

Izvedba asfaltnih kolnika postupkom hladne reciklaže

Pamić, Goran

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:333455>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Goran Pamić

**IZVEDBA ASFALTNIH KOLNIKA POSTUPKOM HLADNE
RECIKLAŽE**

Diplomski rad

Rijeka, lipanj 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Specijalistički diplomski stručni studij – Građevinarstvo

Smjer: Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi

Gospodarenje kolnicima

Goran Pamić

0114012649

**IZVEDBA ASFALTNIH KOLNIKA POSTUPKOM HLADNE
RECIKLAŽE**

Diplomski rad

Rijeka, lipanj 2019.

IZJAVA

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Goran Pamić

U Rijeci, 28.06.2019.

ZAHVALA

Koristim priliku da se zahvalim mentorici Marijani Cuculić, dipl.ing.građ. na vodstvu i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada. Također, zahvaljujem se svim profesorima, kolegama, prijateljima, a ponajviše obitelji na ukazanoj pomoći i podršci tijekom studiranja.

SAŽETAK:

Ovim diplomskim radom analizirana je mogućnost primjene obnove kolnika postupkom hladne reciklaže. Opisani su faktori koji uzrokuju oštećenje kolnika poput faktora okoliša i faktora prometa. Općenito su opisani postupci obnove kolnika recikliranjem s obzirom na način obrade, vrući i hladni postupak i s obzirom na mjesto obrade, na licu mjestu (in-situ) i na centralnom postrojenju (in-plant). U radu je prikazan tehnološki postupak hladnog recikliranja asfaltnog kolnika na licu mjesta primjenom upjenjenog bitumena i cementa na obnovi kolničke konstrukcije državne ceste D303, dionica Rovinj – Rovinjsko selo. Prikazanim tehnološkim postupkom ostvaruje se visoki postotak iskoristivosti materijala iz postojeće kolničke konstrukcije čime je smanjena potreba za prirodnim materijalima i dodatnim transportom. Prikazanim rezultatima obnovljena kolnička konstrukcija s analiziranim postupkom ima potrebnu nosivost, monolitnost te otpornost na smrzavanje.

Ključne riječi: asfaltni kolnik, hladno recikliranje, obnova kolnika, upjenjeni bitumen, reciklažni vlak

ABSTRACT:

This graduate thesis analyzed the possibility application of road reconditioning by cold recycling process. Factors that cause road damage such as environmental factors and traffic factors are described. In general, the procedures for reclaiming the roadway are recycled according to the processing method, the hot and the cold process and with respect to the processing site, on-site and in-plant. This paper presents a technological procedure for the cold recycling of asphalt pavement on site by applying bituminous and cement impregnated roadway reconstruction D303, dionica Rovinj – Rovinjsko selo. The technological procedure presented in the paper enables high percentage of material recovery from the existing pavement structure, and thus the need to use natural material is reduced. With the results presented the reconstructed pavement construction with the analyzed process has the required bearing capacity, monolithicity and freezing resistance.

Key words: asphalt pavement, cold recycling, pavement rehabilitation, foamed bitumen, recycling train

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	11
2. OPĆENITO O KOLNICIMA.....	13
2.1. Kolnička konstrukcija.....	14
2.2. Posteljica kolnika.....	15
3. FAKTORI KOJI UZROKUJU OŠTEĆENJE KOLNIKA.....	17
3.1. Faktori okoliša.....	18
3.2. Faktor prometa.....	19
4. RECIKLIRANJE ASFALTNIH KOLNIKA.....	21
4.1. Hladna postupak.....	25
4.2. Vrući postupak.....	25
5. TEHNOLOGIJA OBNOVE KOLNIKA POSTUPKOM HLADNE RECIKLAŽE.....	29
5.1. Prethodne radnje u postupku obnove kolnika.....	29
5.2. Strojevi za hladnu reciklažu.....	32
5.2.1. Reciklažni stroj.....	32
5.2.2. Valjci za zbijanje.....	36
5.2.3. Spremnici za veziva.....	38
5.3. Opis postupka recikliranja.....	39
5.4. Primjena tehnologije recikliranja s obzirom na geometriju prometnice..	42
5.5. Ugradnja materijala za reciklažu.....	44
5.6. Logistika.....	47
5.7. Zahtjevi koji se postavljaju za finalni proizvod.....	49
6. REKONSTRUKCIJA PROMETNICE POSTUPKOM HLADNE RECIKLAŽE NA PRIMJERU DRŽAVNE CESTE D303, Rovinj – Rovinjsko selo	50
6.1. Postojeće stanje.....	50
6.2. Planirano stanje.....	50
6.3. Prethodna ispitivanja.....	52
6.4. Izrada radnog sastava (recepture).....	53
6.5. Izvještaj o provedenim ispitivanjima.....	59
7. ZAKLJUČAK.....	65
8. LITERATURA.....	67

Popis slika

1. Slika 1: Primjeri polukrutih i savitljivih kolničkih konstrukcija
2. Slika 2: Prijenos opterećenja kotača na posteljicu [4]
3. Slika 3: Kriteriji za teorijsko dimenzioniranje sustava kolničke konstrukcije [4]
4. Slika 4: Raspored opterećenja kotača na posteljicu [1]
5. Slika 5: Indikatori koji utječu na oštećenje kolnika [1]
6. Slika 6: Indikatori koji utječu na oštećenje kolnika [4]
7. Slika 7: Mrežaste pukotine kolnika [7]
8. Slika 8: Centralno postrojenje za proizvodnju recikliranog materijala [1]
9. Slika 9: Mikroprocesorsko upravljanje sustavom ubrizgavanja [1]
10. Slika 10: Shema vrućeg postupka obnove kolnika [5]
11. Slika 11: Shema toka obnove kolnika [1]
12. Slika 12: Stroj za recikliranje kolnika [3]
13. Slika 13: Postupak reciklaže [1]
14. Slika 14: Postupak proizvodnje pjenastog bitumena [1]
15. Slika 15: Karakteristični vlak za reciklažu [3]
16. Slika 16: Karakteristični vlak za reciklažu s pripadajućim strojevima [1]
17. Slika 17: Faza zbijanja hladno recikliranog sloja [7]
18. Slika 18: Mješalica za mulj [1]
19. Slika 19: Glodalica u procesu rada [5]
20. Slika 20: Stroj za recikliranje s komponentama [7]
21. Slika 21: Plan zasjeka sa detaljnim prikazom preklopa [1]
22. Slika 22: Ispitivanje stupnja zbijenosti volumetrom [9]
23. Slika 23: Grafički prikaz vrsta i dimenzija slojeva u dijelu kolničke konstrukcije [11]
24. Slika 24: Grafički prikaz granulometrijskog sastava uzoraka glodanog materijala [11]
25. Slika 25: Grafički prikaz podešenog granulometrijskog sastava uzoraka glodanog materijala [11]
26. Slika 26: Granulometrija mješavine glodanog materijala iz kolničke konstrukcije i uvjeti iz Wirtghen Cold Recycling Manual 2004. [11]
27. Slika 27: Rezultati granulometrije u stabiliziranoj mješavini [13]
28. Slika 28: Vrijednosti udjela bitumena u stabiliziranoj mješavini [13]
29. Slika 29: Grafički prikaz odnosa indirektnog vlačnog naprezanja probnih tijela u suhom stanju i mokrom stanju [13]
30. Slika 30: Grafički prikaz preporučene granice odstupanja čvrstoće pri indirektnom vlačnom naprezanju [13]
31. Slika 31: Grafički prikaz rezultata stupnja zbijenosti na ugrađnom sloju [13]

Popis tablica

1. *Tablica 1: Udio veziva u recikliranoj mješavini [2]*
2. *Tablica 2: Prikaz mase valjka u odnosu na debljinu recikliranog sloja [2]*
3. *Tablica 3: Prikaz količina dovezenog materijala [1]*
4. *Tablica 4: Prikaz količina sredstava za stabilizaciju [1]*
5. *Tablica 5: Prikaz količina potrebne vode [1]*
6. *Tablica 6: Prikaz vrsta i dimenzija slojeva u dijelu kolničke konstrukcije [10]*
7. *Tablica 7: Granulometrijski sastav uzoraka glodanog materijala [10]*
8. *Tablica 8: Podešeni granulometrijski sastav uzoraka glodanog materijala [11]*
9. *Tablica 9: Reometrijske karakteristike bitumena i optimalni uvjeti punjenja [11]*
10. *Tablica 10: Radni sastav prema uvjetima Wirtghen Cold Recycling Manual [11]*
11. *Tablica 11: Rezultati granulometrije i udjela bitumena u stabiliziranoj mješavini [12]*
12. *Tablica 12: Gustoće laboratorijskih uzoraka i čvrstoće pri indirektnom vlačnom naprezanju [12]*
13. *Tablica 13: Vrijednosti dubine glodanja, gustoće sloja i stupnja zbijenosti [12]*

1. UVOD

U ovom diplomskom radu opisati će se metoda rekonstrukcije kolnika postupkom hladne reciklaže. Hladnom reciklažom se saniraju samo savitljive kolničke konstrukcije obzirom da su krute betonske konstrukcije već prilično istrošene nakon korisno uporabnog vijeka. U Hrvatskoj se u većini grade savitljive kolničke konstrukcije i sve je veći trend obnova prometnica postupkom hladne reciklaže. Korištenje ovog postupka rekonstrukcija prometnica kod nas je počela prije nešto više od 10 godina [1].

Prva zabilježena primjena ovog postupka kod izgradnje cesta bila je kod Rimljana, prije dvije tisuće godina, koji su također koristili obradu dodavanjem stabilizirajućeg sredstva, vapna, za ondašnje puteve u svrhu povećanja nosivosti opterećenih puteva. Danas se također koriste različite vrste sredstva za stabilizaciju ne samo zbog povećanja čvrstoće već i postojanosti i otpornosti na razne utjecaje iz okoliša [1,2].

Hladna reciklaža se može provesti na postrojenju (in plant), od glodanog materijala s gradilišta i eventualno po potrebi dopremljenog materijala s pozajmišta i hladna reciklaža na licu mjesta (in situ) gdje se materijal na licu mjesta obrađuje i formira podloga za asfaltni zastor [1].

Hladna reciklaža je najsuvremeniji postupak sanacije oštećenog kolnika recikliranjem postojećih materijala kolničke konstrukcije dodavanjem vezivnih sredstava poput cementa, vapna i upjenjenog bitumena. Na taj način se ojačava kolnička konstrukciju i produžuje vijek trajanja, a postupak izvedbe je u odnosu na klasičnu izvedbu mnogo brži i efikasniji te troši manje sredstava, skraćuje vrijeme gradnje, smanjuje troškove projekta, postižu se veće koristi zbog kraćeg vremena prekida prometa i ima u današnje vrijeme vrlo značajnu karakteristiku, a to je pozitivan ekološki faktor. U cijelosti se koristi postojeći materijal, vrlo je mala potreba za dodatnim materijalom, samim time je i smanjen transport što stvara znatno manje korištenje prirodnih resursa, manja emisija štetnih plinova i ujedno manje opterećenje postojećih prometnica [1, 3].

Rušenje i rekonstrukcija prometnica stvara značajnu količinu otpada, kao što su stari asfalt, beton i baznih materijala. Svaki kilometar ceste pokriva veliku površinu zemljišta i troši veliku količinu materijala i energije u njegovoj izgradnji. Ovi materijali često se mogu reciklirati u cestovnom sektoru, čime oni postaju nusproizvodi iz otpada koji ujedno smanjuju potrebu za netaknutim prirodnim resursima i smanjuju količinu otpada koji se mora

deponirati. Na taj se način smanjuju tragovi na pejzažu koji su neizbježni kod otvaranja kamenoloma i pozajmišta. U današnje vrijeme sve je teže osigurati građevinske deponije, jer se stvaranjem deponija bitno utječe na značajke okoliša poput zagađenja, remećenja prirodnih tokova i sl. [3].

Europska unija polaže značajne napore u očuvanje okoliša, samim time posebnu pozornost polaže i na recikliranje materijala dobivenog rekonstrukcijom cesta, što se razrađuje nizom direktiva, odnosno smjernicama Europske Komisije. Europa ima velik broj cesta, a ta se brojka povećava cijelo vrijeme. Prometnice su bitan dio infrastrukture, omogućuju brzi prijevoz ljudi i robe, koji su ključni elementi za funkcioniranje gospodarstva [3].

U ovom radu biti će opisani postupci rekonstrukcije postupkom hladne i tople reciklaže na mjestu ugradnje i na centralnom postrojenju s posebnim osvrtom na obnovu kolnika postupkom hladne reciklaže na mjestu ugradnje (in-situ) i uopće približiti tematiku i problematiku predmetnog zahvata.

Obzirom da predmetna tehnologija nije još toliko prihvaćena na domaćem tržištu opisati će se pobliže tehnologija rada, način izvedbe, potrebna mehanizacija, prethodni radovi koji su potrebni za izvedbu postupka i izrada radnog sastava s obzirom na materijal s kojim se raspolaže na predmetnoj dionici.

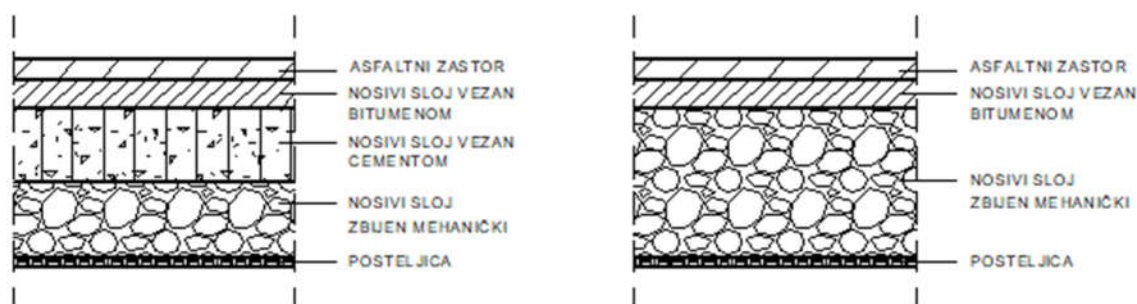
2. OPĆENITO O KOLNIČKIM KONSTRUKCIJAMA

Površina kolnika ili kolnički zastor obično su jedini vidljivi dio prometnice. Kolnički zastor pokriva kolničku konstrukciju izgrađenu od nekoliko slojeva različitih materijala, koji se često protežu do dubine veće od jednog metra. Kolnička konstrukcija je dio prometnice koja preuzima prometno opterećenje. Opterećenje vozila koji djeluje na površinu kolnika prenosi se preko kolničke konstrukcije na temeljno tlo (zemlju – teren), prirodni materijal donjeg sloja tla, posteljica, koji je najčešće nedovoljne nosivosti. Na taj način velika prometna opterećenja protežu se po širokom području posteljice [1].

Općenito, samo fleksibilni kolnici mogu biti ekonomično reciklirani na gradilištu. Kod savitljivih kolničkih konstrukcija se u potpunosti može iskoristiti postojeći materijal koji zahtijeva vrlo mali transport novog materijala. Kruti su kolnici često armirani pa je vrlo zahtjevno predrobljavanje i postizanje optimalne granulometrije. Isto tako, bez obzira na armaturu krute kolnika nije moguće kvalitetno usitniti za postizanje homogene smjese. Kruti kolnici izgrađeni od čvrstog betona obično su uništeni na kraju svog uporabnog vijeka [1].

Nakon izgradnje, prometnica je izložena razornim silama koje potječu iz dva osnovna izvora, okoliša i prometa. Oba izvora djeluju kontinuirano na smanjenje kvalitete vožnje i cjelovitosti kolničke konstrukcije [1].

Kao što je prethodno navedeno, kolnici se sastoje od dva osnovna elementa. Kolnička konstrukcija (asfaltni zastor i nosivi tampon sloj) i posteljica i svaki od njih služi za specifične različite svrhe i prema tome ih treba promatrati zasebno [1].

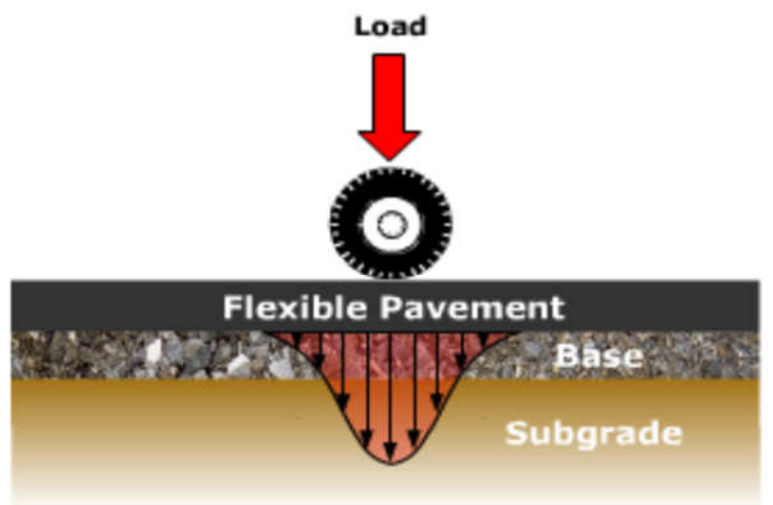


Slika 1: Primjeri polukrutih i savitljivih kolničkih konstrukcija

Kolnički zastor je veza kolnika sa prometom i okolišem i njegova je svrha zaštititi kolničku konstrukciju od oba utjecaja, pružajući postojanost i vodonepropusnost [1].

