

Hladno recikliranje asfaltnih kolnika

Mate Sršen, Milan Majkić, Marko Orkić

Ključne riječi

cesta,
asfaltni kolnik,
rehabilitiranje,
recikliranje,
hladni postupak,
ekonomičnost,
zaštita okoliša

Key words

road, asphalt pavement,
rehabilitation, recycling,
cold process, cost-
effectiveness,
environmental protection

Mots clés

route,
chaussée en enrobé,
réhabilitation,
recyclage,
procédé à froid,
rentabilité,
protection de
l'environnement

Ключевые слова

дорога,
асфальтовая мостовая,
восстановление,
рециклирование,
холодный способ,
экономичность,
защита окружающей
среды

Schlüsselworte

Strasse,
Asphaltfahrbahn,
Rehabilitierung,
Rezyklieren,
kaltes Verfahren,
Wirtschaftlichkeit,
Umweltschutz

M. Sršen, M. Majkić, M. Orkić

Stručni rad

Hladno recikliranje asfaltnih kolnika

U radu je sažeto prikazan novi način rehabilitiranja kolničkih konstrukcija cesta tehnologijom recikliranja hladnim postupkom i na cesti. Opisana je primjena, izvođenje, potrebna mehanizacija, a dan je i osvrt na prednosti ove tehnologije sa stajališta ekonomičnosti i zaštite okoliša. Obraden je prvi primjer primjene te tehnologije na projektu obnove državne ceste D55 (dionica Vinkovci-Županja) izvedenom 2008. Sugerira se praktična primjena tehnologije na cestama u Hrvatskoj.

M. Sršen, M. Majkić, M. Orkić

Professional paper

Cold recycling of asphalt pavements

A new way of rehabilitating road pavement structures, based on the cold process recycling technology, is presented in the paper. The application, realization, and required mechanical plant is described, and an overview of advantages of this technology from the standpoint of cost-effectiveness and environmental protection is presented. The first example of the use of this technology for rehabilitation of national road D555 (Vinkovci - Županja Section), conducted in 2008, is analyzed. A practical application of this technology on Croatian roads is recommended.

M. Sršen, M. Majkić, M. Orkić

Ouvrage professionnel

Recyclage à froid des chaussées en enrobé

Une nouvelle méthode de réhabilitation des structures de chaussées, se basant sur la technologie de recyclage à froid, est présentée dans l'ouvrage. L'application, la réalisation et l'équipement requis sont décrits, et un aperçu des avantages de cette technologie, de point de vue de rentabilité et de protection de l'environnement, est présenté. Le premier exemple de l'utilisation de cette technologie dans la réhabilitation de la route nationale D555 (tronçon: Vinkovci - Županja), effectuée en 2008, est analysé. L'application pratique de cette technologie sur les routes croates est recommandée.

M. Sršen, M. Майкич, M. Оркич

Отраслевая работа

Холодное рециклирование асфальтовых мостовых

В работе в краткой форме описан новый способ восстановления дорожных одежд с применением технологии рециклирования холодным способом и на дороге. Описываются применение, выполнение, необходимая механизация, а также указываются преимущества данной технологии с точки зрения экономичности и защиты окружающей среды. Анализируется первый пример применения этой технологии в проекте реконструкции государственной дороги D55 (участок Винковцы-Жупанья), выполненной в 2008 г. Рекомендуются практическое применение технологии на дорогах Хорватии.

M. Sršen, M. Majkić, M. Orkić

Fachbericht

Kaltes Rezyklieren von Asphaltfahrbahnen

Im Artikel ist ein neues Verfahren der Rehabilitierung von Strassenfahrbahnen durch die Technologie des kalten Rezyklierens auf der Strasse zusammenfassend dargestellt. Beschrieben sind Anwendung, Ausführung und nötige Mechanisierung. Vorgelegt ist auch ein Rückblick auf die Vorteile dieser Technologie vom Standpunkt von Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz. Bearbeitet ist das erste Beispiel der Anwendung dieser Technologie am Projekt der Erneuerung der Staatsstrasse D55 (Teilstrecke Vinkovci - Županja), ausgeführt 2008. Man suggeriert die praktische Anwendung dieser Technologie auf den Strassen in Kroatien.

Autori: Prof. dr. sc. **Mate Sršen**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; **Milan Majkić**, dipl. ing. građ., Građevinski projekt d.o.o., Šibenik; **Marko Orkić**, dipl. ing. građ., SVOD d.o.o., Osijek

1 Uvod

Hladno je recikliranje tehnički postupak kojim se reciklira asfaltni kolnik bez zagrijavanja tijekom procesa recikliranja, da bi se kao rezultat dobila obnovljena kolnička konstrukcija. Reciklirani asfaltni kolnik dobiven hladnim postupkom jest mješavina s aditivom /ili aditivima/ da bi se proizveo prerađeni materijal koji će činiti nosivi sloj asfaltnog kolnika. Aditivi uključuju bitumenske emulzije, sredstva za pomlađivanje materijala i upjenjeni bitumen. Drugi aditivi kao što su cement, leteći pepeo i vapno mogu se dodati radi modificiranja svojstava reciklirane mješavine [1].

