

**REHABILITACIJA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE POSTUPKOM HLADNOG  
RECIKLIRANJA NA LICU MESTA, PRIMER DEONICE PADEJ-SAJAN I~2.05km****REHABILITATION OF PAVEMENT STRUCTURE WITH COLD IN-SITU RECYCLING  
PROCESS, EXAMPLE OF THE ROAD SECTION PADEJ-SAJAN I~2.05km**Stefan Jekić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Rad sadrži opis primene i izvođenje postupka za iskorišćenje materijala iz postojeće kolovozne konstrukcije na gradilištu po sistemu „hladne reciklaže“ uz dodatak vezivnih sredstava. Sam postupak je prikazan na praktičnom primeru deonice državnog puta Padej Sajan (L~2.05km).

**Ključne reči:** rehabilitacija, hladna reciklaža na licu mesta, recikler, veziva i dodaci.

**Abstract** – The paper contains a description of using and performing of the procedure for material utilization from the existing pavement structure on site by „cold recycling“ process with the addition of stabilizing agents. The procedure itself is shown on a practical example of the state road section “Padej- Sajan” (L~2.05km).

**Keywords:** rehabilitation, cold in-situ recycling, recycler, binders, stabilizing agents and additives.

**1. UVOD**

Hladno recikliranje može se odvijati „u pogonu“ („in - plant“) gde se izvlači material iz postojećeg kolovoza i odvozi do središnjeg skladišta ili „na mestu“ („in - situ“) koje se odvija pomoću stroja za recikliranje ili reciklera. Tema rada je upoznavanje sa postupkom reciklaže na licu mesta gde se oštećeni asfaltni slojevi bez zagrevanja glodaju i uz dodatak određenih veziva i vode ponovo polažu obrazujući strukturalno zdrav kolovoz.

Rad je podeljen na dva dela- teorijski i praktični. U prvom delu rada dat je opis tehnologije, mogućnosti primene, priprema za ”in situ” postupak i izbor veziva i dodataka za stabilizaciju. Opisani su osnovni koraci ovog postupka i njegove prednosti koje nas dovode do značajne finansijske uštede, brzine izvođenja radova i pre svega zaštite životne sredine iskorišćenjem materijala postojećih slojeva.

Drugi deo rada posvećen je na primeru projekta Državnog puta IIA reda, na kome se izvode radovi na rehabilitaciji kolovozne konstrukcije na postojećoj širini kolovoza. Dužina obrađene deonice je L~2.05 km, prikazani su poprečni profili, situacioni plan i podužni profil, opisan detaljan tehnički izveštaj i priloženi tehnički uslovi.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Miloš Šešlija.

**2. EKONOMSKI I EKOLOŠKI UČINCI**

Hladno recikliranje „in-situ“ postupkom je najpovoljniji postupak za obnavljanje kolovoza s obzirom na troškove, jer nema troškova skladištenja starog materijala i troškova transporta. Potreba za očuvanjem okoline i savremeni trendovi održivog razvoja, dodatno podstiču razvoj novih tehnologija i pristupa u građenju i održavanju puteva. Takva praksa naglašava važnost recikliranja postojećih materijala čime se ne troše novi resursi i ne stvara građevinski otpad.

Recikliranje po hladnom postupku ima povoljan uticaj na okolinu. Smanjuje se korišćenje novih materijala jer se u potpunosti koristi material iz postojećeg kolovoza i količina novog materijala kojeg treba dovesti iz kamenoloma je minimalna. Ometanja normalnom odvijanju saobraćaja su mala zbog velikih dnevnih učinaka strojeva i brze spremnosti konstrukcije da preuzme saobraćajno opterećenje.

Ponovnom upotrebom visokokvalitetnih materijala kolovoza na licu mesta produžuje se trajanje retkih prirodnih resursa kvalitetnih agregata. Moguće uštede troškova primenom hladnog recikliranja u odnosu na druge metode rehabilitacije, mogu biti i do 50%.