2.1. Kolnička konstrukcija

Kolnička konstrukcija prenosi opterećenje sa površine kolnika na posteljicu. Opterećenje koje djeluje preko kotača na površinu kolnika djelotvorno se smanjuje unutar kolničke konstrukcije, rasprostiranjem po velikoj površini posteljice. Kolnička konstrukcija se općenito sastoji od nekoliko slojeva materijala različite karakteristike čvrstoće, a svaki sloj služi u svrhu raspodjele opterećenja koje prima na vrhu, preko širokog područja na dnu. Slojevi u gornjem dijelu kolničke konstrukcije izloženi su većim naprezanjima od donjih slojeva, te trebaju biti izgrađeni od čvršćeg materijala (slika 2) [1].



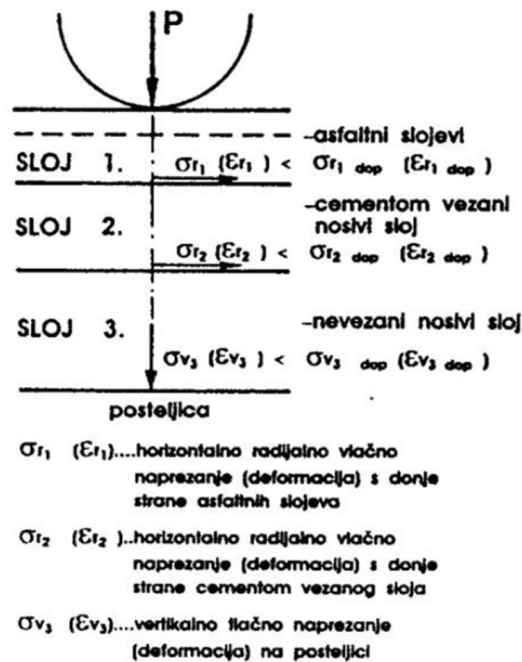
Slika 2: Prijenos opterećenja kotača na posteljicu [4]

Reakcija materijala na opterećenja koja djeluju u znatnoj mjeri ovisi od elastičnih svojstava materijala, karakteristika opterećenja (veličina, brzina, tereta, itd.).

Međutim važne osobine su [1]:

- „granulirani materijali koji sadrže drobljeni kamen i šljunak, prenose opterećenja preko pojedinačnih čestica, ili skeleta, kolničke konstrukcije. Trenje između čestica održava integritet kolničke konstrukcije, ali pod djelovanjem ponavljano opterećenja (često povezanog sa povećanjem sadržaja vlage), proces postupnog zgušnjavanja se događa kako se čestice približavaju jedna drugoj. To se može pojaviti na bilo kojem nivou u kolničkoj konstrukciji i konačno rezultira deformacijom površine kolnika. Takva deformacija se normalno manifestira kao kolotrazi u širokom radijusu, u tragovima kotača“.
- „Vezivni materijali koji sadrže stabilizirane materijale i asfalt, djeluju više kao ploča. Djelovanje vertikalnog opterećenja na površinu ploče proizvodi horizontalna tlačna

naprezanja u gornjoj polovici ploče i horizontalna vlačna naprezanja u donjoj polovici ploče, sa maksimalnim horizontalnim naprezanjima na vrhu i dnu. Unutarnje naprezanje koje rezultira iz ovih naprezanja, posebno vlačno unutarnje naprezanje na dnu, konačno nakon mnogih ponavljanja opterećenja dovodi do loma zbog zamora. Pukotine se razvijaju na dnu sloja i nakon toga se šire vertikalno, kako se nastavljaju ponavljana opterećenja“.



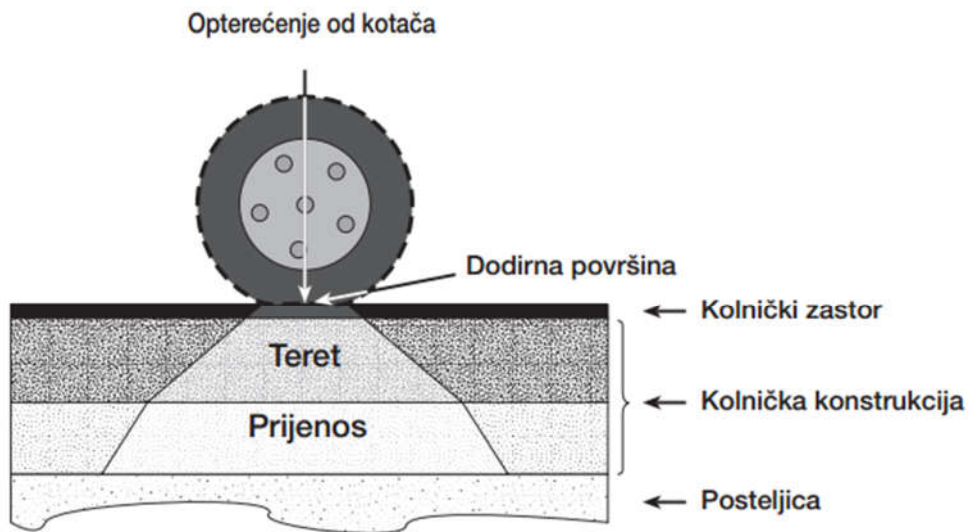
Slika 3: Kriteriji za teorijsko dimenzioniranje sustava kolničke konstrukcije [4]

Deformacije koje nastaju u prirodnom materijalu i pukotine od zamora vezivnog materijala su povezane sa kontinuiranim ponavljanjem opterećenja. To omogućava određivanje funkcionalnog uporabnog vijeka kolnika, obzirom na broj opterećenja prije nego što se je "slomio". [1]

2.2. Posteljica kolnika

Posteljica je završni sloj nasipa ili uređeno temeljno tlo usjeka na koju se izvodi kolnička konstrukcija. Prirodni materijal koji preuzima opterećenje kolničke konstrukcije može biti materijal sa gradilišta (iz iskopa) ili dopremljen materijal (materijal ispune). Karakteristike čvrstoće ovog materijala diktiraju vrstu kolničke konstrukcije potrebne za raspon djelovanja površinskog opterećenja, do veličine koja se može tolerirati bez trajne deformacije. U postupcima projektiranja kolnika obično se koristi čvrstoća posteljice i

krutost kao osnovni ulazni parametri i svrha im je pružiti kolničkoj konstrukciji dovoljnu čvrstoću i nosivost u svrhu zaštite posteljice [1].



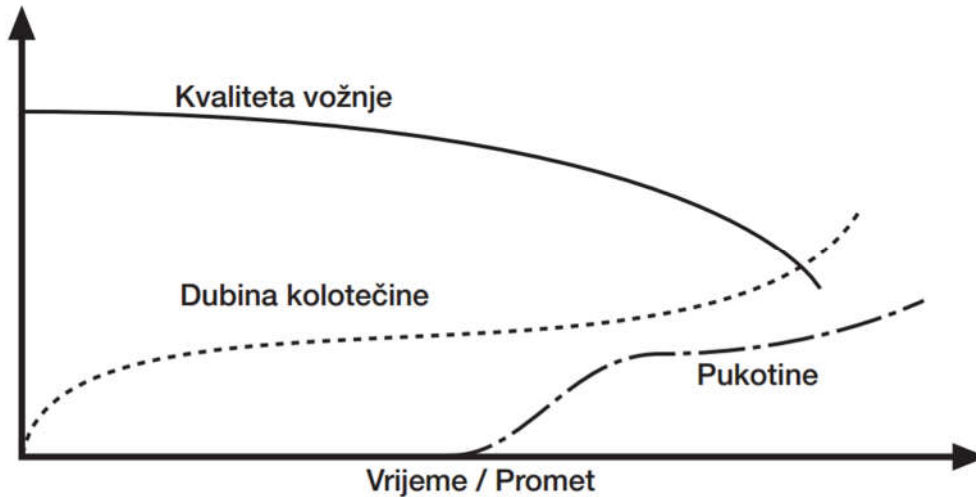
Slika 4: Raspored opterećenja kotača na posteljicu [1]

Pristup koji je prvi puta bio prihvaćen 1950. godine sa empirijskim postupkom California Bearing Ratio (CBR) “projektiranja pokrova” i zadržao se je do 21. stoljeća je indeks nosivosti posteljice odnosno podatak s kojim se ide dalje u proračun kolničke konstrukcije. Općenito, kolnička konstrukcija štiti slabu posteljicu kolnika, preuzima prometno opterećenje te ga ravnomjerno prenosi na posteljicu i stvara uvjete da se na asfaltnom zastoru postignu propisani uvjeti ravnosti i zbijenosti, a takva se zaštita i uvjeti postižu proračunom kolničke konstrukcije u odnosu na prometno opterećenje (slika 4) [1].

3. FAKTORI KOJI UZROKUJU OŠTEĆENJE KOLNIKA

Bez obzira na uvjete okoliša, svaka je prometnica projektirana izdržati prometno opterećenje, tj., djelovanje sila velikog intenziteta, opterećenja kotača, na površinu kolnika i sila manjeg intenziteta koje posteljica može podnijeti bez deformacije. Karakteristični uvjeti okoliša i prometno opterećenje su dva osnovna faktora koja utječu na zahtjeve za kolničku konstrukciju [1].

Kolnik se oštećuje zbog niza razloga, a dva najvažnija razloga kao što je već navedeno su utjecaj okoliša i prometno opterećenje. Oštećenje kolnika se može mjeriti neizravno, procjenom kvalitete vožnje kao što su, ugodnost vožnje, buka, udarne rupe ali su isto tako važna vidljiva oštećenja kao što je dubina kolotruga i površinske pukotine, poprečna ulegnuća. Na slici 4 su prikazane tri funkcije obično postavljene obzirom na proteklo vrijeme i kumulativni efekt prometnog opterećenja. Takvo postupno oštećenje kolnika uzrokovano je kombinacijom faktora okoliša i prometnog opterećenja, kako je objašnjeno na donjem dijagramu [1].

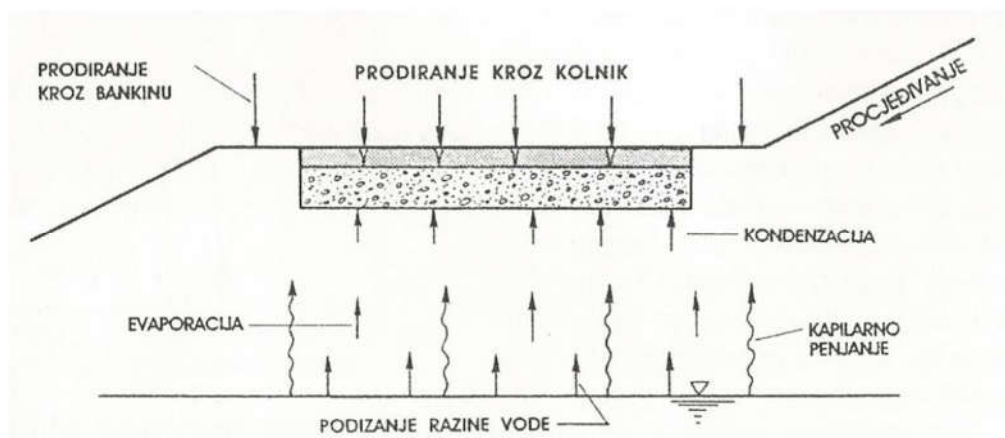


Slika 5: Indikatori koji utječu na oštećenje kolnika [1]

Na slici je prikazan pad kvalitete vožnje u odnosu na proteklo vrijeme te nastanak kolotečina s obzirom na proteklo vrijeme i prometno opterećenje kao i nastanak i povećanje pukotina u određenom vremenskom periodu (slika 5).

3.1. Faktori okoliša

Faktori okoliša odgovorni su za većinu pukotina koje nastaju na kolniku. Utjecaj ultraljubičastog zračenja sunčevog svjetla na kolnik ubrzava otvrdnjavanje bitumena čime bitumen gubi na elastičnosti i koje rezultira pojavom pukotina uslijed skupljanja asfaltnog zastora kod njegovog hlađenja. Kod takvih kontinuiranih pojava, kolnik gubi svoju cjelovitost i homogenost te kroz nastale pukotine s vremenom prodire vode i uzrokuje vlaženje donjih slojeva konstrukcije, mogućnost smrzavanja u zimskom periodu pa čak i bubrenje i uzdizanje asfaltnog zastora. Oborinska voda osim kroz pukotine, prodire kroz bankinu, procjeđuje se pokosom prometnice te se može kapilarno dizati te na navedene načine uzrokuje vlaženje donjih slojeva konstrukcije (posteljica i temeljno tlo) te na taj način dolazi do slabljenja donjih slojeva konstrukcije (slika 6). Jednom nastale pukotine progresivno uzrokuju daljnje oštećenje kolnika [1].



Slika 6: Indikatori koji utječu na oštećenje kolnika [4]

Kolnički zastor je kontinuirano izložen dvjema osnovnim načinima djelovanja okoliša, toplinskom djelovanju i zračenju ultraljubičastih zraka [1].

Kolnički zastor prema tome treba posjedovati slijedeća svojstva [1]:

- elastičnost, koja će mu omogućiti da se ponavljano širi i skuplja kod temperaturnih promjena
- postojanost, da svakodnevno apsorbira ultraljubičasto zračenje bez prijevremenog starenja

Osim toga, kolnik je izložen i raznim atmosferilijama, kiša, snijeg i led. Led može biti posebno opasan ne samo zbog mogućnosti od proklizavanja vozila već može djelovati

negativno i na samu konstrukciju tako što dolazi do smrzavanja tla ispod kolnika, s obzirom da smrzavanje može dovesti do bubrenja i izdizanja tla stvaranjem ledenih leća u tlu, a nakon što se tlo odmrzne, dolazi do otpuštanja tla te takvo uzastopno djelovanje oštećuje kolničku konstrukciju, stvaraju se pukotine u određenim slojevima kolničke konstrukcije kao i zbog visoke vlažnosti tijekom odmrzavanja, kada je posteljica zasićena vodom. Otapanje se uglavnom odvija od površine prema dubini, tako da dolazi do svojevrsnog fenomena u kojem donji slojevi zadržavaju otopljenu vodu. Ponekad se odmrzavanje ne događa jednoliko na svim dijelovima kolnika, pa se zbog toga događa nejednoliko slijeganje izdignutih površina, a uglavnom se događa na mjestima na kojima Sunčeva toplina ne dopire u istoj mjeri na sve dijelove kolnika [1].

3.2. Faktor prometa

Prometno opterećenje je odgovorno za stvaranje kolotruga i pukotina koje započinju unutar kolničke konstrukcije. Sva vozila na prometnici uzrokuju nekakva oštećenja, manja vozila uzrokuju mala, gotovo beznačajna oštećenja dok velika pogotovo teretna vozila uzrokuju velika oštećenja tj, velike deformacije tim više ako su opterećeni masom koja je veća od dozvoljene što je kod nas česta pojava. Kod ponavljanih naprezanja dolazi do veće gustoće materijala čime se nosivost u donjim slojevima čak i povećava izuzev kod konstrukcija malih debljina gdje može doći do loma konstrukcije dok se uslijed tih istih naprezanja u asfaltu nestaju šupljine uzrokovane opterećenjem prometa, a za posljedicu ima isplivavanje bitumen i njegovog nestajanja, pojave kolotraženja kolnika te nemogućnosti da asfaltni zastor uslijed temperaturnih promjena mijenja svoj volumen [1, 3].

Pukotine od zamora vezivnog materijala započinju na dnu sloja, gdje su maksimalna vlačna unutarnja naprezanja uzrokovana opterećenjem od kotača. Ove se pukotine nakon toga šire do površine. Trajna deformacija materijala donjeg sloja pogoršava ovo stanje, djelotvornim povećanja vlačnih unutarnjih naprezanja koja nastaju pod djelovanje opterećenja od kotača [1].



Slika 7: Mrežaste pukotine kolnika [7]

Kumulativni učinak prometa postupno dovodi do trajne deformacije i/ili pukotina od zamora materijala te kad jednom nastanu pukotine, stanje kolnika se progresivno pogoršava, nastaju mrežaste pukotine (slika 7) i narušuje se ne samo stabilnost asfalta već i donjih slojeva konstrukcije [1].