Postoje dvije vrste postupka za hladno recikliranje. To su hladno recikliranje na licu mjesta /in-place/ i hladno recikliranje u centralnom postrojenju /in-plant/. Ovaj rad tretira isključivo hladno recikliranje na licu mjesta [2].

Proces hladnog recikliranja uključuje glodanje postojećeg kolnika do dubine od 75 do 125 mm, prosijavanje, drobljenje i miješanje s bitumenskom emulzijom, upjenjenim bitumenom, dodacima kao što su vapno, cement i slični materijali te dodatnim agregatom ako je potrebno. Reciklirana se mješavina zatim polaže i nabija konvencionalnim strojevima za građenje kolnika ili motornim grejderom.

Čimbenici okoliša i prometno opterećenje uzrokuju da asfaltni kolnici cesta bivaju oštećeni i strukturalno pogoršani u obliku pukotina, dezintegracija površine i deformacija kolnika. Uobičajeni postupci za rehabilitiranje tako oštećenih asfaltnih kolnika jesu presvlačenja vrućom asfaltnom mješavinom, glodanje i pojačanje novim slojem te hladno recikliranje.

S porastom stupnja degradacije kolnika, konvencionalni pristup jednostavnom primjenom asfaltnog presvlačenja postaje neučinkovit i u pogledu značajki kolnika i u ekonomskom pogledu. Raspucalost i drugi oblici oštećenja mogu se brzo i ponovno odraziti na asfaltnoj presvlaci.

Pristup glodanjem i presvlačenjem novim asfaltnim slojem podrazumijeva uklanjanje do neke dubine oštećenog kolnika hladnim postupkom, a zatim zamjenu presvlačenjem novim asfaltnim slojem do dubine uklonjenog materijala. Neke plitke pukotine ovim postupkom bivaju eliminirane, ali duboke pukotine u kolniku nastavljaju se odražavati na asfaltnoj presvlaci i na taj način dugoročno utječu na značajke kolničke konstrukcije.

Postupkom hladnog recikliranja odstranjuje se oštećeni zastor kolnika obično do dubine do 10 cm i miješa s aditivima. Reciklirana mješavina polaže se natrag kao strukturalno zdrav sloj kolničke konstrukcije, bez oštećenja stare strukture kolnika. Tako reciklirani asfaltni kolnik prekriva se vrućom asfaltnom presvlakom ili površinskom obradom.

Valjana selekcija projekta kritična je faza za uspjeh ili propadanje obnove neke ceste postupkom hladnog recikliranja. To uključuje procjenu stanja kolnika, ustanovljenje tipova oštećenja i analizu popuštanja kolnika. Za dimenzioniranje potrebne debljine pojačanja treba uzorkovati i ispitati materijale kolnika /iz nosivih slojeva i posteljice/. Uz to je potrebno ocijeniti i povijest postupaka održavanja kolnika. Očekivani volumen prometa također treba analizirati.

Da bi reciklirana struktura kolnika bila dugotrajna, važno je u postupak tretiranja recikliranjem uključiti što je moguće više od postojećih slojeva vruće asfaltne mješavine. Pri razmatranju dubine recikliranja, projektant treba predvidjeti mogućnost strukture kolnika da podrži strojeve za recikliranje na oslabljenom presjeku kolnika dok se postojeći materijali recikliraju. Općenito se smatra da je poželjno tretirati najmanje 70 % postojeće debljine zastora i da najmanje 25-50 mm asfaltnog dijela kolnika ostane na licu mjesta da bi podržalo težinu vlaka za recikliranje.

Također, jako iskolotraženi kolnik s prekomjerno visokim sadržajem bitumena može biti korigiran hladnim recikliranjem na licu mjesta, ali tada će vjerojatno biti potrebna dodatna količina agregata da bi se umanjio učinak velikog sadržaja bitumena u postojećem kolniku.

Hladnim recikliranjem materijali postojećega asfaltnog kolnika ponovno se rabe da bi dali obnovljen, strukturalno zdrav kolnik bez oštećenja. Sa stajališta zaštite okoliša prednost hladnog recikliranja jest u isključenju potrebe odlaganja materijala, kao i minimalan utrošak energije u hladnom postupku. Isto tako, za hladno je recikliranje transport materijala bitno smanjen jer proces teče na licu mjesta.

Ponovnom upotrebom visokokvalitetnih materijala kolnika na licu mjesta produžuje se trajanje rijetkih prirodnih resursa kvalitetnih agregata. Moguće uštede troškova primjenom hladnog recikliranja u odnosu na druge metode rehabilitiranja kolnika mogu biti i do 50 %.

Pokazalo se je da hladno recikliranje kao metoda rehabilitiranja kolnika daje dobre rezultate na kolnicima lokalnih cesta s malim prometnim opterećenjem i na autocestama.

Navedene bi spoznaje mogle predstavljati pravi izazov stručnjacima u Hrvatskoj koji se bave gospodarenjem, održavanjem i rehabilitiranjem cesta. Poznato je da su gotovo sve izgrađene ceste u nas savitljivog tipa s asfaltnim zastorom, te da je njihovo strukturalno stanje u većini slučajeva takvo da primjenu tehnologije hladnog recikliranja čine tehnički ispravnom i ekonomski opravdanom. Doda li se tomu da je hladno recikliranje sa stajališta očuvanja okoliša dugoročno održivo, moglo bi se

anticipirati da će ponovna uporaba asfaltnih kolnika hladnim postupkom na licu mjesta uskoro postati jedna od rutinskih metoda rehabilitiranja kolničkih konstrukcija cesta u Hrvatskoj.