**3. OPŠTE O POSTUPKU**

Reciklaža na licu mesta po hladnom postupku radi se pomoću mašine za glodanje/reciklera koji služi da izlomi, usitni i izmeša material gornjih slojeva kolovozne konstrukcije sa dodatnim materijalima tako da se dobije mešavina zahtevane granulacije i konzistencije, sve u jednom prolazu (Slika 1). Reciklirani asfaltni kolovoz je mešavina sa aditivom (ili aditivima) da bi se proizveo prerađeni material koji će činiti nosivi sloj asfaltnog kolovoza. Takva mešavina se polaže na donji nosivi sloj i razastire se grejderom ili razastiračem na recikleru u sloj određene debljine. Nakon toga sledi zbijanje teškim pneumaticima na vibro valjcima s jednostrukim ili dvostrukim bubnjevima. Tako reciklirani asfaltni kolovoz prekriva se vrućom asfaltnom presvlakom ili površinskom obradom.

Pri razmatranju dubine recikliranja, projektant treba da predvidi mogućnost strukture kolovoza da podrži strojeve za recikliranje na oslabljenom preseku kolovoza dok se postojeći materijali recikliraju.



Slika 1: Recikler na točkovima

#### 4. ANALIZA POSTOJEĆEG KOLOVOZA

Osnovni koraci ovog postupka su:

- Određivanje projektnog veka kolovozne konstrukcije
- Terenska i laboratorijska istraživanja
- Definisane mogućih projektnih rešenja
- Provera izvodljivosti projektnih rešenja
- Izbor projektnog rešenja

U okviru planiranja radova reciklaže po hladnom postupku pre svega treba ispitati da li lokalni uslovi (širina puteva, radijusi krivina, usponi, objekti, slobodni profili) dopuštaju upotrebu kombinovanih mašina – postrojenja za reciklažu. Za pojedinačne homogene poteze, u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja, stanja kolovoza i materijala u pojedinim slojevima, treba uzeti u obzir odgovarajuće postupke (npr. samo popravke oštećenja i novi zastor, pojačanje novim slojevima, prerada postojećeg zastora do određene dubine, reciklaža gornjih slojeva do potrebne dubine i izrada novog zastora, itd.) (Slika 2).

Neophodan je detaljan vizuelni pregled deonice, stanje kolovozne konstrukcije i njenih slojeva, uključujući karakteristike materijala od kojih su izgrađeni (istražni radovi na terenu).

Kada je u pitanju odluka o primeni postupka duboke reciklaže po hladnom postupku, suština je da se ispitivanjem postojeće kolovozne konstrukcije dobiju podaci koji će omogućiti objektivnu procenu potrebne dubine do koje će se material gornjih slojeva reciklirati, uz utvrđivanje učešća vezanih i nevezanih materijala u recikliranoj mešavini, kao i procena potrebe za dodatnim granuliranim materijalima i vezivima.



Slika 2: Kandidat za in situ postupak

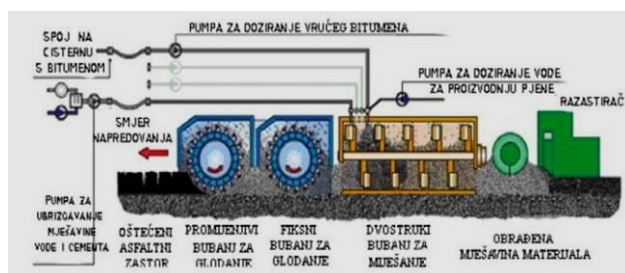
## 5. POSTUPAK NA LICU MESTA

### 5.1. Opis tehnologije

**In - situ** postupak recikliranja ili recikliranje na gradilištu, sadrži niz operacija koji uključuje:

- dodavanje veziva, dodataka, vode i kamenog materijala
- homogenizaciju
- razastiranje
- zbijanje

Središte svih strojeva za recikliranje je bubanj za glodanje koji je opremljen s velikim brojem zubaca. Bubanj se vrti i gloda materijal. Stroj je opremljen s najmanje jednim sistemom za doziranje tečnosti. Brzina isporuke vode se meri pomoću mikro - procesora koji reguliše protok u skladu sa količinom materijala u komori za mešanje. Voda se ubrizgava u komoru za mešanje kroz niz mlaznica koje su postavljene na istoj udaljenosti (Slika 3).



