*, 2013, 48, (238–247), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.042>.
- [9] Tataranni, P., Sangiorgi, C., Simone, A. et al.: A laboratory and field study on 100% Recycled Cement Bound Mixture for base layers, *International Journal of Pavement and Technology*, 11, 2018, (427–434). DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.11.005>.
- [10] Yadav, J.S., Tiwari S.K.: Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement, *Applied Clay Science*, 149, 2017, (97–110). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.07.037>.
- [11] Arulrajah, A., Mohammadinia, A., Maghool, F. et al.: Tyre derived aggregates and waste rock blends: Resilient moduli characteristics, *Construction and Building Materials*, 201, 2019, (207–217). DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.189>.
- [12] Farhan, A.H., Dawson, A.R., Thom, N.H. et al.: Flexural characteristics of rubberized cement-stabilized crushed aggregate for pavement structure, *Materials and Design*, 88, 2015, (897–905), DOI <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.071>.
- [13] Farhan, A.H., Dawson, A.R., Thom, N.H.: Effect of cementation level on performance of rubberized cement-stabilized aggregate mixtures, *Materials and Design*, 97, 2016, (98–107), DOI <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.059>.
- [14] 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, 2016, (94–102), DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.018>.
- [15] Farhan, A.H., Dawson, A.R., Thom, N.H.: Compressive behaviour of rubberized cement-stabilized aggregate mixtures, *Construction and Building Materials*, 262, 2020, DOI [10.1016/j.conbuildmat.2020.120038](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120038).
- [16] Pham, N.-P., Toumi, A., Turatsinze, A.: Evaluating damage of rubberized cement-based composites under aggressive environments, *Construction and Building Materials*, 217, 2019, (234–241), DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.066>.
- [17] Pham, N.-P., Toumi, A., Turatsinze, A.: Effect of an enhanced rubber-cement matrix interface on freeze-thaw resistance of the cement-based composite, *Construction and Building Materials*, 207, 2019, (528–534), DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.147>.
- [18] Zvonarić, M., Barišić, I., Galić, M. et al: Influence of Laboratory Compaction Method on Compaction and Strength Characteristics of Unbound and Cement-Bound Mixtures, *Applied Sciences*, 11, 2021, DOI <https://doi.org/10.3390/app11114750>.