2 Recikliranje asfaltnih kolnika hladnim postupkom na licu mjesta

Hladno recikliranje na licu mjesta jest proces recikliranja kolnika na terenu što se obavlja na dubini tretiranja od 50 do 125 mm, uz uporabu vlakova za recikliranje s opremom koja uključuje spremnike materijala, kamione, strojeve za glodanje, jedinice za drobljenje i prosijavanje materijala, miješalice, finišer i valjke, uz upotrebu aditiva ili kombinacije aditiva (bitumenske emulzije, upjenjeni bitumen, vapno, cement). Proces generira i ponovno rabi reciklirani asfaltni kolnik s rezultirajućim recikliranim kolnikom koji je uobičajeno moguće otvoriti za prometovanje na kraju radnog dana.

Postoji više vrsta vlakova za hladno recikliranje s različitim konfiguracijama opreme. Obično se nazivaju kao vlak s jednom jedinicom, vlak s dvije jedinice, ili vlak s više jedinica. Vlakovi se razlikuju jedan od drugoga po tome kako i u kakvom sastavu obavljaju proces recikliranja, kako uključuju aditive, po načinu miješanja i kontrole te po tome kako ugrađuju proizvedenu mješavinu.

2.1 Postupak za izvedbu hladnog recikliranja

Iako je hladno recikliranje razmjerno jednostavan tehnički postupak, vrlo je važno prethodno temeljito planiranje svih aktivnosti da bi se postigao kvalitetan reciklirani sloj ujednačenih svojstava. Pritom je važno zadovoljiti dva osnovna zahtjeva:

- zahtjev za kvalitetnim materijalom u recikliranom sloju
- zahtjev za odgovarajućom debljinom kolnika koju treba tretirati.

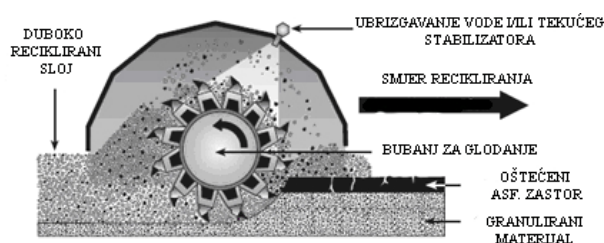
Proces recikliranja uključuje brojne aktivnosti koje se na jednome mjestu odvijaju istovremeno, pa je valjano planiranje ključno za uspjeh projekta obnove ceste takvom tehnologijom. Projektom je nužno odrediti radi li se o obnovi zastora kolnika ili je potrebno zahvatiti dublje u strukturu kolničke konstrukcije. Geometrijski elementi ceste kao što su širina kolnika, debljina kolničke konstrukcije i sl., važni su zbog određivanja širine zahvata i dubine recikliranja, brzine građenja, faza izgradnje itd.

Hladno se recikliranje nekada rabi za proširenje asfaltnog kolnika, bilo za proširenje prometnog traka, bilo za dodavanje bankina. U oba slučaja potrebno je iskopati jarak duž postojećeg kolnika, izvesti nosivi sloj od agregata i preko toga hladno recikliranu mješavinu. Jarak

također može biti ispunjen koristeći se samo hladno recikliranom mješavinom. Ušteda troškova za građenje bankina upotrebom hladnog recikliranja može biti značajna.

Proces građenja postupkom hladnog recikliranja na licu mjesta općenito čine sljedeće aktivnosti (slika 1.):

- usitnjavanje materijala postojećega asfaltnog kolnika
- određivanje veličine zrna recikliranoga asfaltnog kolnika
- dodatak novoga bitumenskog veziva (i drugih aditiva)
- miješanje svih komponentnih materijala
- polaganje reciklirane mješavine
- polaganje novoga asfaltnog zastora.



Slika 1. Postupak hladnog recikliranja [3]

2.1.1 Vlak s jednom jedinicom

Kod vlaka za recikliranje s jednom jedinicom, stroj za glodanje obično funkcionira s glavom za rezanje koja je smještena u donjem položaju za rezanje. Rezalica stroja za glodanje zahvaća postojeći kolnik do potrebne dubine, poprečnog nagiba kolnika i veličine zrna recikliranoga asfaltnog kolnika, umješavajući kroz to vrijeme aditive. U slučaju jedinice bez uređaja za drobljenje i prosijavanje, maksimalna veličina zrna kontrolirana je brzinom napredovanja stroja za recikliranje.