Slika 1: Stroj za recikliranje sa komponentama

### 5.2. Priprema za „in situ“ recikliranje

Neke od osnovnih priprema koje je neophodno izvršiti su:

1. Provera granulometrijskog sastava recikliranog materijala pre izvođenja recikliranog sloja. Potrebno je uzeti reprezentativni uzorak i ispitati granulometrijski sastav mešavine bez veziva, uporediti ga sa prethodnim sastavom i ako je potrebno korigovati ga.
2. Pre početka radnog dana potrebno je napraviti plan recikliranja kojeg radi izvođač, a koji sadrži početnu i krajnju stacionažu s dužinom i širinom, broj paralelnih prolaza i njihovih širina, poziciju i širinu preklopa svakog uzdužnog spoja, redosled i dužinu svakog zahvata, procenu potrebnog vremena za izvođenje svakog zahvata i ukupnog vremena.
3. Priprema podloge koja zahteva uklanjanje vegetacije, eventualne vode. Takođe je potrebno proveriti obučenosn operatora strojeva, raspoloživost opreme na trasi, pripremljenost reciklera za prvi zahvat ( u smislu čišćenja komore za mešanje i naslaga za ispravan rad prskalice, provera rada dela za doziranje), izvući liniju za vođenje reciklera, itd.
4. Pre početka rada položaj osovine se obeleži kočicama koji se postavljaju na konstantnom odstojanju upravno na osovinu, van površine koja će biti zahvaćena radovima.
5. Dodavanje kamenog materijala po površini radi poboljšanja granulometrijskog sastava i nivelacije površine. Tehnologija razastiranja dodatnog materijala treba da bude prilagođena zahtevima pa se koriste finišeri, grejderi ili druga oprema za takve radove.

## 6. VEZIVA I DODACI

Sva veziva imaju za cilj povećanje čvrstoće i/ili učiniti material više vodootpornim i izdržljivijim. Razlikujemo cementna sredstva za stabilizaciju i stabilizaciju sa bitumenskim sredstvima.

### 6.1. Stabilizacija sa cementom kao vezivnim sredstvom

Cement je najčešće sredstvo koje se koristi za stabilizaciju, zbog toga što je lako dostupan i jer se dobro pokazao kao građevinski material.

Cement se može nanositi na četiri različita načina:

1. Cementom se pune džakovi i razastire se ručno
2. Razastiranje iz cisterne (Slika 4)
3. Strojem za stabilizaciju ili reciklerom koji u sebi ima ugrađen uređaj za razastiranje.
4. Ubrizgavanjem mulja



Slika 2: Nanošenje cementa pomoću cisterne

### 6.2. Stabilizacija bitumenskom emulzijom

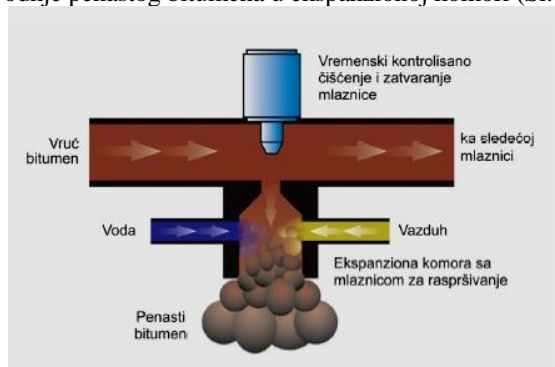
Bitumenska emulzija je mešavina bitumena i vode u odnosu 60:40 i po pravilu se koristi na temperaturama od 20-40°C. Nakon što je materijalu dodata bitumenska emulzija, sadržaj vode u mešavini se redukuje dodatkom cementa.