Promet djeluje na kolnički zastor na dva načina [1]:

- Vertikalno naprezanje opterećenja kotača koje djeluju na površinu kolnika i horizontalna opterećenja na kolnik koja postaju značajna na rubnim dijelovima kolnika, strmim usponima i padovima te na mjestima kočenja vozila. Karakteristike materijala korištenog u kolničkom zastoru i način ugradnje moraju biti u stanju podnijeti sva ova naprezanja, bez drobljenja i deformacija.
- Guljenje odnosno habanje površine kolnika od djelovanja guma vozila, posebno tijekom vožnje u krivinama dovodi do trošenja površine kolnika. Vremenom ovaj efekt zaglađivanja površine kolnika rezultira smanjenjem svojstava trenja (otpor klizanju) površine kolnika i promjenom teksture kolnika. Tako zaglađene, pohabane površine postaju skliske, pogotovo kada su mokre mogu biti izrazito opasne.

4. RECIKLIRANJE ASFALTNIH KOLNIKA

U postupku obnove asfaltnih kolnika koriste se dva postupka, hladni postupak i vrući postupak. U Hrvatskoj je zastupljenije recikliranje asfaltnih kolnika hladnim postupkom, a nešto manje zastupljenije, više korišteni postupci u susjednim zemljama, recikliranje asfaltnih kolnika vrućim postupkom.

Hladna reciklaža može se provesti u postrojenju, od materijala skinutog sa postojeće ceste i dopremljenog do centralnog deponija ili na gradilištu pomoću stroja za reciklažu. Obrada u postrojenju općenito je skuplja obzirom na troškove po m³ obrađenog materijala, uglavnom zbog troškova transporta kojih nema kod reciklaže na gradilištu [1]. Postrojenje može biti centralno, stalno instalirano ili mobilno na prikolici. Mobilno postrojenje također zahtijeva i veliku površinu gdje će se odvijati cijeli proces, stoga ako se ne radi o velikim količinama, hladna reciklaža na licu mjesta (in situ) je mnogo pogodnija. Postupak hladne reciklaže je sve učestaliji jer se obnova kolnika odvija brže, manje se crpe prirodne sirovine kojih je sve manje gdje crpljenjem ostavljamo dubok trag na prirodu i okoliš, te manja emisija štetnih plinova zbog manje potrebe za transportom. Gradnja ili rekonstrukcija prometnice zahtijeva velike količine materijala, sredstva rada, mehanizacije, a odlukom na obnovu kolnika hladnom reciklažom sav materijal se nalazi na gradilištu. Prve obnove hladne reciklaže u Hrvatskoj su izvođene prije desetak godina točnije 2008. godine te se do sada isprobavane različite recepture, procesi i načini obnove kolnika tako da do sada hrvatska operativa posjeduje dovoljno znanja za kontinuiranu izvedbu hladne reciklaže. U budućnosti bi se taj postupak trebao intenzivirati zbog već niza navedenih razloga, a i zbog drugačijih kolničkih konstrukcija koje se u zadnjih 15-tak godina izvode, s više upotrebljivog materijala za izradu hladne reciklaže. Naime, nekada su kolničke konstrukcije na kojima nije bilo potrebe za nasipom, izgledale u obliku asfaltnog zastora s jednim do dva sloja često i nekoliko puta preasfaltiranim kolnicima i s minimalnim visinskim niveliranjem podloge od zrnatog kamenog materijala [2].

Osnovne faze rada su usitnjavanje postojećeg kolnika, dodavanje veziva i homogeniziranje te profiliranje i zbijanje. Obzirom na mjesto dodavanja veziva hladno reciklirana mješavina može se proizvoditi na licu mjesta tzv. *in situ* postupkom ili na proizvodnom postrojenju tzv. *in plant* postupkom. *In situ* postupkom se spomenute faze recikliranja provode na licu mjesta u neprekinutom nizu radnji, dok se kod *in plant* postupka

kolnik usitnjava glodanjem ili drugim načinom i odvozi na specijalizirano postrojenje gdje se vrši dodavanje veziva i homogeniziranje te se potom odvozi na mjesto ugradnje [2].

Prednosti in-plant postupka su [2]:

- Kontrola kvalitete ulaznog materijala
- Precizna kontrola proporcija više ulaznih materijala i količina vode i veziva koje se dodaju
- Kontrolirani proces miješanja, koji je moguće prilagođavati potrebama
- Kontrola kvalitete gotovog materijala prije ugradnje
- Moguće skladištenje gotovog materijala
- Moguće je izabrati najpodesniji način ugradnje.

Prednosti in-situ postupka su [2]:

- Smanjeni negativni utjecaji na okolinu
- Visoka kvaliteta izvedenih radova
- Strukturna čvrstoća
- Donji slojevi ostaju zaštićeni
- Efikasnost
- Sigurnost
- Isplativost.

In-plant postupak je skuplji u odnosu na in-situ postupak ali se postižu bolji rezultati same izvedbe. Sama izvedba je kvalitetnija jer se postiže homogenija smjesa, moguće je odgoditi ugradnju dok se ne steknu određeni uvjeti na samom gradilištu, primjerice vremenski ili potreba za dodatnim radovima na samoj prometnici. In-plant postupak zahtijeva veći zahvat obnove kolnika kako bi bio ekonomski opravdan [2].

In-situ postupak se više koristi u Hrvatskoj jer je jednostavniji, brži i postižu se također vrlo dobri rezultati. Za razliku od in-plant postupka zahtijeva manje transporta, samim time i manju emisiju štetnih plinova, manje operativnog prostora jer se kompletna operacija vrši na samom gradilištu korištenjem raznih modela reciklažnih vlakova ovisno o načinu obnove kolnika tj. izboru aditiva koji će se koristiti u samoj reciklaži.

Hladna reciklaža in-plant koja se odvija na centralnom postrojenju može biti specijalno dizajnirano postrojenje i stacionarni vlak bez glodalice. Glodani materijal se može odmah koristiti i prerađivati ili se može deponirati i kasnije koristiti za kasniju upotrebu u vidu saniranja rupa i nepravilnosti na kolniku. Nakon glodanja kolnika, materijal se

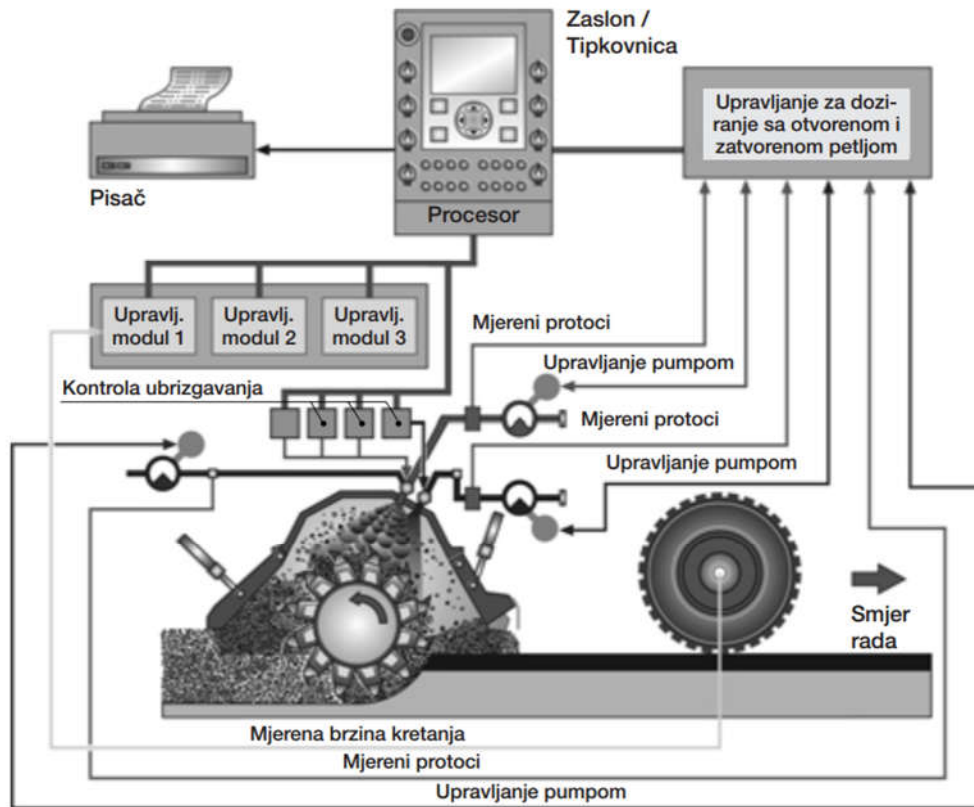
transportira kamionima na centralno postrojenje na daljnju obradu. Kao aditiv se najčešće koristi bitumenska emulzija. Centralno postrojenje koristi određen broj komora za preradu glodanog materijala i novog agregata, komoru za privremeno skladištenje, kamione za transport reciklirane mješavine ili transportne trake ukoliko se materijal skladišti. Mješvina se transportira na gradilište kamionima i ugrađuje finišerom i grejderom te se vrši zbijanje valjcima sa gumama i čeličnim valjcima [6].



Slika 8: Centralno postrojenje za proizvodnju recikliranog materijala [1]

Proizvodno postrojenje treba zadovoljiti najmanje sljedeće zahtjeve [2]:

- da je tvorničke izrade nekog od registriranih proizvođača koji ima zadovoljavajuću referencu u uspješnoj proizvodnji takvih postrojenja,
- da ima mogućnost automatskog doziranja svih komponenata,
- da omogućuje izradu homogene mješavine,
- da su uređaji za maseno i volumno doziranje umjereni od tvrtke ovlaštene za takvo umjeravanje,
- dodavanje svih komponenti mora biti kontrolirano mikro-procesorom i mehaničkim i električnim uređajima koji točno reguliraju količinu dodanih komponenata,
- sa su sekvence doziranja komponenti tako podešene da se prvo dozira voda, a potom vezivo,
- da ima mogućnost bilježenja potrošnje svih komponenata.



Slika 9: Mikroprocesorsko upravljanje sustavom ubrizgavanja [1]

U slučaju stabiliziranja reciklirane mješavine upjenjenim bitumenom trebaju biti zadovoljeni još i sljedeći zahtjevi [2]:

- svaka prskalica treba imati ekspanzijsku komoru za upunjavanje bitumena,
- mogućnost kontrole tlaka i temperature bitumena pripremljenog za upunjavanje,
- mogućnost dokazivanja da sve ekspanzijske komore ispravno rade te da nema začepjenja dovoda bitumena i vode u ekspanzijsku komoru za pjenjenje,
- posebna ekspanzijska komora i mlaznica za kontrolu kvalitete bitumenske pjene.

Proizvodno postrojenje po mogućnosti treba pozicionirati tako da je vrijeme transporta reciklirane mješavine što kraće. Ako je glodani asfalt prekrupan, usitnjavanje treba obavljati prikladnim drobilicama i separatorima. Glodani asfalt i frakcije kamenih materijala trebaju se po mogućnosti skladištiti u natkrivenim deponijama. Deponije glodanog asfalta trebaju se graditi do prikladne visine. Potrebno je spriječiti pristup težih

strojeva na deponije kako ne bi došlo do zbijanja i sljepljivanja materijala. Silosi i oprema za doziranje cementa trebaju biti zaštićeni od atmosferilija. [2]

4.1. Hladni postupak

Hladno recikliranje na licu mjesta jest proces recikliranja kolnika na terenu što se obavlja na dubini tretiranja od 50 do 300 mm, uz uporabu vlaka 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). Upjenjeni bitumen se dobiva miješanjem bitumena i vode ubrizganima direktno u recikler. Proces podrazumijeva glodanje asfaltnog kolnika, dodavanje materijala sukladno recepturi na osnovu prethodnih ispitivanja, homogenizaciju smjese koja se postiže u bubnju za glodanje, razastiranje recikliranog materijala, profiliranje buduće prometnice i naposljetku, zbijanje materijala za postizanje potrebne nosivosti. Proces generira i ponovno rabi reciklirani asfaltni kolnik s rezultirajućim recikliranim kolnikom koji je uobičajeno moguće otvoriti za prometovanje na kraju radnoga dana [6].

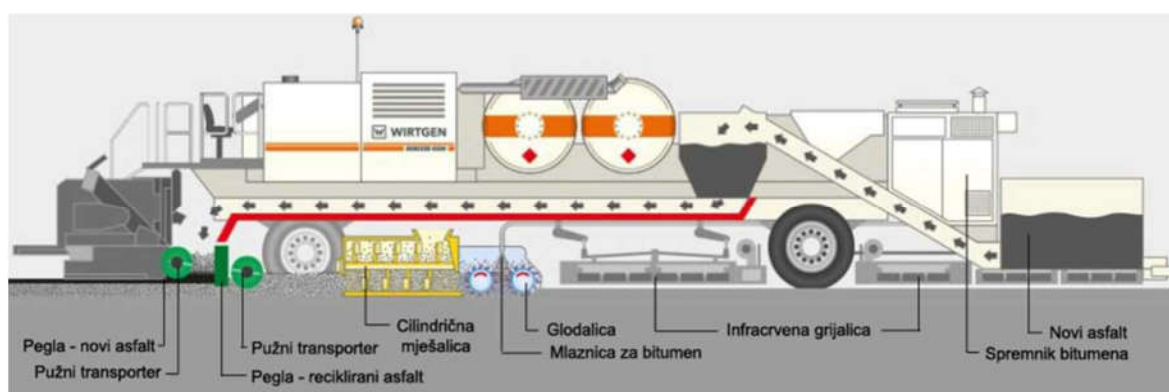
Postoji više vrsta vlakova za hladno recikliranje s različitim konfiguracijama opreme. Obično se nazivaju kao vlak s jednom jedinicom, vlak s dvije jedinice, ili vlak s više jedinica. Vlakovi se razlikuju jedan od drugoga po tome kako i u kakvom sastavu obavljaju proces recikliranja, kako uključuju aditive, po načinu miješanja i kontrole te po tome kako ugrađuju proizvedenu mješavinu. Obnova kolnika postupkom hladne reciklaže može biti samo uz dodatak hidrauličnih veziva, samo uz dodatak bitumenskih veziva ili pak kombinacija oba veziva pa se shodno tome razlikuju i reciklažni vlakovi s brojem jedinica [7].

4.2. Vrući postupak

Osnovni koraci reciklaže asfalta po vrućem postupku koji se vrše u jednom radnom koraku su predgrijavanje asfaltnog zastora, dodavanje dopunskih kamenih materijala, dodavanje veziva, glodanje starog asfalta te dodanih materijala i veziva, miješanje i homogenizacije smjese, razastiranje nove reciklirane mješavine pužnim transporterima i ugradnja nosivog sloja peglom. Kod vrućeg postupka postoji i primjena tehnologije, remix plus, gdje se novi asfalt automatski ugrađuje peglom iznad recikliranog nosivog sloja.

Kompozicija strojeva potrebnih za vruću reciklažu in situ sastoji se od predgrijača, remiksera i valjaka. Ako je projektom definirano, prije predgrijavanja pristupa se glodanju i uklanjanju završnog sloja te po potrebi i posipavanju kamene sitneži. Ova tehnologija podrazumijeva istodobno polaganje dvaju slojeva asfalta. Postojeći asfaltni sloj se tretira tehnologijom „remix“ i ugrađuje se nosivi sloj te se iznad njega ugrađuje habajući sloj od novog asfalta, sve u jednom radnom ciklusu [6].

Predgrijači pomoću propan-butanskih infracrvenih grijača postupno zagrijavaju oštećeni asfaltni sloj na potrebnu temperaturu (160-180°). Osim predgrijača, infracrvene grijače sadrži i sam remikser. Remikser glodanje oštećenog sloja vrši pužnom glodalicom (slika 10). Ako se smjesi dodaje tekući bitumen, on se mlaznicama ubrizgava neposredno prije glodalice kako bi tako izglodani materijal sa svim komponentama bio dalje homogeniziran u cilindričnoj miješalici. Nakon što navedena smjesa prođe postupak miješanja i potpuno se homogenizira, pužnim se transporterima rasprostire u punoj širini reciklaže te se peglom automatski ponovno ugrađuje (zbijanje i profiliranje) [6].



Slika 10: Shema vrućeg postupka obnove kolnika [5]

Kod primjene tehnologije REMIX dolazi do recikliranja i poboljšanja postojećeg sloja asfaltnog kolnika tako što se glodani materijal iz starog asfaltnog sloja oplemenjuje dodavanjem nove asfaltne mješavine ili bitumena. Konstrukcija remiksera omogućuje dodavanje sredstava za vezanje (novi asfalt ili bitumen) prema propisanoj formuli. Najčešće se dodaje 5 do 30 % novog materijala kako bi se staroj asfaltnoj mješavini poboljšala svojstva [6].