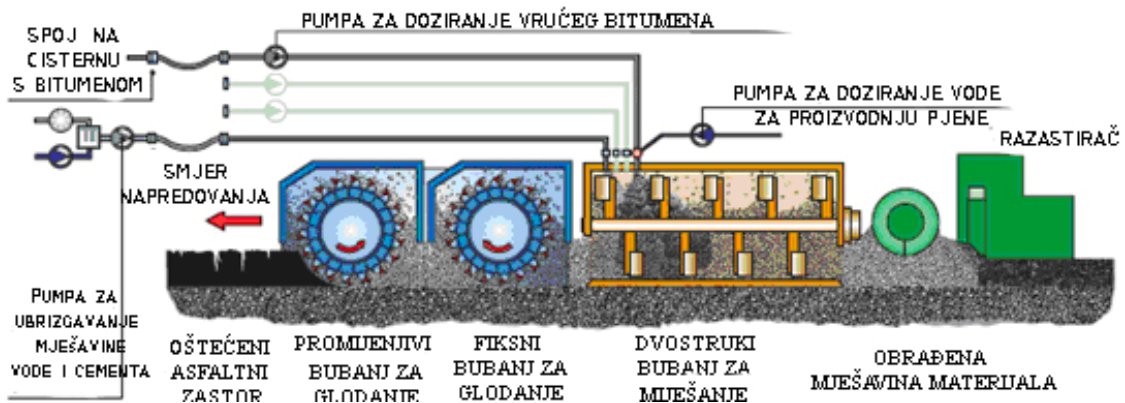
Prskalicom u komori za rezanje dodaju se tekući aditivi. Količina ovisi o volumenu tretiranog materijala, što se određuje prema dubini rezanja, širini zahvata i brzini napredovanja jedinice. Za reguliranje količine aditiva koja varira s brzinom stroja, primjenjuje se računalom kontrolirani sustav za tekući aditiv. Reciklirana se mješavina polaže standardnim strojevima za ugradnju odmah nakon vlaka za recikliranje s jednom jedinicom.

2.1.2 Vlak s dvije jedinice

Vlak za recikliranje s dvije jedinice sastoji se od velikog stroja za glodanje po punoj širini voznog traka, te finišera koji djeluje i kao miješalica. Finišer-miješalica proizvodi recikliranu mješavinu koristeći se bubnjem za miješanje, a mješavinu ugrađuje konvencionalnom „peg-

lom finišera“. Vlak s dvije jedinice nije opremljen jedinicom za drobljenje i prosijavanje.

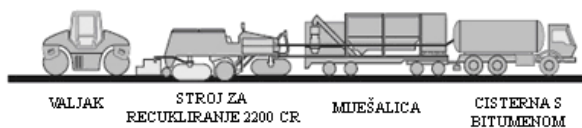
Stroj za glodanje (slika 2.) uklanja postojeći asfaltni kolnik i polaže ga u prihvatnu košaru finišera-miješalice. Poput vlaka s jednom jedinicom, maksimalna veličina zrna recikliranoga asfaltnog kolnika kontrolira se ovisno o brzini napredovanja stroja za glodanje. Uz bubanj za miješanje postoji i uređaj za doziranje i računalo radi točnoga kontroliranja dodatka tekućih aditiva. Reciklirana mješavina napušta bubanj za miješanje i ide izravno u finišer, odnosno njegov sustav za polaganje mješavine.



Slika 2. Stroj za recikliranje s komponentama [3]

2.1.3 Vlak s više jedinica

Vlak za recikliranje s više jedinica (slika 3.) sastoji se od stroja za glodanje i prikolice s montiranim jedinicama za prosijavanje, drobljenje i bubnja za miješanje. Stroj za glodanje uklanja kolnik do željene dubine i prenosi materijal do jedinice za prosijavanje i drobljenje.



Slika 3. Vlak za recikliranje s više jedinica [3]

Svaki materijal prekomjerne veličine zrna šalje se s platforme za prosijavanje na drobljenje. Drobljeni materijal vraća se jedinici za prosijavanje radi ponovnog određivanja veličine zrna. Maksimalna veličina zrna recikliranoga asfaltnog kolnika kontrolira se otvorima dna na dva sita tipične veličine otvora 37,5 mm i 31,5 mm. Nakon kontrole veličine zrna postupak se nastavlja prema bubnju za miješanje putem uređaja za doziranje, da bi se odredila težina materijala za recikliranje asfaltnog kolnika prije ulaska u miješalicu. Količina tekućih aditiva kontrolira se računalnim sustavom koristeći se težinom materijala određenom uređajem za doziranje. U dvostrukom bubnju miješaju se zajedno tekući aditivi i materijal

za recikliranje da bi se dobila homogena smjesa. Smjesa koja je izašla iz bubnja za miješanje odlaže se na za to određeno mjesto ili se izravno transportira u finišer.

2.2 Ugradnja i zbijanje

Za polaganje hladno reciklirane mješavine na licu mjesta rabe se konvencionalni asfaltni finišeri ili finišeri-miješalice. Valjan rad s finišerom bitan je da bi se dobio strukturalni element kolnika bez segregacije i problema neravnosti. Ovo podrazumijeva držanje finišera što je moguće bliže miješalici, te održavanje stalne i korektno

visine mješavine. Kao i kod konvencionalnoga asfaltnog finišera, „pegla finišera“ mora biti elektronički upravljana radi kontrole nivelete i poprečnog nagiba.

Zbijanje se obavlja teškim pneumaticima na vibro-valjcima s jednostrukim ili dvostrukim bubnjevima (slika 4.). Hladno reciklirane mješavine su kruće i polažu se u debljim slojevima nego konvencionalne vruće asfaltno mješavine, pa zahtijevaju teže valjke. Dobro zbijene hladno reciklirane mješavine mogu imati ukupan postotak šupljina u mješavini od 9 do 14 % ili više.