### 6.3. Stabilizacija sa penušavim bitumenom

Penasti bitumen se proizvodi dodavanjem malih količina vode (približno 2% - 3% u odnosu na masu bitumena) vrućem bitumenu. Za ovaj postupak se koristi bitumen koji se i obično primenjuje u proizvodnji vrućih asfaltnih mešavina. Kada se ubrizga, voda naglo isparava, uzrokujući tako eksplozivno dejstvo penušanja bitumena u zasićenoj vodenoj pari.

Bitumen se na taj način širi orijentaciono 15 do 20 puta od svoje početne zapremine čime se njegov viskozitet značajno smanjuje, u tom obliku, on je izuzetno pogodan za mešanje sa hladnim agregatom.

Penasti bitumen se može koristiti kao vezivo za stabilizaciju različitih vrsta agregata. U nastavku dat prikaz proizvodnje penastog bitumena u ekspanzionoj komori (Sl. 5).



Slika 3: Proizvodnja penastog bitumena u ekspanzionoj komori

## 7. MAŠINE I OPREMA ZA RECIKLAŽU

Reciklaža na licu mesta po hladnom postupku se vrši pomoću posebno modifikovane mašine sa frezom/glodalicom koja može da usitni i izmeša materijal gornjih slojeva kolovozne konstrukcije da dodatnim materijalima, tako da se dobije mešavina zahtevane granulacije i konzistencije.

Mašina treba da sadrži najmanje sl. elemente:

- Uređaj za usitnjavanje/frezovanje materijala do dubine najmanje 30 cm u jednom prolazu, sa automatskim sensorima za tačnu kontrolu dubine dejstva
- Cilindar sa glodalima koji se obrće na gore u odnosu na smer napredovanja, sa najmanjom širinom sečenja od 2 m u jednom prolazu
- Sistem za kontrolu granulacije koji se sastoji od podesive grede na prednjem delu cilindra sa glodalima, koji doprinosi usitnjavanju materijala koji se reciklira.

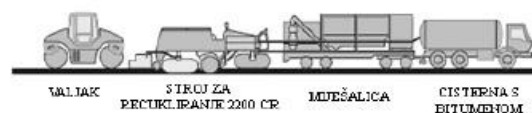
Tu je naravno i dodatna oprema poput: sistema sa mikrokontrolerima za ubrizgavanje vode i veziva u tečnom stanju, pumpe i dozatori, sistem samočistećih raspršivača, itd.

Razastiranje i nivelacija se vrši pomoću: grejdera ili razastirača montiranog u sklopu mašine za reciklažu

Vozovi za recikliranje mogu sadržati jednu, dve ili više jedinica. Kod voza za recikliranje s jednom jedinicom, stroj za glodanje obično funkcioniše s glavom za rezanje koja je smeštena u donjem položaju za rezanje. Rezalica za glodanje zahvata postojeći kolovoz do potrebne dubine, poprečnog nagiba kolovoza i veličine zrna recikliranog asfaltnog kolovoza, mešajući kroz to vreme aditive. Prskalicom u komori za rezanje dodaju se tekući aditivi.

Voz za recikliranje sa dve jedinice sastoji se od velikog stroja za glodanje po punoj širini voznog traka, te finišera koji deluje i kao mešalica. Finišer – mešalica proizvodi recikliranu mešavinu koristeći se bubnjem za mešanje, a mešavinu ugrađuje konvencionalnom peglom finišera.

Voz za recikliranje sa više jedinica sastoji se od stroja za glodanje i prikolice sa montiranim jedinicama za prosejavanje, drobljenje i bubnja za mešanje (Slika 6).