- Postupak izvođenja tehnologije REMIX [6]:
 - razastiranje kamenog materijala izravno na asfaltnu podlogu koja se reciklira
 - grijanje asfaltnih slojeva na traženu temperaturu

- doziranje i razastiranje vrućeg bitumena
- dodavanje potrebnih materijala (aditiva, asfalta)
- glodanje i miješanje zagrijanog asfalta i svih dodataka
- polaganje reciklirane asfaltne smjese
- zbijanje ugrađene asfaltne smjese

Ako se izvodi tehnologija Remix Plus, kojom se u istom radnom koraku ugrađuje reciklirani nosivi sloj i novi habajući sloj asfalta, novi se asfalt doprema kamionima iz asfaltne baze te se iskrcava na spremnik u prednjem dijelu remiksera i dalje se transportnim trakama odvozi na stražnji dio remiksera i ugrađuje peglom, neposredno nakon pegle koja ugrađuje reciklirani sloj. Kao zadnji korak koriste se valjci koji vrše mehaničko zbijanje ugrađenih slojeva. Opisana tehnologije omogućuje izvedbu četiri osnovne vrste recikliranja asfaltnih slojeva po vrućem postupku, od kojih su najčešće REMIX i REMIX PLUS [6].

- Postupak izvođenja tehnologije REMIX PLUS [6]:
 - razastiranje kamenog materijala izravno na asfaltnu podlogu koja se reciklira
 - grijanje asfaltnih slojeva na zahtijevanu temperaturu
 - doziranje i razastiranje vrućeg bitumena
 - dodavanje potrebnih materijala (aditiva, asfalta)
 - glodanje i miješanje zagrijanog asfalta i svih dodataka
 - polaganje reciklirane asfaltne smjese prvom peglom (nosivi sloj)
 - polaganje nove asfaltne smjese drugom peglom (habajući sloj, debljina 10-40 mm) - zbijanje obaju ugrađenih slojeva

Ostale dvije metode nešto rjeđe korištene su RESHAPE i REPAVE. U nastavku je kratak opis dviju metoda.

Tehnologija RESHAPE podrazumijeva reprofiliranje postojećeg habajućeg sloja asfaltnog kolnika vrućom reciklažom u njegovoj postojećoj debljini. Ako je potrebno povećavanje hrapavosti, dodaje se lomljeni kameni agregat [6].

- Postupak izvođenja tehnologije RESHAPE [6]:
 - grijanje asfaltnih slojeva na traženu temperaturu
 - glodanje i miješanje zagrijanog asfalta i svih dodataka
 - polaganje reciklirane asfaltne smjese
 - zbijanje ugrađene asfaltne smjese

Tehnologija REPAVE podrazumijeva reprofiliranje postojećeg habajućeg sloja asfaltnog kolnika vrućom reciklažom u njegovoj postojećoj debljini uz dodavanje tankog sloja novog asfalta [6].

- Postupak izvođenja tehnologije REPAVE [6]:
 - grijanje asfaltnih slojeva na traženu temperaturu
 - glodanje i miješanje zagrijanog asfalta i svih dodataka
 - polaganje reciklirane asfaltne smjese
 - polaganje novog tankog sloja asfalta (debljine cca. 20 mm)
 - zbijanje ugrađenih slojeva

5. TEHNOLOGIJA OBNOVE KOLNIKA POSTUPKOM HLADNE RECIKLAŽE

Gospodarenje cestama, u najširem smislu, obuhvaća sve aktivnosti uključene u planiranje, projektiranje, izgradnju, održavanje i rehabilitaciju cesta. Gospodarenje cestama je sustavni proces održavanja i poboljšanja postojeće cestovne mreže s ciljem osiguranja kontinuiteta u odvijanju prometa na učinkovit i siguran način uz ispunjenje zahtjeva isplativosti zaštite okoliša, tj. proces kojem je cilj optimizirati sveobuhvatne značajke ponašanja cestovne mreže tijekom vremena [1].

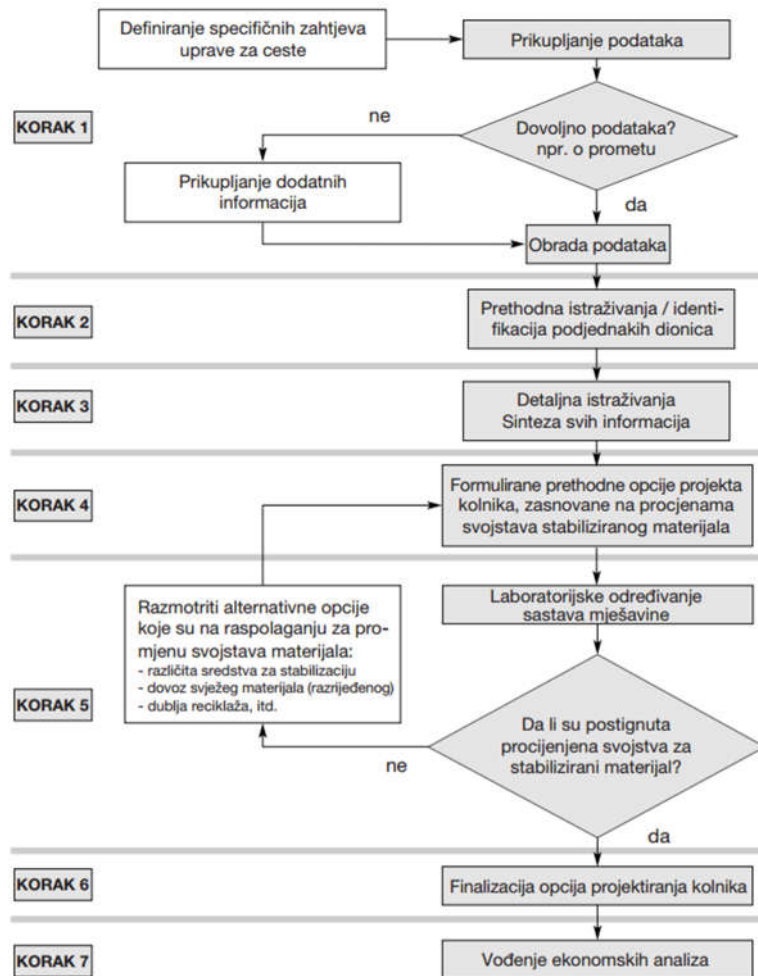
Ciljevi gospodarenja cestama su [1]:

- sustavni pristup odlučivanja unutar konzistentnog definiranog okvira,
- procjena potreba za proračunskim sredstvima i resursima,
- usvajanje konzistentnih standarda održavanja i projektiranja predmetnih radova,
- djelotvorno raspoređivanje resursa,
- sustavno i kontinuirano revidiranje politike održavanja, standarda i djelotvornosti programa

5.1. Prethodne radnje u postupku obnove kolnika

Prije samog početka obnove kolnika moraju se razmotriti nekoliko bitnih elemenata. Od nadležne službe za upravljanje cestama bitno je identificirati problem uz pomoć sustava gospodarenja kolnicima. To se provodi prikupljanjem informacija i provođenjem detaljnih istraživanja kako bi se identificirali problemi (slika 11). Navedeni elementi su [1]:

- što uprava za ceste očekuje od obnovljenog kolnika (kratkotrajni/dugotrajni vijek; kvaliteta vožnje, lokalne mogućnosti održavanja)
- istražni radovi u svrhu razumijevanja ponašanja kolnika i načina oštećenja



Slika 11: Shema toka obnove kolnika [1]

Pri donošenju odluke o načinu recikliranja, vrsti veziva, dubini zahvata i debljini recikliranog sloja, treba razmotriti slijedeće utjecaje [1]:

- da li se postojeće geometrijske karakteristike ceste bitno mijenjaju,
- kvalitetu materijala koji se reciklira, kao i kvalitetu slojeva koji ostaju ispod recikliranog sloja,
- gdje je glavni uzrok nastanka oštećenja kolnika i da li ga se otklanja recikliranjem

Često se pokazala praksa da je kod rekonstrukcija cesta, pogotovo županijskih cesta koje nemaju potrebnu širinu bankine, potrebno proširenje zahvata prometnice odnosno osiguranja bankine kako bi buduća reciklirana konstrukcija bila stabilnija [1].

Prije samog postupka obnove prometnice postupkom hladne reciklaže treba pravovremeno završiti pripremne radove, kako bi se omogućili radovi reciklaže bez prekida. Zaustavljanjem reciklažnog vlaka se troši dragocjeno vrijeme i uključuju diskontinuiteti u

finalni proizvod. Reciklažni stroj i cijeli proces je prilično skupa tehnologija koja zahtijeva dobru organizaciju i opskrbu gradilišta. Nekoliko je vrsta prethodnih radova koji su često potrebni na projektima reciklaže [1].

- **Uklanjanje zapreka:** poklopci šahtova i slivnika se često susreću kod reciklaže na gradskim i izvangradskim prometnicama. Najbolje ih je ukloniti prije reciklaže kako bi se omogućili radovi reciklaže bez prekida. Konačna kolnička konstrukcija je kontinuirana, po konzistenciji materijala i debljini, i asfaltu koji je obično ugrađen na vrh reciklažnog sloja. Ako se asfaltna konstrukcija izvodi iz dva sloja onda se nosivi sloj može izvoditi bez zapreka, a prije drugog, habajućeg sloja se postavljaju poklopci i ostale zapreke na svoje mjesto te se izvodi završni habajući sloj [1].
- **Ugradnja drenažnih i ostalih elemenata:** Vrlo važan element kod svake prometnice je odvodnja, stoga je vrlo bitno kod rekonstrukcije prometnice da se vodi računa o ovom elementu. Na mnogim prometnicama su izostavljeni ovi elementi pa je takva prometnica podložna bržem propadanju i nesigurna za vožnju. Vrlo je važno osigurati propust na koji je spojena odvodnja prometnice putem slivnika ali češće rigola. Često se postavljaju i rubnjaci kako bi se osigurala bankina, a gotovo uvijek se izvodi nova bankina u svrhu osiguranja trupa prometnice obzirom da se često rekonstruiraju županijske i lokalne prometnice nedovoljne širine za današnje standarde [1].
- **Prethodno profiliranje postojeće ceste prije reciklaže:** profili prometnice koji su u znatnoj mjeri izvan propisanog profila, moraju se ispraviti prije reciklaže. Na taj se način postiže da debljina kompletnog sloja bude podjednaka (poprečno na punu širinu ceste i uzdužno), nakon što je traženi završni nivo površine zasječen grejderom ili ugrađeni pomoću grede za ugradnju [1].
- **Dovoz novog materijala i razastiranje na površinu ceste prije reciklaže:** provodi se radi korekcije lošeg profila površine gdje se razastire do tražene linije i nivoa na površini ceste i nakon toga nabija. Kako bi se omogućila homogena smjesa, izuzetno je važno da se osigura da debljina dovezenog materijala ne premaši dubinu reciklaže. Reciklirani materijali često oskudijevaju u nekim veličinama zrna frakcije naročito sitne frakcije (materijal koji prolazi kroz sito 0,075 mm) kod reciklaže asfalta. Dovozom frakcije koja nedostaje i razastiranjem na postojeću površinu ceste poboljšava se granulometrijska krivulja recikliranog materijala. Korekciju frakcije

koju treba dodati, dobijemo iz prethodnih ispitivanja, neporemećenih uzoraka iz kolnika. Ponekad nema dovoljno materijala za izvedbu zahtijevane debljine sloja, radi loše podloge ili podloge s većim komadima kamena, stoga je potrebno osigurati materijal koji će omogućiti postizanje zahtijevane debljine projektiranog kolnika [1].

- **Prethodno glodanje ispred stroja za reciklažu:** Prethodno glodanje i uklanjanje rezultirajućeg RAP obično se provodi kako bi se omogućilo održavanje postojećeg nivoa površine nakon reciklaže i kako bi se time izbjegli skupi radovi povezani sa prilagodbom elevacija drenaže i drugih objekata. Ovaj se zahtjev normalno susreće samo kod rada u gradskim uvjetima. Kao preduvjet prije svakog prethodnog glodanja, kolnik treba kontrolirati, kako bi se osiguralo da se gornji dio može ukloniti bez smanjenja sveukupne čvrstoće kolničke konstrukcije. Osim toga, materijal donjeg sloja treba kontrolirati kako bi bili sigurni da će se moći postići tražena debljina recikliranog sloja bez uklanjanja materijala slabije kvalitete odozdo. U normalnom slučaju prethodno glodanje je ograničeno na kolnike sa višestrukim slojevima asfalta, često asfaltnih zastora koji su bili ugrađeni niz godina [1].

5.2. Strojevi za hladnu reciklažu

Današnji strojevi za reciklažu razvijali su se tijekom niza godina od raznih modificiranih glodalica i stabilizatora tla, pa do današnjih specijaliziranih strojeva za reciklažu. Danas su to veliki i snažni strojevi koji mogu glodati/reciklirati debele slojeve kolnika u jednom prolazu koji se kreću gusjenicama ili su uglavnom montirani na velike plivajuće gume sa zračnicama.

5.2.1 Reciklažni stroj

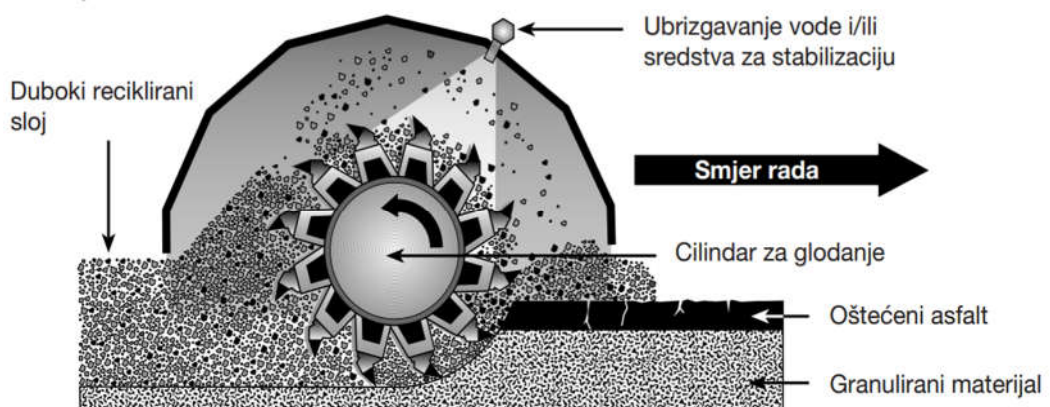
Recikler je multifunkcionalni stroj koji, zahvaljujući velikoj radnoj širini i dubini u kombinaciji s visokom učinkovitošću glodanja i miješanja, nudi maksimalnu fleksibilnost primjene za hladnu reciklažu, kao i za stabilizaciju tla. Najčešće se koriste reciklari na velikim gumama zračnicama ali postoje i reciklari na gusjenicama koji su nešto većih dimenzija i većih kapaciteta (slika 12) [2].



Slika 12: Stroj za recikliranje kolnika [3]

Postupkom hladne reciklaže se postiže homogena smjesa boljih svojstava, precizno izmiješana pomoću procesorski upravljanoj sustava za dodavanje vode i sredstva za stabilizaciju u komoru suspenzijske miješalice. Postiže se također mogućnost izvedbe homogenih slojeva kolničke konstrukcije različitih debljina ovisno o potrebama prometnice odnosno prometnom opterećenju, puno veće kohezijske sile, povezivanje nosivosti postojeće kolničke konstrukcije iskorištavajući iste materijale uz dodatak vezivnih sredstava.

Najvažniji dio stroja za reciklažu je rotor za glodanje i miješanje materijala opremljen velikim brojem specijaliziranih raznih alata za ubrizgavanje upjenjenog bitumena, vode, cementa ili već pripremljenog unaprijed cementnog mlijeka (slika 13).



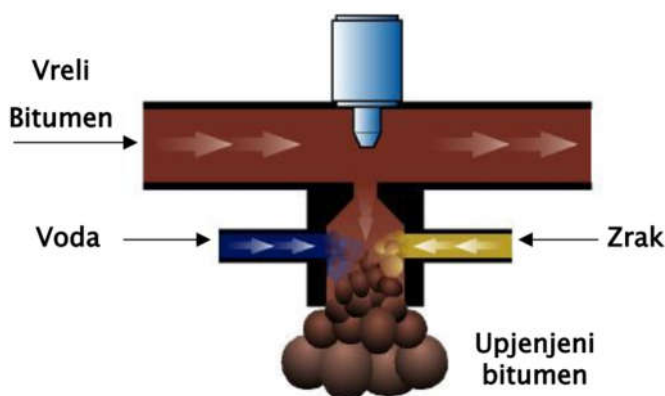
Slika 13: Postupak reciklaže [1]

Stroj se kreće naprijed brzinom glodanja koja iznosi 0 – 85 m/min (5 km/h), ovisno o dubini glodanja i sastavu materijala i rotirajućim cilindrom predobljava kolnik gdje se usporedno s glodanjem kroz savitljivo crijevo dodaju tekuća sredstva za stabilizaciju i to voda ili voda pomiješana sa cementom tvoreći cementno mlijeko i bitumenska emulzija te se pomoću prskalica prska u komoru za miješanje stroja za reciklažu. Udio hidrauličkog i bitumenskog veziva koji se dodaje u rotirajući bubanj odnosno glodanu mješavinu ovisi o prethodno izrađenom radnom sastavu (recepturi) (tablica 1) [5].