Slika 4. Faza zbijanja hladno recikliranog sloja na državnoj cesti D55 (Vinkovci - Županja)

Ako se rabi bitumenska emulzija, zbijanje normalno počinje kad mješavina počne mijenjati boju iz smeđe u crnu. Ovaj „prijelaz“ može trajati između 10 minuta i 2 sata, ovisno o bitumenskoj emulziji, dubini tretmana hladnog recikliranja i vremenskim uvjetima. Za hladno reciklirane mješavine s upjenjenim bitumenom, ili portlandskim cementom kao aditivom za recikliranje, valjanje započinje odmah nakon polaganja mješavine. Gume valjaka i bubnjeve potrebno je vlažiti da bi se spriječilo lijepljenje reciklirane smjese, osobito pri porastu temperatura.

2.3 Asfaltni zastor

Presvlačenje vrućom asfaltnom mješavinom uobičajeno se primjenjuje preko hladno recikliranog sloja na licu mjesta na cestama s većim volumenom prometa ili gdje je potrebno dodatno strukturalno pojačanje kolničke konstrukcije. Na cestama s malim volumenom prometa, gdje je hladno reciklirani sloj ujedno i završetak strukture kolnika, preporučuje se presvlačenje tankoslojnim zastorom na osnovi pijeska, mješavine pijeska i šljunka ili kamene sitneži u sloju debljine do 20 mm. Ova vrsta površinskog postupka omogućuje primjenu veće količine bitumena, što pridonosi boljem popunjavanju površine hladno recikliranog kolnika. Osim toga, takav površinski postupak može poboljšati otpornost na klizanje.

3 Prethodna evaluacija projekta hladnog recikliranja

Za uspješnu provedbu hladnog recikliranja potrebna je prethodna detaljna evaluacija projekta, što podrazumijeva proučavanje planova, izvješća o ispitivanju materijala i evidencija o građenju i održavanju postojećeg kolnika. Terenske aktivnosti uključuju:

- vizualno ocjenjivanje stanja kolnika
- uzimanje jezgri iz kolnika i uzorkovanje materijala
- laboratorijsko ispitivanje materijala iz kolnika
- izbor vrste i količine aditiva
- strukturalnu analizu kolničke konstrukcije.

Budući da se većina tipova oštećenja kolnika može rehabilitirati hladnim recikliranjem, najbolji kandidati za primjenu ove tehnologije jesu strukturalno zdravi kolnici s dobrom odvodnjom nosivih slojeva. Oštećenja kolnika koja se ne mogu uspješno korigirati hladnim recikliranjem, i možda zahtijevaju dodatne ili drukčije postupke, karakteriziraju:

- nedostaci uzrokovani vlažnim i nestabilnim nosivim slojevima ili materijalima posteljice
- nedostaci uzrokovani izdizanjem ili bubrenjem nižih slojeva tla
- deformacije uzrokovane visokim sadržajem bitumena ili fino graduiranim agregatima
- kolničke konstrukcije koje iskazuju ljuštenje bitumena od agregata.

Ako su slabe površine kolnika samo mali dijelovi projekta 10 % ili manje/, moglo bi biti ekonomično lokalno sanirati kolnik prije hladnog recikliranja. Hladno recikliranje na licu mjesta može biti prihvatljivo rješenje za neke iskolotražene kolnike ako se doda krupan, drobljeni agregat.

3.1 Stanje kolničke konstrukcije i uzorkovanje

Pregled stanja kolnika provodi se radi određivanja vrste i jakosti oštećenja i stupnja pogoršanja postojeće kolničke konstrukcije. Evaluacija oštećenja uključuje raspuca-



Slika 5. Rezultat jednog od uzoraka ispitivanja otpornosti na trajnu deformaciju

nost, trajnu deformaciju, dezintegraciju površine kolnika, neravnost i izbijanje bitumena na površinu kolnika. Kad je ocjenjivanje opisanih tipova oštećenja kolnika završeno, stanje kolničke konstrukcije služi za određivanje primjerenosti hladnog recikliranja kao postupka rehabilitacije kolnika.

Uzimanje jezgri iz strukture kolnika obavlja se na dvije lokacije unutar 1,6 km. Dodatna lokacija bira se ovisno o stanju kolnika i njegovoj promjenljivosti. Iz uzetih jezgri moguće je odrediti debljinu kolnika, vrstu kolnika, sastav slojeva kolnika, ljuštenje bitumena itd. Čvrstoća tla u posteljici, u projektu obično indicirana kalifornijskim odnosom nosivosti /CBR/, može se odrediti dinamičkim konusnim penetrometrom /DCP/. Defleksije kolnika, kao parametar nosivosti i trajnosti ceste, mogu se odrediti deflektometrom s padajućim teretom /FWD/ te ih upotrebljavati za određivanje lokacije i ozbiljnosti slabih /"mekanih"/ površina kolnika.

Jezgre se također uzimaju kao uzorci za ispitivanje u laboratoriju (slika 5.). Najpoželjniji promjer tako uzetih jezgri iz kolnika jest 150 mm. Ako su potrebni uzorci iz posteljice, mogu se iskopati ispitne jame ili se može iskoristiti oprema za uzorkovanje tla.