Slika 4: Voz za recikliranje

## 8. PRIMENA HLADNE RECIKLAŽE NA PRIMERU DEONICE PADEJ - SAJAN

Deonica državnog puta IIA-104 koja se rehabilituje zauzima pravac sever – jug i nalazi se u srednjobanatskom okrugu Dominantni element horizontalne geometrije je pravac.

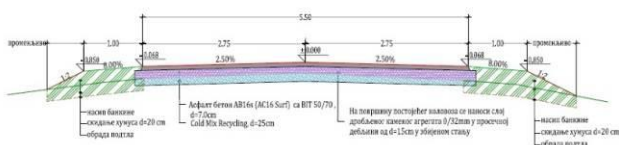
Na kolovozu su uočene najrazličitije vrste oštećenja: rupe, podužne i poprečne pukotine, mrežaste-bok pukotine, zakrpe, itd. (Slika 7).



Slika 5: Predmetna deonica sa oštećenjima

### 8.1. Projektovana tehnička mera rehabilitacije kolovozne konstrukcije

Pre izvođenja novog asfaltnog sloja, na postojeću kolovoznu konstrukciju se nanosi sloj od drobljenog kamenog agregata 0/32 mm u prosečnoj debljini od  $d=15.0$  cm u zbijenom stanju. Nakon toga se izvodi sloj hladne reciklaže (reciklira se debljina od 10cm postojećih asfaltnih slojeva i debljina od oko 15cm sloja novog drobljenog kamenog agregata 0/32mm). Preko se izvodi habajući sloj od asfalt betona  $d=7$ cm. Prikaz normalnog poprečnog profila dat na slici (Slika 8).



Slika 6: Normalni poprečni profil

## 9. ZAKLJUČAK

Potreba za rehabilitacijom i rekonstrukcijom puteva postaje sve veća samom izgradnjom putne mreže i rastom drumskog saobraćaja. U našoj zemlji putevi su generalno u lošem stanju, a potreba za rehabilitacijom i rekonstrukcijom je sve masovnija, glavni razlog tome su neadekvatna i neredovna održavanja istih. Tehnologija postupkom hladne reciklaže koja ima široku primenu u Evropi podrazumeva da se prilikom rekonstrukcije puta što više iskoristi postojeći kameni i drugi materijali koji su u trasi puta.

Na samom kraju dolazimo do zaključka da su prednosti ove metode:

- Ekonomičnost- manjenje troškova rekonstrukcije puteva
- Produktivnost-ubrzanje vremena izvođenja radova
- Kvalitet-upotreba savremenih vezivnih sredstava
- Zaštita životne sredine

## 10. LITERATURA

- [1] Wirtgen Group (2004): *Wirtgen Cold Recycling Manual*, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany
- [2] JP „Putevi Srbije“: Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji
- [3] Delinac, M.: Rekonstrukcija kolničke konstrukcije postupkom hladnog recikliranja, Sveučilište u Osijeku
- [4] Sršen, M. I drugi: Recikliranje asfaltnih kolnika, Stručni rad
- [5] Miljković, M: Penasti bitumen u reciklaži asfaltnih kolovoznih konstrukcija, Građevinsko – arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, 2009
- [6] Prof. Dr Uzelac. Đ. sa grupom autora: Uputstvo i tehnički uslovi za duboku reciklažu na licu mesta po hladnom postupku kod rehabilitacije kolovoznih konstrukcija, Beograd 2002
- [7] Putevi Srbije, [www.putevi-srbije.rs](http://www.putevi-srbije.rs)

### Kratka biografija:



**Stefan Jekić** rođen je u Kraljevu 1993. god. Nakon završene Tehničke škole, upisuje studije građevinarstva na FTN- u u Novom Sadu, gde stiče zvanje diplomiranog inženjera građevine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka, na Departmanu za građevinarstvo i geodeziju odbranio je 2021.god.  
kontakt: [jekic.jeke.stefan@gmail.com](mailto:jekic.jeke.stefan@gmail.com)