Tablica 1: Udio veziva u recikliranoj mješavini [2]

Udio veziva u recikliranoj mješavini (% m/m)	
Hidraulična veziva	Bitumenska veziva
1,5 - 4	1,5 – 3,0

Vrući bitumen (160 - 180 °C) se pretvara u pjenu kada se promiješa sa malom količinom hladne molekulizirane vode (običnom masenih 2 %), u ekspanzionim komorama specijalne namjene. U pjenastom stanju bitumen se može dodati i promiješati sa agregatima pri temperaturama okoline i kod sadržaja vlage na radilištu. Proces pjenjenja sa bitumenom ovisan je od promjene stanja vode, iz tekućeg u plinovito, a to je proces koji je popraćen ekspanzijom od cca. 1500 puta, u odnosu na prvotni volumen tekućine kod normalnog atmosferskog tlaka. Kada čestice vode dođu u doticaj sa vrućim bitumenom, toplinska energija iz bitumena se prenosi na vodu. Čim temperatura vode dosegne točku ključanja, ona mijenja svoje stanje i čineći tako, stvaraju se mjehurići bitumena u obliku tankog filma, ispunjeni vodenom parom (slika 14) [1].



Slika 14: Postupak proizvodnje pjenastog bitumena [1]

Protok vode i tekućih sredstva za stabilizaciju, pojedinačno ili unaprijed izmiješano, se mjeri točno pomoću automatski upravljanoj sustava pumpanja, a rotirajući cilindar

temeljito miješa sa recikliranim materijalom, kako bi se postigao sadržaj smjese potreban za postizanje visokog stupnja zbijanja. Pjenasti bitumen se može ubrizgavati u komoru za miješanje kroz zasebnu posebno izvedenu motku prskalicu [1].

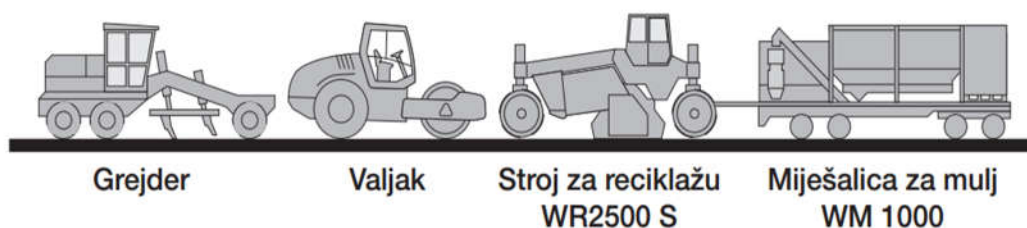
Postupak izvedbe hladne reciklaže zahtijeva i cijelu kompoziciju strojeva. Za izvedbu samog postupka potreban je prethodno naveden veliki stroj najčešće na gumama pogonjen na sva četiri kotača svaki zasebno reguliran s glodalicom i komorom za miješanje materijala opremljenom posebnim prskalicama za dodavanje tekućih sredstava za stabilizaciju. Na njega je priključeno priključno vozilo koje gura ispred sebe i u kojoj se nalaze spremnici za vodu i cement i automatika za upravljanje i doziranje najčešće cementnog mlijeka. Na navedenu kompoziciju je i priključena kamion cisterna s bitumenom koja je također spojena savitljivim crijevima na stroj za glodanje koji ima sustav za miješanje bitumenske emulzije i vodene pare i stvaranje upjenjenog bitumena (slika 15).



Slika 15: Karakteristični vlak za reciklažu [3]

U osnovni karakteristični vlak za reciklažu spadaju također, valjak i grejder koji prate cijeli postupak (slika 16). Stroj za reciklažu nakon obrade površine iza sebe ostavlja grubo isplanirani materijal kojeg je potrebno propisno ugraditi. Nakon prolaska stroja za reciklažu jednim prolaskom valjka se stabilizira materijal samo utoliko da grejder lakše planira podlogu. Planiranje podloge se izvodi u manjim dionicama kako bi se što je moguće brže podloga poravnala i započelo zbijanje radi procesa vezivanja. Uz grejder je potrebno da

kontinuirano budu minimalno dvije osobe koji uz pomoć zidarskog užeta preko geodetskog iskolčenja prate visine buduće podloge za polaganje asfaltnog zastora. Zbijanje se vrši vibro valjcima najčešće težine iznad 15 t, kako bi se u što kraćem roku postigla zahtijevana zbijenost podloge. Stojar na vibrovaljku mora biti vrlo oprezan kao ne bi poremetio strukturu materijala prekomjernim valjanjem jer se za posljedicu javlja mogućnost izbijanja vlage na površinu, a koju treba sačuvati u strukturi materijala kako bi se omogućio pravilan proces vezanja materijala [1].



Slika 16: Karakteristični vlak za reciklažu s pripadajućim strojevima [1]

5.2.2. Valjci za zbijanje

Reciklirana mješavina iza reciklera treba se obraditi upotrebom prikladne opreme za zbijanje i profiliranje. Izvođač radova treba imati na raspolaganju dovoljan broj strojeva da bi se postigli zahtjevi projekta i ovih tehničkih uvjeta [2].

Primarno zbijanje: Obavlja se odmah nakon recikliranja upotrebom čeličnog jednocilindričnog vibro-valjka. Valjak mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve (tablica 2) [2].

Tablica 2: Prikaz mase valjka u odnosu na debljinu recikliranog sloja [2]

Debljina zbijenog sloja (mm)	< 150	150 do 200	200 do 250	> 250
Minimalna masa valjka (t)	12	14	16	20

Primarno zbijanje se mora obaviti u zadanom vremenu. Kod recikliranja emulzijom zbijanje treba obaviti prije nego se emulzija «raspadne». Kod recikliranja hidrauličnim vezivima potrebno je obaviti zbijanje prije isteka vremena početka vezivanja, što je za svaku vrstu veziva posebno definirano. Kod recikliranja upjenjenim bitumenom ovaj period je najduži a vrijeme obrade može biti do pet sati. U procesu zbijanja površinu sloja prema potrebi treba i dodatno vlažiti. Napominje se da zbijanje treba biti obavljeno pri vlažnosti materijala koja je za 0 do 1,5% niža od optimalne vlažnosti koja je određena procedurom po

modificiranom Proktoru na materijalu prije stabiliziranja. Nakon ugradnje se površina sloja zaštiti od isparavanja vode razastiranjem emulzije (do 0,4 kg/m²). Nakon primarnog zbijanja a prije sekundarnog i završnog zbijanja, kada se reciklira in-situ postupkom i reciklerom bez finišerske grede, površina se profilira grejderom ili nekim drugim prikladnim strojem i to neposredno nakon zbijanja, a prije nego se emulzija razbije ili istekne vrijeme vezivanja cementa. Ako se recikliranje izvodi samo u asfaltnim slojevima, koriste se reciklari koji su opremljeni finišerskom gredom koji ujedno i precizno profiliraju površinu kolnika [2].

Reckilažni strojevi su konstruirani tako da im stražnji kotači, a i prednji djelomično obzirom da se prijelazi preklapaju, prelaze preko recikliranog i stabiliziranog sloja, te ga pritom djelomično zbijaju. Kako bi se izbjegla razlika u stupnju zbijenosti, potrebno je odmah provesti primarno zbijanje kao da se postigne što ujednačenija cjelokupna zbijenost.

Sekundarno zbijanje: Nakon što je grejderom izvedeno predprofiliranje, sloj se površinski zbija čeličnim vibro-valjkom mase od 10 do 14 t.[2]



Slika 17: Faza zbijanja hladno recikliranog sloja [7]

Završno zbijanje: Završno zbijanje obavlja se valjkom na gumenim kotačima najmanje mase 18 t i s najmanje 7 kotača. Preporuča se opremiti valjak sa integriranim za mjerenje i bilježenje stupnja zbijenosti sloja postignutog svakim prolazom. Najmanji interval bilježenja je svakih 2 m. Ova mjerenja i bilježenja koriste se kao dokaz postignutog stupnja zbijenosti u okviru izvođačke kontrole kvalitete. Nakon profiliranja grejderom i sekundarnog zbijanja površina se ponovno zalijeva vodom cisternom i valja valjkom na gumenim kotačima. Ovim valjkom potrebno je napraviti dovoljno prolaza da se na površinu polagano izvuče vlaga i sitne čestice koje će zatvoriti površinske šupljine, eventualne tragove grejdera te postići

čvrsto uklještenje zrna na površini. Zatvaranjem površine podloge sprječava se kasnije prodiranje vode u konstrukciju što automatski produžuje vijek trajanja prometnice [2].

5.2.3. Spremnici za vodu i veziva

Opskrba reciklera vodom i vezivima obavlja se sa cisternama najmanjeg volumena 10 m³. Cisterne za bitumenska veziva se priključuju prikladnim priključcima tako da recikler istovremeno može vući cisternu s vezivima i gurati cisternu s vodom. Zabranjeno je korištenje cisterni koje bilo gdje cure. Kod dodavanja bitumenskih veziva, svaka cisterna treba biti opremljena sa [2]:

- termometrom za očitavanje temperature veziva u donjoj polovici volumena da se osigura skladištenje bitumena na prihvatljivo niskoj temperaturi (120 °C) i grijanje na radnu temperaturu nekoliko sati prije upotrebe i
- ventilom za punjenje sa stražnje strane (najmanjeg unutarnjeg promjera 75 mm pri maksimalnom otvoru) na koji se može po potrebi ispustiti sadržaj cisterne.

Kod dodavanja cementa preporučljivo je koristiti strojeve za predmiješanje cementa i vode te se prethodno pripremljena suspenzija kontrolirano dozira prskalicama u recikleru. Miješanje cementnog mulja prikazano je na slici 18 [2].



Slika 18: Mješalica za mulj [1]

Ovaj stroj predstavlja dio reciklažnog vlaka strojeva za hladnu reciklažu, uz primjenu cementa. Stroj sadrži bunker za cement kapaciteta cca 25 m³ i spremnik za vodu cca 11.000 litara. Cement se precizno važe pomoću teretnih ćelija, nakon čega se transportira pomoću transportnog pužnog vijka i miješa sa određenom količinom vode potrebne za postizanje

optimalnog sadržaja vlage reciklažnog materijala. Maksimalna produkcija ovog stroja je 1000 litara/min cementnog mulja, dovoljnog za većinu projekata reciklaže. Mulj se pumpa izravno do donje motke prskalice montirane na komori za glodanje i miješanje stroja za reciklažu, gdje se ubrizgava u samljeveni materijal. U većini slučajeva primjene stroj za mulj se postavlja odmah ispred stroja za reciklažu u vlaku [2].

5.3. Opis postupka 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 [7]:

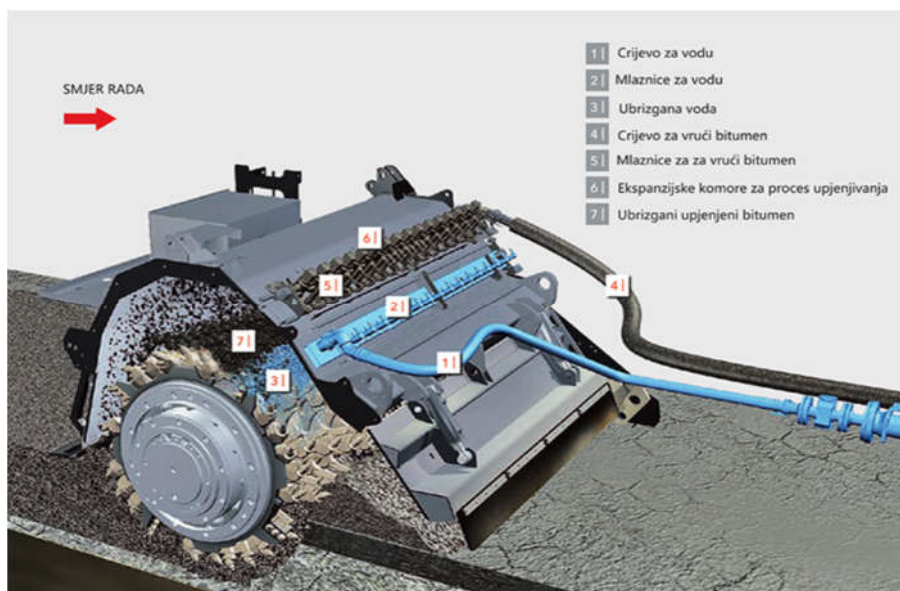
- zahtjev za kvalitetnim materijalom u recikliranom sloju
- zahtjev za odgovarajućom debljinom kolnika koju treba tretirati.

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 [7].

Proces građenja postupkom hladnog recikliranja na licu mjesta općenito čine sljedeće aktivnosti [7]:

- 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

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 (slika 19). 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 [7].



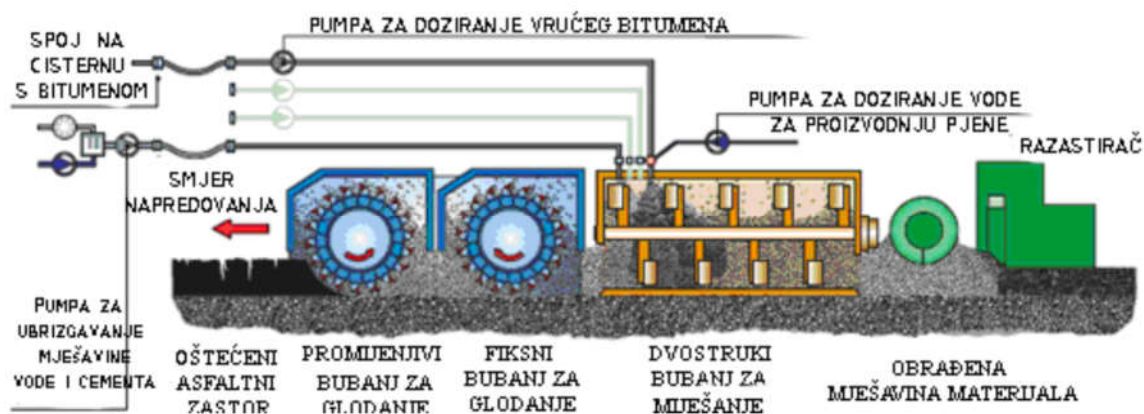
Slika 19: Glodalica u procesu rada [5]

Reciklirana se mješavina polaže standardnim strojevima za ugradnju odmah nakon vlaka za recikliranje s jednom jedinicom [7].

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 „peglom finišera“. Vlak s dvije jedinice nije opremljen jedinicom za drobljenje i prosijavanje. Stroj za glodanje 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 [7].

Vlak za recikliranje s više jedinica 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. 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 recikliranog 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 (slika 20). Smjesa koja je izašla iz bubnja za miješanje odlaže se na za to određeno mjesto ili se izravno transportira u finišer [7].



Slika 20: Stroj za recikliranje s komponentama [7]

Obnova kolničke konstrukcije provedeni se na način da se na postojeću konstrukciju kolnika najčešće dodaje drobljeni kameni materijal frakcije 0/4 mm u prosječnoj debljini od 5 cm. Mogu se dodavati i kameni materijal ostalih frakcija ali uglavnom u kolničkim konstrukcijama nedostaje najčešće sitnije materijala tako da je i frakcija 0/4 mm najčešće korištena. Glodanje postojeće kolničke konstrukcije do dubine određene projektom i prethodnim ispitivanjima zajedno s drobljenim kamenim materijalom frakcije 0/4 mm

izvodilo se reciklerom. Pri izvođenju recikliranja recikler pred sobom gura cisterne s vodom i bitumenom međusobno povezane cijevima za guranje. Glodanom materijalu u bubnju za glodanje ubrizgava se voda i vrući bitumen. Iza reciklera prolazi vibracijski valjak koji vrši predzbijanje reciklirane mješavine koja se grejderom nivelira na projektirane padove. Prethodno opisanim postupkom izveden je nosivi sloj kolničke konstrukcije u debljini predviđenoj projektom stabiliziran hidrauličnim vezivom i upjenjenim bitumenom. Kontrola debljine nosivog sloja kolničke konstrukcije provodi se svakodnevno [7].