3.2 Ispitivanje materijala

Uzorci jezgri iz kolnika omogućuju da se odredi sadržaj bitumena. Količina i veličina zrna agregata određuju se analizom prosijavanja. Ekstrakcijom otopine određuje se penetracija ili viskoznost bitumena, što omogućuje izbor odgovarajućeg tipa i količine aditiva.

3.3 Izbor aditiva

Karakteristike materijala za recikliranje kolnika određuju se laboratorijskim ispitivanjem i razmatranjem u izboru odgovarajućeg tipa i količine aditiva. Bitumenske emulzije najčešći su aditiv i dodaju se u količini od 1,0 do 3,0 težinska postotka. Upjenjeni bitumen također se rabi kao jedan od bitumenskih aditiva. Male količine hidratiziranog vapna ili cementa (obično 1,5 i 1,0 težinski postotak) mogu se dodati u kombinaciji s bitumenskim aditivima. Cement se može dodati u suhome stanju za primjenu u mješavini hladnog recikliranja.

Krupan drobljeni agregat može se rabiti za hladno recikliranje na licu mjesta. Količina dodanog agregata normalno ne prelazi 20 % po težini mješavine zbog troškova i povećane mogućnosti segregacije.

Važeća tehnička regulativa općenito propisuje metode ispitivanja za projektiranje mješavine koje mogu služiti za određivanje količine aditiva i vode potrebne za mješanje te ima li reciklirana smjesa odgovarajuću otpornost na deformaciju i strukturalnu čvrstoću.

3.4 Smjernice za izbor aditiva

Bitumenske emulzije jednostavno je dodati, raspoložive su u više tipova, i mogu se formulirati da bi se postigla željena mješavina i karakteristike razbijanja emulzije. Mješavina za hladno recikliranje s emulzijom može biti fleksibilna, otporna na zamor i manje sklona pucanju. Međutim, ta mješavina sporije postiže čvrstoću, posebno za kišnoga vremena, niskih temperatura ili vremenskih uvjeta s velikim postotkom vlažnosti.

Upjenjeni bitumen proizvodi se s dodatkom male količine vode (približno 2 do 3 težinska postotka bitumena) vrućem bitumenu. Bitumen je standardan i isti kakav se upotrebljava za vruće asfaltne mješavine. Kad voda ubrizgana u vrući bitumen naglo evaporira, uzrokujući tako eksplozivnu pjenu bitumena u zasićenoj pari bitumen tada povećava svoj originalni volumen 15 do 20 puta, omogućujući tako obavljanje agregata.

Cement se može lako primijeniti u suhom stanju ili ga se može dodati kao kašu. Primjena u suhom stanju može uzrokovati neprihvatljive probleme s oprашivanjem. Mali postoci cementa povećavaju otpornost na oštećenja od vlage, a rezultiraju ranom čvrstoćom. Međutim kad se cement upotrebljava u većim postocima, kao stabilizirajuće sredstvo može proizvesti vrlo krut materijal s pojačanom sklonosti za nastajanje pukotina od skupljanja.

Različite kombinacije aditiva pridonose poboljšanju svojstava reciklirane mješavine. Vapno ili cement mogu se dodati u malim količinama bitumenskim aditivima za brže očvršćenje, postizanje ranije čvrstoće i povećanje otpornosti na vlagu.

3.5 Struktura kolničke konstrukcije

Strukturalni kapacitet kolnika potreban za preuzimanje prometnog opterećenja tijekom projektnog razdoblja rehabilitacije mora biti ocijenjen. Ako postojeći strukturalni kapacitet traži poboljšanje, mora se odrediti debljina kolnika potrebna za pojačanje koristeći se odgovarajućom metodom za projektiranje (dimenzioniranje) debljine pojačanja. Također je potrebno odrediti kapacitete postojeće strukture kolnika da podrži opremu za hladno recikliranje na licu mjesta tijekom procesa građenja. Ako nije moguće podržati opremu, tada hladno recikliranje na licu mjesta nije primjereno i treba razmotriti druge metode rehabilitiranja kolnika.

4 Primjena tehnologije hladnog recikliranja na licu mjesta s upjenjenim bitumenom u Hrvatskoj

Programom obnove državnih cesta odlučeno je da se kolnička konstrukcija državne ceste /DC 55/ na dionici Vinkovci - Županja rehabilitira tehnologijom hladnog recikliranja na licu mjesta. Projekt je lociran između

Vinkovaca i Gradišta na duljini od 17.800 metara. Posao je obavila tvrtka Reteh d.o.o. iz Karlovca 2008. godine

Implementacija je provedena u dva vremenska termina, tako što su radovi hladnog recikliranja na dionici od Gradišta do Privlake počeli sredinom svibnja 2008. a završeni su u kolovozu iste godine, dok je istovjetni posao na dionici od Privlake do Vinkovaca počeo u listopadu i završio u studenom 2008.

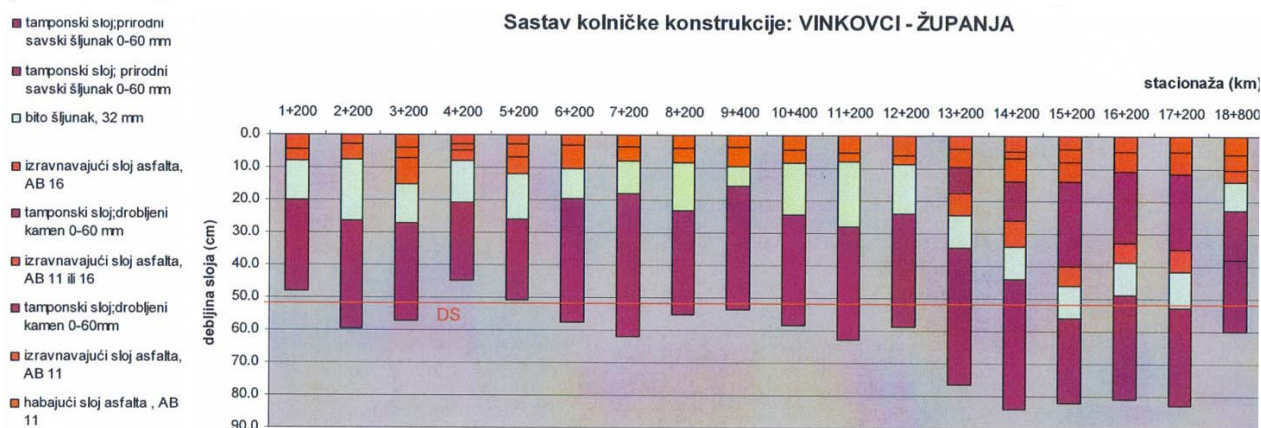
4.1 Stanje postojeće kolničke konstrukcije

Pripremni radovi započeli su vizualnim pregledom kolničke konstrukcije i ceste u cjelini. Uz vizualni pregled iskorišteni su i podaci o funkcionalnim značajkama kolničke konstrukcije dobiveni mjerenjem uzdužne i poprečne ravnosti, tj. dubine kolotruga pomoću laserskog profilografa. Strukturalne značajke kolnika ocijenjene su na osnovi defleksija mjerenih deflektografom LaCroix i otvaranjem kolnika iskopom sondažnih jama. Promjene strukture kolnika duž ceste prikazane su presjecima kolničke konstrukcije što se vidi na slici 6. [4].

slojeva izrazitom kolotražnju. Obavljena je i provjera kolničke konstrukcije na smrzavanje prema verificiranoj metodologiji [5], kao i analiza prometnog opterećenja.

4.2 Preporučena strategija rehabilitiranja strukture kolnika

Glodanje postojeće strukture kolnika u debljini od 22 cm i dodavanje drobljenoga kamenog materijala maksimalne veličine zrna 4 mm (u količini od 75 do 105 kg/m²), odabrano je za ovaj projekt kao poželjna strategija rehabilitiranja kolnika hladnim recikliranjem. Odlučeno je to na osnovi analize strukture kolnika, laboratorijskih ispitivanja materijala postojećeg kolnika, te izvodivosti postupka rehabilitacije. Ovaj izbor moguće je poduprijeti i brojnim primjerima učinkovitih postupaka rehabilitacije hladnim recikliranjem, kao što su primjerice jako raspućani kolnici u Ontariju, Kanada [6]. Specificirani materijali pomiješani su s dodatkom upjenjenog bitumena u količini od 2-3 %, cementa 1-2 % i vode 4,5 -5,5 %. Sve zajedno ugrađeno je na rehabilitiranoj dionici tzv. vlakom



Slika 6. Struktura kolničke konstrukcije DC 55 prije hladnog recikliranja-debljine pojedinih slojeva [4]

Iz slike 6. vidljivo je da se najvećim dijelom kolnička konstrukcija sastoji od sloja tampona i dva do četiri asfaltna sloja. Prosječna debljina tampona jest 35 cm, a asfaltnih slojeva 22 cm. Na ostatku ove cestovne dionice originalnu strukturu čini sloj asfalta na tamponu, na što je kasnije dograđen tamponski sloj promjenljive debljine (od 8 do 26 cm) i preko njega slojevi asfalta debljine od 9,5 do 14,1 cm. Struktura kolnika na manjem broju odsječaka nema dostatnu otpornost na smrzavanje, dok je kapacitet nosivosti kolnika najvećim dijelom zadovoljavajući. Indeks neravnosti kretao se je do 4,9 m/km, (uz prosječnu vrijednost IRI = 2,0 m/km). Dubine kolotruga kretale su se od 2 do 22 mm.

Od ostalih ispitivanja još je obavljeno laboratorijsko ispitivanje asfaltnog materijala na trajnu deformaciju, što je pokazalo nedvojbenu sklonost postojećih asfaltnih



Slika 7. Vlak za recikliranje na državnoj cesti D55 (Foto: Reteh d.o.o., G. Crnić)

za recikliranje (slike 7. i 8.) koji uz glodalicu ima i spremnik za bitumen te prikolicu za cement i vodu. Valjano zbijanje hladno recikliranog sloja iznimno je važno za postizanje zahtijevane kvalitete radova, pa je nužan pravilan izbor valjaka konvencionalnog tipa za zbijanje u skladu s projektnim zadatkom.