5.4. Primjena tehnologije recikliranja s obzirom na geometriju prometnice

Ukoliko se temeljem prethodnih ispitivanja utvrdi opravdanost korištenja tehnologije recikliranja po hladnom postupku osnovne smjernice za primjenu tehnologije (s obzirom na geometriju postojećeg kolnika, dubinu zahvata, vrstu veziva za stabiliziranje i sastav materijala koji se reciklira) dane su u nastavku [2]:

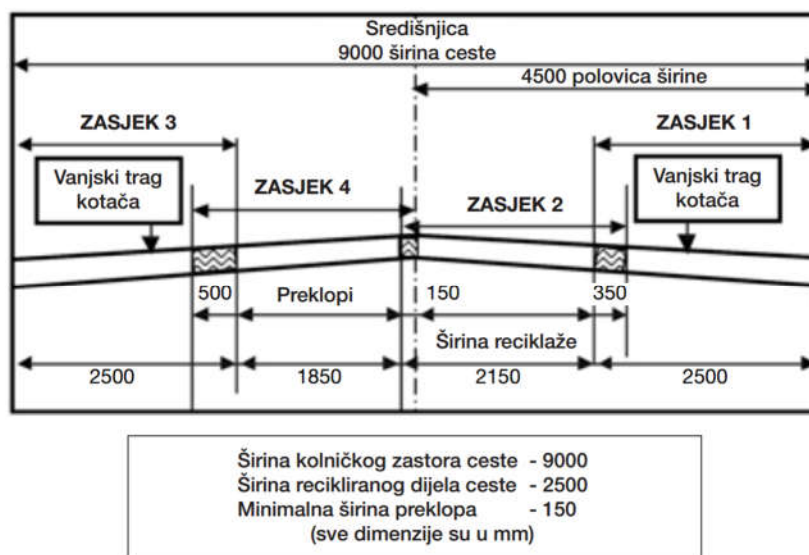
- U slučaju podizanja postojeće nivelete i potrebe za većom korekcijom vertikalnih krivina (5 cm i više), treba razmotriti in plant postupak recikliranja.
- U slučaju zadržavanja visine postojeće nivelete, rubnjaci, rigoli i revizijska okna na postojećem kolniku najčešće ne mijenjaju visinu. Ako se obnovom može zadržati visina nivelete u središnjoj osi obnovljenog kolnika, onda je in situ hladno recikliranje optimalan izbor. Pri tome, treba uzeti u obzir da je debljina zbijenog sloja dobivenog in-situ hladnim recikliranjem u pravilu uvijek veća nego dubina zahvata tijekom recikliranja.
- Vrlo se često mijenja poprečni pad iz dvostrešog u jednostrešni pa je obično i potreba uzdužne korekcije nivelete kolnika. U tom slučaju treba prvenstveno razmotriti in-plant postupak recikliranja po hladnom postupku, naročito ako je sloj od nevezanog kamenog materijala ispod asfaltnih slojeva pretanak a korišteni materijal ima veći udio sitnih čestica (smrzavanje). Kod manjih promjena jednostrešnog poprečnog nagiba kolnika, ako je sloj od nevezanog kamenog materijala odgovarajuće debljine i kvalitete, može se razmotriti i primjena in-situ recikliranja po hladnom postupku. U slučaju promjene oblika poprečnog presjeka kolnika iz dvostrešnog u jednostrešni nagib, treba osigurati da materijal koji se gloda i premješta s jedne strane presjeka kolnika

na drugu bude homogenog granulometrijskog sastava i približno sličnog omjera asfalta i kamenog materijala. Podloga koja ostaje ispod novonastalog stabiliziranog sloja treba biti homogene nosivosti, uz napomenu da je najmanja nosivost podloge projektirana nosivost kolnika, pri čemu treba svakako izbjegavati da ispod stabiliziranog sloja ostane glodani nestabilizirani asfaltni materijal.

- Ako su u postojećem kolniku asfaltni slojevi većih debljina (cca 20 cm i više), moguće je reciklirati samo dio postojećeg asfalta, dok dio starog asfalta ostaje ispod novo nastalog recikliranog sloja. U ovom slučaju preporučuje se in plant hladno recikliranje gornjeg dijela asfalta tako da se isti ukloni glodanjem, stabilizira prikladnim vezivom na posebnom postrojenju te se ponovno dopremi na trasu i ugradi u reciklirani sloj. Također, ovdje je moguće primijeniti i in situ postupak koristeći prikladan recikler na gusjenicama.
- U slučaju proširenja kolnika treba predvidjeti tako da se omogući efikasan rad mehanizacije. Treba voditi računa da se spoj starog i novog dijela konstrukcije ne nalazi u tragu kotača vozila. Kod većih proširenja postojećeg kolnika treba voditi računa o ukupno raspoloživom materijalu, te u skladu sa svim navedenim odlučiti o primjeni in situ ili in plant postupka. Treba pripaziti da se ne reciklira bankina sa bitumenskim vezivima tamo gdje u susjednoj traci postoji ili ostaje nosivi sloj od nevezanog kamenog materijala jer to uzrokuje «efekt bazena» odnosno probleme odvodnje.

Također jedan od prvih zahtjeva kod planiranja projekta je napraviti plan obrade prometnice obzirom da je korisna širina stroja uglavnom 2,5 m, a prometnice su uglavnom širine od 5 – 12 m, stoga je potrebno određivanje plana zasjeka, sa detaljnim prikazom svakog preklopa. Preklop se mora oduzeti od širine ceste, kako bi se odredila efektivna širina stabilizacije za svaki zasjek, koji opet utječe na količinu vode i sredstva za stabilizaciju koje treba dodati. Širina preklopa se općenito uzima 15 cm ali u praksi je ona često i veća kako bi se kvalitetno obradili i dublji slojevi tako da onda često iznosi i više od 30 cm. Ako postoji sumnja u jednoličnost nanošenja vode i sredstva za stabilizaciju poprečno na širinu preklopa, potrebno je izraditi prošireni plan zasjeka koji će pokazati preklop u odnosu na položaj pripadajućih prskalica. Izvođenje propisno preklapljenih spojnica važno je za postizanje homogenosti recikliranog sloja (slika 21). Spojnice predstavljaju razdjelnice u kolničkoj

konstrukciji, te im se mora posvetiti posebna pozornost. Ako se primijete problemi na razdjelnicama, oni su općenito uzrokovani nepravilnim radom stroja za reciklažu, iz čega rezultiraju trake koje nisu reciklirane između susjednih zasjeka ili dvostruko doziranje zbog eventualnog povećanja širine preklopa. Za izbjegavanje ovakvih situacija potrebno je da strojar koji upravlja strojem za reciklažu ima jasne smjernice označene bojom na površini kolnika, ili označavanje užetom koje se može slijediti [2].



Slika 21: Plan zasjeka sa detaljnim prikazom preklopa [1]

5.5. Ugradnja materijala za reciklažu

Obrađeni materijal sadrži vezivna sredstva koja u određenom vremenu vežu i stvrdnjavaju materijal te je potrebno provesti zbijanje materijala za dobivanje veće prostorne mase kako bi materijal odnosno sloj mogao preuzeti prometno opterećenje. Prethodno grejder planira materijal na projektom predviđene visine odnosno buduće podloge za polaganje asfaltnog zastora. Strojevi za reciklažu na gusjenicama imaju na sebi montiranu i gredu koja nakon obrade materijala odmah planira i zbija materijal pa u tom slučaju grejder nije ni potreban ali kod stroja za reciklažu na gumama, grejder je svakako potreban, a u Hrvatskoj se koristi stroj na gumama. Prije svega, vrlo je važno dionicu detaljno geodetski iskolčiti prometnicu kako bi postojala bolja kontrola na visinama. Razmak profila prometnice je obično na 20 – 30 m ako između nema promjena u nagibu i sl. dok je kod obrade prometnice postupkom hladne reciklaže taj razmak sveden na otprilike 5 m. Kao što je prethodno navedeno u obrađenom materijalu zbog dodatka brže počinje proces vezivanja pa je potrebna kvalitetna priprema s potrebnim strojevima i ljudstvom koji će pratiti grejder.

Zbijanje recikliranog materijala je jedan od najvažnijih postupaka za postizanje zahtijevane zbijenosti radi što boljih budućih svojstava obnovljenog kolnika. Nedovoljno zbijeni materijal će se zbijati pod djelovanjem prometnog opterećenja, što će rezultirati prijevremenim deformacijama kolnika. Nedovoljnim zbijanjem se povećava i poroznost materijala te se time pospešuje oštećenje podloge od djelovanja vlage, dolazi do starenja bitumenskih sredstava za stabilizaciju i do prijevremene karbonizacije cementnih sredstava, te je neizbježno prijevremeno otkazivanje kolnika. Zbog toga je važno da se zbijanje promatra kao jedan od najvažnijih aspekata reciklaže [1].

Postupak ispitivanja stupnja zbijenosti, kojim se određuje teoretska laboratorijska maksimalna zbijenost i koristi se u cijelom svijetu je ispitivanje stupnja zbijenosti prema standardnom Proctorovom postupku. Nakon uzorkovanja materijala na gradilištu, u laboratoriju se pripremi nekoliko uzoraka različite vlažnosti (po 2% razlike) i zbijaju se u standardizirane kalupe sa zadanom energijom. Mjerenjem mase materijala prije i nakon sušenja mogu se odrediti gustoće vlažnog i suhog materijala. Reprezentativni uzorak je onaj koji ima najveću prostornu masu uz optimalnu vlagu. Rezultat ispitivanja uspoređujemo s rezultatom dobivenim ispitivanjem zbijenosti na gradilištu. Zbijenost materijala odnosno podloge na gradilištu se ispituje volumetrom (slika 21) [1].



Slika 22: Ispitivanje stupnja zbijenosti volumetrom [9]

Suha zapreminska težina tla je veličina koja se određuje mjerenjem suhe mase materijala u jedinici volumena. Ispitivanje se obavlja iskopom materijala iz sloja, mjerenjem iskopanog volumena te laboratorijskim određivanjem mase i sadržaja vlažnosti ispitivanog

sloja. Dobivenim izmjerenim vrijednostima putem numeričkog načina dolazimo do konačne vrijednosti zapreminske težine tla [14].

Volumometar se postavlja na centrirani dio metalnog obruča. Podizanjem ventila na vrhu volumometra pušta se zrak, te se pritiskom na vodu preko klipa u cilindru gumeni balon pritišće na ispitni sloj. Pritisak se nastavlja sve dok se ne istisne sav zrak između balona i ispitnog sloja, što se očituje pojavljivanjem vode između dvije granične linije na obilježenom djelu ventila (mjehuru). Ventil se automatski zatvara te se očitava početno očitavanje. Nakon očitavanja balon se povuče unutar cilindra, odloži na podložnu ploču i pristupa se iskopu materijala unutar obruča. Materijal se kopa do dubine jednake unutarnjem promjeru obruča pomnoženim sa 1,5. Sav iskopani materijal pažljivo skuplja i zatvara u plastičnu vrećicu koja čuva vlažnost materijala do obrade u laboratoriju. Nakon iskopa sa obruča se pomete rastreseni materijal u iskopanu rupu i utisne uz stjenke iskopa. Na obruč se vraća volumometar pomoću kojeg se utiskuje balon napunjen vodom u iskopanu rupu u sloju na način kako je to opisano za početno očitavanje (I), te se obavlja završno očitavanje (II). Očitane vrijednosti (I i II) pojedinačno se u centimetrima upisuju u obrazac [11].

Da se dobije rezultat suhe zapreminske težine ispitnog sloja potrebno je masu uzorka podijeliti sa izmjerenim volumenom korigiranim obzirom na udio vlage u materijalu.

Rezultat ispitivanja prikazuje se [11]:

- brojčano izračunavanje suhe zapreminske težine prema izrazu preuzetom iz [14]:

Formula 1: Izračunavanje suhe zapreminske težine

$$\rho'_d = Mv/V(1+W_0/100) \text{ gdje je [11]:}$$

ρ'_d = suha zapreminska težina tla u g/cm^3 ,

Mv = masa vlažnog uzorka u g

V = volumen uzorka u cm^3

W_0 = vlažnost uzorka u mas. %.

Nakon izmjeren vlage u laboratoriju i obrade rezultata dobijemo podatak o zbijenosti koji se uspoređuje s prethodno ispitanim laboratorijskim uzorkom i koji mora imati min 98% prostorne mase laboratorijskog uzorka kako bi zadovoljio zahtjev [11].

5.6. Logistika

Rekonstrukcija kolnika postupkom hladne reciklaže spada u brzi postupak građenja i postiže se visok stupanj učinkovitosti i brzine rada ukoliko je moguće neprekidno opskrbljivati stroj za reciklažu sa sredstvima za stabilizaciju, vodom i (gdje je to potrebno) dovezenima agregatom. To predstavlja poseban problem na gradilištima sa otežanom opskrbom materijalima i/ili ograničenim pristupom gradilištu. Svakodnevne potrebe za potrebnim materijalima treba unaprijed izračunati i planirati i organizirati dopremu, kako bi se osigurala kontinuirana opskrba tijekom procesa reciklaže. Procjena potreba za dovezenim materijalom, sredstvima za stabilizaciju i vodom zahtjeva proračune zasnovane na svakodnevnim proizvodnim količinama [1].

Dovezeni materijal. Pretpostavimo da podjednaki sloj prirodnog šljunka, debljine 50 mm, treba razastrti na površinu postojećeg kolnika prije reciklaže. Svakodnevne potrebe za dovezenim materijalom su slijedeće (tablica 3): [1]

Tablica 3: Prikaz količina dovezenog materijala [1]

Poz. br.	Opis	Formula	Količina	Mjerna jedinica
1	Svakodnevna proizvodna količina		5000	m ²
2	Debljina recikliranog sloja		250	mm
3	Zbijenost recikliranog materijala (kod propisanog zbijanja)		2100	kg/m ³
4	Količina recikliranog materijala u tonama	$\text{poz. 1} \times \frac{\text{poz. 2}}{1000} \times \frac{\text{poz. 3}}{1000}$	2625	t
5	Potreba za cementom Propisano dodavanje cementa		1.5	%
6	Potrebna količina cementa u tonama	$\frac{\text{poz. 4} \times \text{poz. 5}}{100}$	39.4	t
7	Potreba za bitumenom Propisano dodavanje pjenastog bitumena		3	%
8	Potrebna količina bitumena u tonama	$\frac{\text{poz. 4} \times \text{poz. 7}}{100}$	78.8	t

Sredstva za stabilizaciju. Pretpostavimo da se tehničkim zahtjevima projekta traži dodavanje 1,5 % cementa i 3 % pjenastog bitumena (udio mase). Dnevna potreba za sredstvima za stabilizaciju je slijedeća (tablica 4): [1]

Tablica 4: Prikaz količina sredstava za stabilizaciju [1]

Poz. br.	Opis	Formula	Količina	Mjerna jedinica
1	Svakodnevna proizvodna količina		5000	m ²
2	Debljina recikliranog sloja		250	mm
3	Zbijenost recikliranog materijala (kod propisanog zbijanja)		2100	kg/m ³
4	Količina recikliranog materijala u tonama	$\text{poz. 1} \times \frac{\text{poz. 2}}{1000} \times \frac{\text{poz. 3}}{1000}$	2625	t
5	Potreba za cementom Propisano dodavanje cementa		1.5	%
6	Potrebna količina cementa u tonama	$\frac{\text{poz. 4} \times \text{poz. 5}}{100}$	39.4	t
7	Potreba za bitumenom Propisano dodavanje pjenastog bitumena		3	%
8	Potrebna količina bitumena u tonama	$\frac{\text{poz. 4} \times \text{poz. 7}}{100}$	78.8	t

Dodavanje vode. Pretpostavimo da je sadržaj vlage materijala na radilištu u prosjeku 4 %, na dijelu postojećeg kolnika koji se treba reciklirati i da je ciljni sadržaj vlage mješavine 80 % od optimalnog sadržaja vlage. Svakodnevna potreba za vodom koju treba dodati kroz zasebni sustav za vodu/sustav za prskanje je (tablica 5): [1]

Tablica 5: Prikaz količina potrebne vode [1]

Poz. br.	Opis	Formula	Količina	Mjerna jedinica
1	Svakodnevna proizvodna količina		5000	m ²
2	Debljina recikliranog sloja		250	mm
3	Zbijenost recikliranog materijala (kod propisanog zbijanja)		2100	kg/m ³
4	Količina recikliranog materijala u tonama	$\text{poz. 1} \times \frac{\text{poz. 2}}{1000} \times \frac{\text{poz. 3}}{1000}$	2625	t
5	Sadržaj vlage na radilištu		4	%
6	80% od OMC		5.1	%
7	Potreba za vodom Kako bi se postiglo 80 % od OMC		1.1	%
8	Ukupna potreba za vodom	$\frac{\text{poz. 4} \times \text{poz. 7} \times 1000}{100}$	28,875	litra

5.7. Zahtjevi koji se postavljaju za finalni proizvod

Debljina sloja se podrazumijeva da je najbitniji zahtjev po pitanju finalnog proizvoda. Osim njega bitni su i detalji o završnom nivou i tolerancijama profila, postignutoj maksimalnoj zbijenosti, analiza površinske teksture, ravnost obrađene podloge te je potrebno pozabaviti sa viškom materijala. Ravnost podloge je također izuzetno važan za zahtjev jer ravnost hladno reciklirane mješavine uvelike određuje ravnost kasnije položenog asfaltnog zastora. Prethodno navedena dobra priprema samog postupka je bitna jer se niveliranjem profila i zbijanjem podloge odmah formiraju poprečni i uzdužni padovi bitni za odvodnju oborinskih voda s buduće prometnice [1].

6. REKONSTRUKCIJA PROMETNICE POSTUPKOM HLADNE RECIKLAŽE NA PRIMJERU DRŽAVNE CESTE D303, Rovinj – Rovinjsko selo

Predmetna dionica je prva faza rekonstrukcije prometnice od grada Rovinja do naselja Rovinjsko selo. Državna cesta je duljine 13,5 km i spaja već spomenuta mjesta. Rekonstrukcija prometnice će se odvijati po fazama od kojih je ovo prva faza i od strane ministarstva unutarnjih poslova je okarakterizirana kao opasna prometnica sa mjestimičnim tzv. „crnim točkama“.

6.1. Postojeće stanje

Postojeća cesta definirana je prosječnom širinom kolnika od 7,10 s povremenim suženjima i proširenjima ovisno gdje cesta prolazi. Širine bankina-bermi iznose 0,50 – 1,20m. Horizontalni element trase su povoljni. Na cijeloj dionici oborinska odvodnja jer izvedena na način da se voda prikuplja pomoću betonskog rigola te ispusta u okolni teren pomoću betonskih kanalica ili se voda prikuplja vodolovnim oknima i preko propusta ispušta u okolni teren [10].

Vizualnim pregledom trase ustanovljeno je da je postojeća asfaltna kolnička konstrukcija zaglađena duž cijelog područja zahvata sa poprečnim i uzdužnim pukotinama te oštećenjima uz rub kolnika. Lokalno je uočljivo izdizanje bitumena na površinu asfaltnog kolnika i mjestimične sanacije asfaltnim zakrpama [10].

Značajnija oštećenja na kolniku nisu toliko izražena što znači da su nosivi slojevi ispod asfaltnog zastor u dobrom stanju. Iz tog razloga kao oblik rekonstrukcije ceste izabrala se hladna reciklaža. Razlog rekonstrukcije ove dionice je sanacija opasnih mjesta tzv. „Crnih točaka“ [10].

6.2. Planirano stanje

Predmetnim zahvatom predviđa se rekonstrukcija državne ceste D303 sa sustavom odvodnje oborinskih voda, javnom rasvjetom te prelaganjem i zaštitom elektroenergetskom i telekomunikacijskom kanalizacijom [10].

Predmetna prometnice predviđena je kao dvosmjerna cesta ukupne širine 7,1 m ukupne duljine 2,00 km s pristupnim prometnicama na području raskrižja. Na dvije lokacije predviđena rekonstrukcija raskrižja [10]:

Rekonstrukcijom raskrižja i dodavanjem traka za lijevo skretanje povećava se prometana sigurnost svih sudionika u prometu, a da se pritom ne narušava protočnost raskrižja. U zoni raskrižja obnoviti će se autobusna stajališta kako i nogostup za siguran dolazaka na samo stajalište [10].

Oborinska voda izvan naselja zone raskrižja ispuštat će se preko bankine. U području usjeka, vode s okolnog sliva prikupljat će se rigolima te preko betonskih kanalisa ispuštat u okolni teren i sakupljati vodolovnim oknima te pomoću cijevnih propusta ispuštati u okolni teren. Oborinske vode unutar zone raskrižja sakupljati će se slivnicima te putem oborinskih kolektora voditi do upojnih građevina [10].

Za predmetnu dionicu izrađen je izvještaj o provedenim prethodnim istražnim ispitivanjima u svrhu izrade recepture buduće kolničke konstrukcije [10].

U sklopu terenskih istražnih radova izdan je okvirni sastav hladno reciklirane mješavine sa upjenjenim bitumenom i cementom. Okvirni sastav je polazište za projektantsko rješenje, a izvođač je dužan prije izvođenja izvesti dodatne istražne radove i definirati recepturu za reciklažnu mješavinu vezano za tehnologiju kojom raspolaže i uzorke na trasi koji se dodatno uzimaju. Predviđeno je izvođenje hladne reciklaže „in situ“ te je takvo rješenje uzeto pri razradi čitavog projekta [10].

Projektom je predviđeno recikliranje postojeće kolničke konstrukcije državne ceste osim na sljedećim mjestima: na početku trase gdje je potrebno visinsko uklapanje sa postojećim kolnikom. Na križanjima će se kolnik državne ceste reciklirati, dok će se na poprečnim privozima i priključcima izvesti klasična kolnička konstrukcija [10].

Usvojena nova reciklirana kolnička konstrukcija sastoji se od sljedećih slojeva:

- **habajući asfaltni sloj**
- **BBTM 8B 45/80-65, AG2 M2-E** **2.5 cm**
- **nosivi asfaltni sloj**
- **AC 22 base 50/70, AG6 M2-E** **6.0 cm**
- **reciklirani sloj** **15 cm**
- **postojeći sloj tampon min.** **20 cm**

sveukupno:	43.5 cm
-------------------	----------------

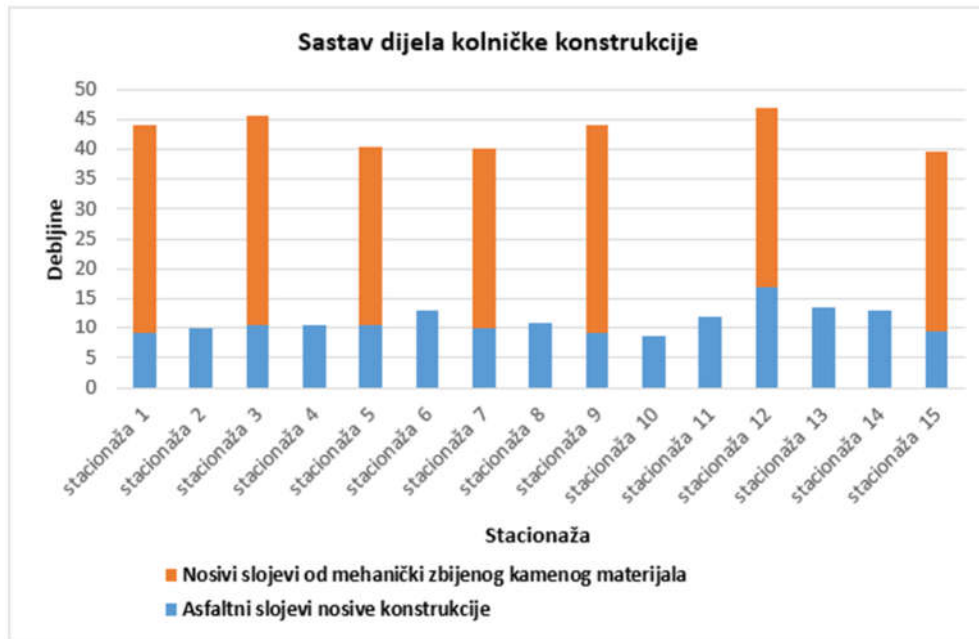
Kolnička konstrukcija projektirana je za razdoblje od 20 godina. To znači da nakon isteka projektnog razdoblja treba obaviti prvo pojačanje kolnika. Na kraju projektnog razdoblja presvlačenjem (pojačanjem) kolnika vijek trajanja kolnika se produžuje [10].

6.3. Prethodna ispitivanja

Na predmetnoj dionici državne ceste D 303 dionica od naselja Kurili do naselja Okreti projektom obnove predviđeno je recikliranje kolničke konstrukcije postupkom hladne reciklaže. Opisano je predviđeno na dijelu ceste od km 0.0+43,00 do km 1.9+68,38. Analizom dimenzija slojeva u kolničkoj konstrukciji ustanovljeno je da je predmetna dionica homogenog rasporeda slojeva u kolničkoj konstrukciji (tablica 6) kao i da je kolnička konstrukcija približno jednakih debljina (slika 23): [11]

Tablica 6: Prikaz vrsta i dimenzija slojeva u dijelu kolničke konstrukcije [11]

TABLICA I GRAFIČKI PRIKAZ VRSTA I DIMENZIJA SLOJEVA U DIJELU KOLNIČKE KONSTRUKCIJE	Debljine [cm]	Vrste slojeva na stacionažama	Asfaltni slojevi nosive konstrukcije	Nosivi slojevi od mehanički zbijenog kamenog materijala
		stacionaža 1	9	35
stacionaža 2	10			
stacionaža 3	10,5	35		
stacionaža 4	10,5			
stacionaža 5	10,5	30		
stacionaža 6	13			
stacionaža 7	10	30		
stacionaža 8	11			
stacionaža 9	9	35		
stacionaža 10	8,5			
stacionaža 11	12			
stacionaža 12	17	30		
stacionaža 13	13,5			
stacionaža 14	13			
stacionaža 15	9,5	30		



Slika 23: Grafički prikaz vrsta i dimenzija slojeva u dijelu kolničke konstrukcije [11]

- Kolnička konstrukcija se sastoji od [11]:
 - dva sloja asfalta
 - sloja nevezanog kamenog materijala veličine zrna 0-31,5 mm
 - sloja nevezanog kamenog materijala veličine zrna 0-31,5 mm uz primjese tla

6.4. Izrada radnog sastava hladno reciklirane mješavine

U svrhu izrade projekta sastava hladno recikliranog materijala stabiliziranog cementom i upjenjenim bitumenom uzeti su uzorci glodane kolničke konstrukcije na određenim stacionažama [11].

Postupak uzimanja uzoraka glodane kolničke konstrukcije je sljedeći:

1. Na predmetnoj poziciji glodalicom zahvaćen je sloj asfalta dužine 4 metra, širine 1 metar i debljine 10,0 centimetra [11].
2. Nakon toga na istoj poziciji glodalicom je zahvaćen sloj nevezanog kamenog materijala veličine zrna 0-31,5 mm, dužine 4 metra, širine 1 metar i debljine 7 cm.
3. Materijal dobiven glodanjem je homogeniziran i iz njega je reprezentativno uzet uzorak glodane kolničke konstrukcije ukupne mase od oko 200 kg [11].

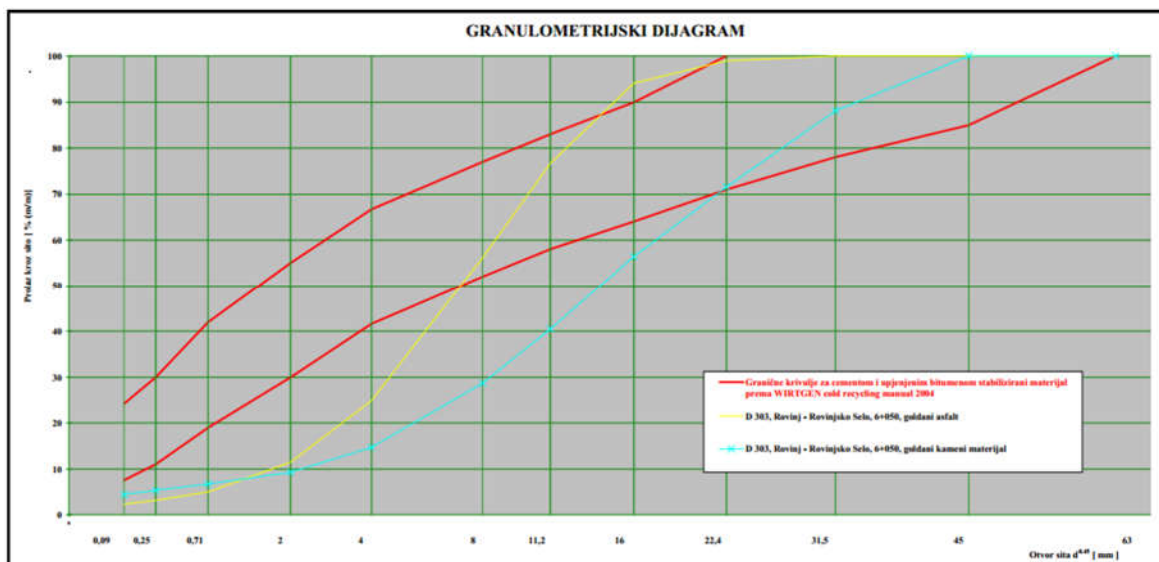
5. Uzorci glodane kolničke konstrukcije su iza toga transportirani u laboratorij na daljnju obradu [11].

6. Uz prethodno navedeni materijal dobiven glodanjem kolničke konstrukcije, u isti laboratorij poslani su uzorci cementa Holcim Expert (oznake CEM 006/2011) i bitumena Ravena B 70/100 (oznake BIT 006/2011) [11].

Predmetni uzorci služe za izradu projekta sastava (recepture) cementom i upjenjenim bitumenom stabiliziranog materijala namijenjenog za izradu nosivih slojeva kolničke konstrukcije na dionici Državne ceste D 303, dionica Okreti - Kurili. Osim navedenog, ispitan je granulometrijski sastav uzoraka glodanog materijala iz kolničke konstrukcije mokrim sijanjem [11].

Tablica 7: Granulometrijski sastav uzoraka glodanog materijala [11]

Broj uzoraka u analizi			Granulometrija glodanog materijala											
Oznaka uzorka	Datum uzorkovanja	Stacionaža	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63
Uzorak br. 1	dd.mm.gg.	stacionaža 1	2,3	3,1	5	11,5	24,9	56,2	76,6	94,1	99,0	100,0	100,0	100,0
Uzorak br. 2	dd.mm.gg.	stacionaža 2	4,4	5,3	6,7	9,3	14,7	28,6	40,5	56,5	71,6	88,1	100,0	100,0



Slika 24: Grafički prikaz granulometrijskog sastava uzoraka glodanog materijala [11]

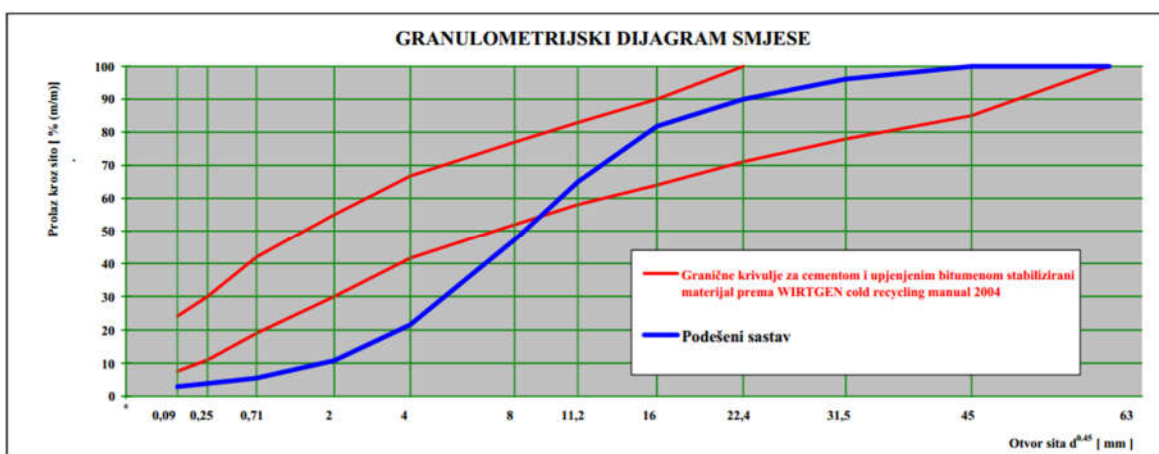
Rezultati pokazuju da glodani materijal **ne zadovoljava** uvjete (slika 24) za granulometrijski sastav glodane kolničke konstrukcije prema preporuci Wirtgen Cold Recycling Manual 2004 [11].

Na osnovu dobivenih rezultata glodani kameni materijal i glodani asfalt iz kolničke konstrukcije homogeno će se pomiješati u slijedećem odnosu (tablica 8): [11]

- 1) glodani kameni materijal 32,4 [% (m/m)]
- 2) glodani asfalt 67,6 [% (m/m)].

Tablica 8: Podešeni granulometrijski sastav uzoraka glodanog materijala [11]

Oznaka frakcije	Prosječni uzorak glodanog asfalta	Prosječni uzorak glodanog tampona	0/4	Podešeni sastav	
Nalazište	Državna cesta D303 stacionaža 1	Državna cesta D303 stacionaža 2	Špica		
Otvori sifa (mm)	0,09	2,3	4,4	12,6	3,0
	0,25	3,1	5,3	20,1	3,8
	0,71	5,0	6,7	36,1	5,5
	2,0	11,5	9,3	67,4	10,8
	4,0	24,9	14,7	96,2	21,6
	8,0	56,2	28,6	100,0	47,2
	11,2	76,6	40,5	100,0	64,9
	16,0	94,1	56,5	100,0	81,9
	22,4	99,0	76,1	100,0	90,1
	31,5	100,0	88,1	100,0	96,1
	45,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	63,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Odnos među frakcijama [% (m/m)]		67,6	32,4	0,0	100,0



Slika 25: Grafički prikaz podešenog granulometrijskog sastava uzoraka glodanog materijala [11]

Na osnovu dobivenih rezultata prethodnim ispitivanjem izvršena je izrada radnog sastava (recepture) hladno reciklirane mješavine koja će se koristiti na predmetnoj dionici (slika 25) [11].