Slika 8. Vlak za recikliranje na državnoj cesti D55 (Foto: Reteh d.o.o., G. Crnić)

Nakon uspješno izvedenog hladno recikliranog sloja, ugrađeno je vruće asfaltno pojačanje koje se sastoji od bitumeniziranog nosivog sloja debljine 60 mm BNS 22A i od pokrovnog sloja debljine 40 mm AB11E s polimerom modificiranim bitumenom (slika 9.).



Slika 9. Dobar izgled pokrovnog sloja zastora kolnika položenog na hladno recikliranu podlogu na Državnoj cesti D55



Slika 10. Mjerenje dubine kolotruga 19. 5. 2009. u Kunjevcima (smjer Vinkovci-Županja)



Slika 11. Detalj mjerenja dubine kolotruga (19. 5. 2009.) na km 8+100 (smjer Županja - Vinkovci)

Prosječna dubina kolotruga, što su je autori ovoga članka ustanovili mjerenjem (slike 10. i 11.) polovinom svibnja 2009. na nekoliko lokacija u oba smjera vožnje, iznosila je oko 3 mm. Nepunih godinu dana nakon građenja, a na osnovi izmjerene parametra pokrovnog sloja (dubina kolotruga), trenutačno se može ustvrditi da ova funkcionalna značajka iskazuje očekivano ponašanje kolničke konstrukcije.

4 Zaključak

Rad predstavlja sažeti prikaz stanja razmjerno novog načina rehabilitiranja savitljivih kolničkih konstrukcija cesta tehnologijom recikliranja hladnim postupkom i na samoj cesti (na licu mjesta). Autori nisu imali ambiciju dati širi pregled primjene ove tehnologije u svijetu niti citirati takvu literaturu. Namjera autora bila je fokusirati se na primjer iz hrvatske prakse koji predstavlja projekt obnove Državne ceste D55 (dionica Vinkovci-Županja), kao prvu praktičnu primjenu ove tehnologije rehabilitiranja cesta u Hrvatskoj. Autori su također željeli popularizirati tehnologiju recikliranja asfaltnih kolnika hladnim postupkom jer smatraju da se radi o tehnologiji koja ima dobre izgleda za primjenu u Hrvatskoj. Ova tvrdnja, između ostaloga, zasniva se na činjenici da su gotovo sve izgrađene ceste u nas savitljivog tipa s asfaltnim zastorom i da je strukturalno stanje tih cesta takvo da primjenu tehnologije recikliranja u većini slučajeva čine tehnički ispravnom i ekonomski opravdanom.

U globalnom smislu opisana tehnologija već je postigla zapažene rezultate na planu rehabilitiranja savitljivih kolničkih konstrukcija cesta, autocesta i pista zračnih luka. U ovome se radu ističu prva domaća iskustva u provedbi tehnologije hladnog recikliranja na licu mjesta, s primjenom upjenjenog (ekspandiranog) bitumena.

Vizualni pregled ove ceste godinu i pol nakon obavljene rehabilitacije ne pokazuje posebne nedostatke tipa uzduž-

ne neravnosti, pukotina ili kolotruga ni na jednom odsječku ove ceste. Prosječna dubina kolotruga od oko 3 mm, kao kratkoročno ustanovljeni rezultat, indicira da hladno reciklirana struktura kolnika sa 100 mm vrućeg asfaltnoga zastora, za sada, iskazuje značajke u skladu s očekivanjem. Predstojeće praćenje ove ceste, koje će uključiti ispitivanje defleksija deflektometrom s padajućim teretom (FWD), mjerenje međunarodnog indeksa ravnosti (IRI), dubinu kolotruga i vizualni pregled pukotina itd., pokazat će mjeru održivosti ovoga trenda. Na osnovi dosadašnjih kratkoročnih spoznaja, kao i brojnih

pozitivnih iskustava u inozemstvu, osnovano je pretpostaviti da će hladno recikliranje asfaltnih kolnika na licu mjesta biti prihvaćeno kao dobro tehničko rješenje za obnovu cesta u Hrvatskoj. Preostaje da se praćenjem značajki ove hladno reciklirane državne ceste, kroz idućih nekoliko godina, potvrdi isplativost takve strategije rehabilitiranja cesta u nas. Uza sve rečeno, to bi predstavljalo i alternativu koja omogućuje produženje sezone građenja, a koja bi isto tako bila održiva i sa stajališta zaštite čovjekova okoliša.

LITERATURA

- [1] The Asphalt Handbook, Manual Series No. 4 /MS-4/, Seventh Edition, Asphalt Institute, USA, 2007
- [2] Cold Recycling, Asphalt Recycling & Reclaiming Association-ARRA, USA, 2005
- [3] Wirtgen Cold Recycling Manual, 2nd Edition, November 2004
- [4] Projekt obnove državnih cesta-Betterment II-Projekt kolničke konstrukcije državne ceste D55, dionica Vinkovci-Županja, km 1+200 do km 19+000, IGH, Zagreb, 2006.
- [5] Sršen, M.; Kovačić, M.; Kaučić, D.: *Određivanje dubine smrzavanja tla ispod kolničke konstrukcije*, Građevinar 56 (2004) 3, 145-154, Zagreb, 2004.
- [6] Lane, B.; Kazmierowski, T.: *Implementation of Cold In-Place Recycling with Expanded Asphalt Technology in Canada*, pp. 17-24, TRR: Journal of the Transportation Research Board, No. 1905, Washington D.C., 2005