Cement nije ispitivan, a bitumenu su ispitane reometrijske karakteristike te su mu određeni optimalni uvjeti pjenjenja (tablica 9). Udio bitumena u glodanom materijalu je 4,3 [% (m/m)] [11].

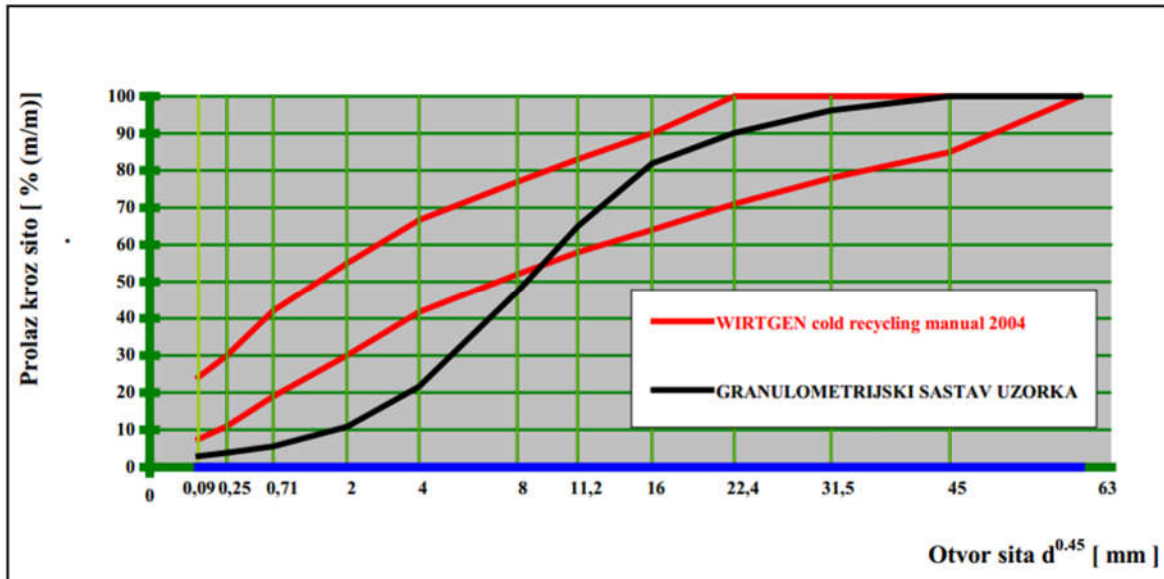
Tablica 9: Reometrijske karakteristike bitumena i optimalni uvjeti punjenja [11]

Reometrijske karakteristike	Točka razmekšanja	[°C]	46,2
	Penetracija	[1/10 mm]	77,3
	Indeks penetracije		-0,6
Optimalni uvjeti i karakteristike pjenjenja bitumena	temperatura	[°C]	160
	udio vode	[% (m/m)]	2,0
	ekspanzija	puta	12,0
	vrijeme poluraspada (vrijeme za koje se volumen smanji za pola)	[s]	15,2

Izrada projekta sastava (recepture) upjenjenim bitumenom i cementom stabiliziranog glodanog materijala iz kolničke konstrukcije ima sljedeći tok:

Pronalazak optimalne granulometrije smjese glodanog materijala iz kolničke konstrukcije i dodanog kamenog materijala. U tom procesu pokušalo se naći takvu granulometriju smjese koja zadovoljava granične krivulje definirane u Wirtgen Cold Recycling Manual 2004. (slika 26 i tablica 10.) Ispitivanjem je ustanovljeno da granulometrijski sastav glodanog materijala iz kolničke konstrukcije odstupa od preporučenih granulometrijskih krivulja. Mješavina glodanog materijala iz kolničke konstrukcije ima sljedeći odnose: [12]

- 1) Glodani asfalt iz kolničke konstrukcije 67,6 [% (m/m)]
- 2) Glodani kameni materijal iz kolničke konstrukcije 32,4 [% (m/m)]



Slika 26: Granulometrija mješavine glodanog materijala iz kolničke konstrukcije i uvjeti iz Wirtghen Cold Recycling Manual 2004. [11]

Postupak određivanja optimalnog udjela vode u glodanom materijalu vrši se ispitivanjem maksimalne gustoće suhog Proktorovog uzorka. U toj fazi postupka izrade recepture nađen je optimalni udio vlage u mješavini glodanog materijala iz kolničke konstrukcije koji iznosi 4,4 [% (m/m)] [12].

Kod izbora vrste i udjela hidrauličkog stabilizirajućeg sredstva na osnovu indeksa plastičnosti ($IP < 10$) odabran je cement kao hidrauličko stabilizirajuće sredstvo. Na osnovu iskustva projektanta usvojen je udio cementa od 1,0 [% (m/m)] [12].

Kod pronalaska optimalnog udjela bitumena u stabiliziranom materijalu u fazi postupka izrade recepture izrađena je serija cementom i upjenjenim bitumenom stabiliziranog glodanog materijala u rasponu udjela upjenjenog bitumena od 1,0 do 3,0 [% (m/m)]. Iz tako dobivenog materijala izrađeni su standardni Marshall uzorci primjenom 75 udaraca sa svake strane i to pri temperaturi od 25°C. Tako priređenom nizu uzoraka mjerena je vlačna čvrstoća indirektnim načinom i to na vodom zasićenim i suhim uzorcima [12].

U ovoj fazi postupka utvrđeno je da optimalni udio upjenjenog bitumena u mješavini uzorka glodanog materijala iz kolničke konstrukcije iznosi 1,5 [% (m/m)] [12].

Tablica 10: Radni sastav prema uvjetima Wirtghen Cold Recycling Manual 2004. [12]

RECEPTURA					
Smjesa granuliranih materijala	Sastav	Udio glodane kolničke konstrukcije [% (m/m)]	67,6	Uvjeti iz Wirtgen Cold Recycling Manual 2004.	
		Udio dodanog kamenog materijala [% (m/m)]	32,4		
	Granulometrija	Otvor sita [mm]	prolaz kroz sito [% (m/m)]		
		0,09	3,0		
		0,25	3,8		
		0,71	5,5		
		2	10,8		
		4	21,6		
		8	47,2		
		11,2	64,9		
		16	81,9		
		22,4	90,1		
		31,5	96,1		
45	100,0				
63	100,0				
Smjesa granuliranih materijala i vode	Optimalni udio vode	[% (m/m)]	4,4		
	Maksimalna gustoća po Proctoru	[t/m ³]	2,126		
Smjesa granuliranih materijala, vode, cementa i bitumena	Udio cementa	[% (m/m)]	1,0		
	Optimalni udio upjenjenog bitumena	[% (m/m)]	1,5		
	Indirektna vlačna čvrstoća mokrog uzorka	[Mpa]	0,304	0,250	
	Indirektna vlačna čvrstoća suhog uzorka	[Mpa]	0,297	0,200	

Granulometrijske krivulje glodanog kamenog materijala odstupaju od preporučenih granulometrijskih krivulja, ali indirektna suhe i mokre vlačne čvrstoće mješavine zadovoljavaju propisane uvjete. Prema projektu obnove objekta Državne ceste D 303, potrebno je izvesti nosivi sloj od bitumenom i cementom stabilizirane smjese materijala

glodane postojeće kolničke konstrukcije postupkom hladne reciklaže, a prema sljedećoj proceduri [12]:

1. Reciklirati prikladnim reciklerom postojeću kolničku konstrukciju do dubine od 17 cm, a glodani materijal se miješa u miješalici koja se nalazi na istom vozilu.
2. U istu miješalicu potrebno je umiješati i sljedeće komponente:
 - 1,0 [% (m/m)] cementa u suhom ili u vodi suspendiranom stanju
 - 1,5 [% (m/m)] upjenjenog bitumena c. ukupno 4,4 [% (m/m)] vode računano na ukupni granulirani materijal.
3. Materijal koji izlazi iz miješalice potrebno je prikladnom mehanizacijom homogeno razastrti u nosivi sloj nove kolničke konstrukcije debljine minimalno 15 cm po projektu sanacije predmetne prometnice
4. Razastrti sloj potrebno je prikladnim režimom valjanja dovesti do stanja traženog stupnja zbijenosti i ravnosti površine.

6.5. Izvještaj o ispitivanju

Na osnovu predloženog radnog sastava i izvršene rekonstrukcije prometnice postupkom hladne reciklaže pristupilo se kontrolnom ispitivanju u svrhu dokazivanja kvalitete izvedenih radova na predmetnoj dionici.

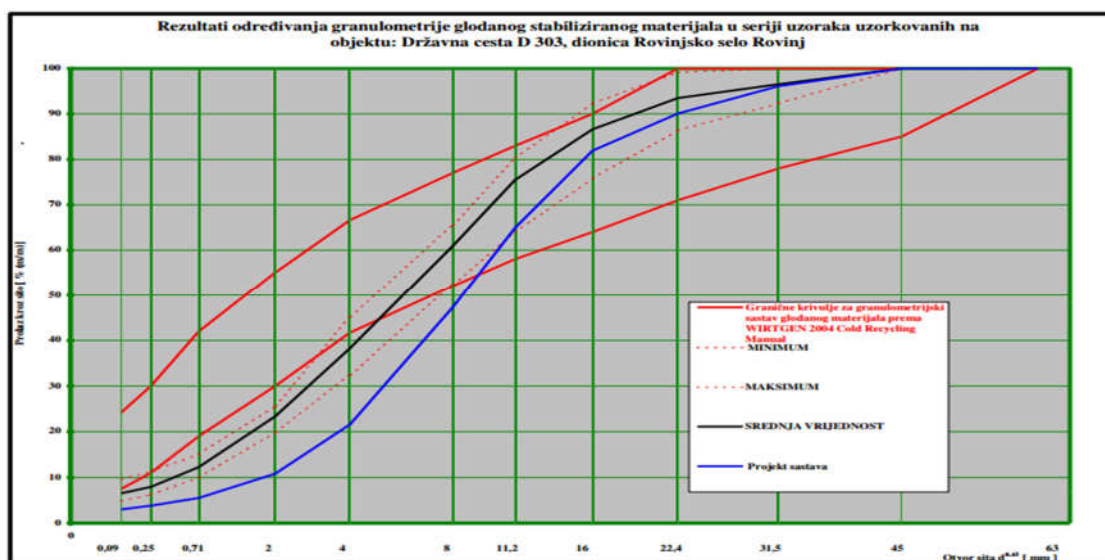
U svrhu dokazivanja kvalitete izvedenih radova ispitivala su se sljedeća svojstva proizvedene hladno reciklirane mješavine [13].

- granulometrija glodanog materijala
- čvrstoća uzorka pri indirektnom vlačnom naprezanju
- optimalna vlažnost
- stupanj zbijenosti
- udio bitumena

U nastavku će biti prikazana statistička obrada podataka ispitanih uzoraka (tablica 11).

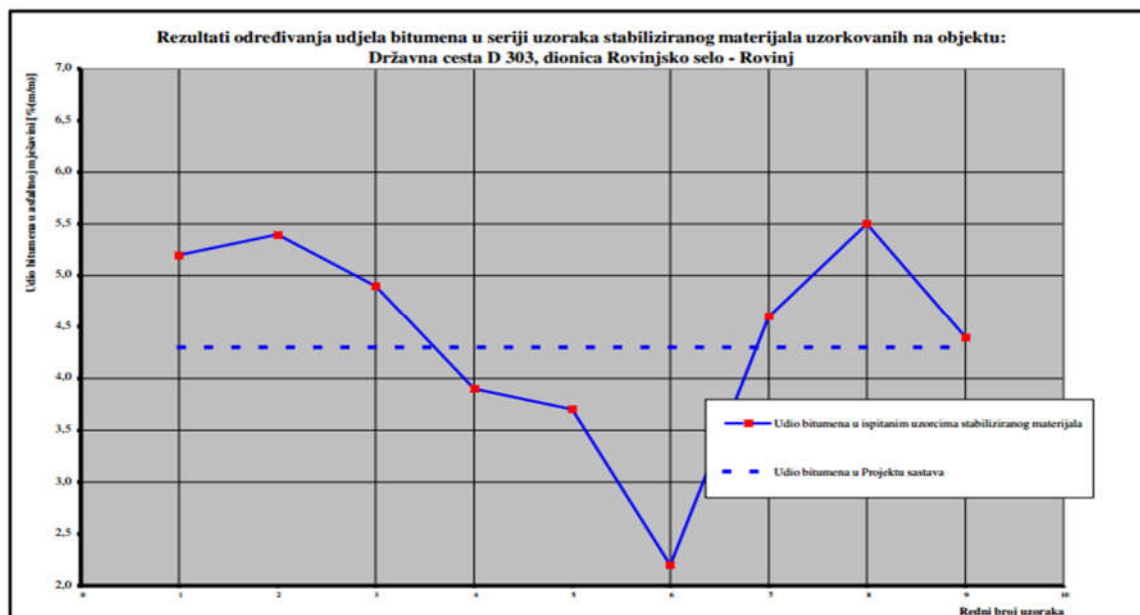
Tablica 11: Rezultati granulometrije i udjela bitumena u stabiliziranoj mješavini [13]

Broj uzoraka u analizi			Stabilizirana mješavina														
			Udio bitumena	Granulometrija glodanog materijala													
Oznaka uzorka	Datum uzorkovanja	Stacionaža	[(m/m)]	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63		
Uzorak 1	dd.mm.gg.	stac. 1	5,2	4,8	6,2	10,0	21,2	38,2	62,9	77,6	88,0	92,8	93,9	100,0	100,0		
Uzorak 2	dd.mm.gg.	stac. 2	5,4	5,6	7,0	11,2	23,4	35,6	61,8	78,7	92,3	95,6	100,0	100,0	100,0		
Uzorak 3	dd.mm.gg.	stac. 3	4,9	6,1	7,7	11,6	22,5	40,5	63,7	78,2	90,3	98,9	100,0	100,0	100,0		
Uzorak 4	dd.mm.gg.	stac. 4	3,9	8,2	9,1	13,4	25,6	45,2	65,5	80,2	91,4	99,2	100,0	100,0	100,0		
Uzorak 5	dd.mm.gg.	stac. 5	3,7	9,6	11,3	15,1	24,6	39,3	59,3	72,1	82,6	90,8	94,2	100,0	100,0		
Uzorak 6	dd.mm.gg.	stac. 6	2,2	7,5	8,2	14,2	24,3	37,2	61,9	76,5	89,1	93,5	96,5	100,0	100,0		
Uzorak 7	dd.mm.gg.	stac. 7	4,6	6,5	8,1	11,6	19,9	32,4	52,4	63,9	75,8	86,4	92,3	100,0	100,0		
Uzorak 8	dd.mm.gg.	stac. 8	5,5	5,4	6,8	10,9	23,2	38,4	61,2	77,1	89,6	94,5	96,2	100,0	100,0		
Uzorak 9	dd.mm.gg.	stac. 9	4,4	4,9	7,2	12,3	25,4	37,7	59,5	74,9	80,4	89,9	95,5	100,0	100,0		
Statistika			Projekt sastava	4,3	3,0	3,8	5,5	10,8	21,6	47,2	64,9	81,9	90,1	96,1	100,0	100,0	
			Min. dozvoljeno	/	7,5	11,8	19,0	30,0	41,7	52,0	58,0	64,0	71,0	78,0	85,0	100,0	
			Maks. dozvoljeno	/	24,2	30,0	42,0	55,0	66,7	77,0	83,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
			Proizvedeni sastav	4,4	6,5	8,0	12,3	23,3	38,3	60,9	75,5	86,6	93,5	96,5	100,0	100,0	
			Min. vrijednost	2,2	4,8	6,2	10,0	19,9	32,4	52,4	63,9	75,8	86,4	92,3	100,0	100,0	
			Maks. vrijednost	5,5	9,6	11,3	15,1	25,6	45,2	65,5	80,2	92,3	99,2	100,0	100,0	100,0	
			Stand. dev.	1,04	1,63	1,52	1,66	1,90	3,48	3,74	4,93	5,67	4,16	2,91	0,00	0,00	



Slika 27: Rezultati granulometrije u stabiliziranoj mješavini [13]

Iz prikazane tablice 11 i slike 27 vidljive su granične linije granulometrijskog sastava prema uputama Wirtghen Cold Recycling manual dok su istočkanim linijama prikazane minimalne i maksimalne vrijednosti prolaska kroz sita i crnom linijom prikazana srednja vrijednost prolaska kroz sita glodane stabilizirane mješavine, a plavom linijom prikazana je vrijednost granulometrije iz projektog sastava. Iz grafa je vidljivo da je postignuta vrijednost granulometrije dijelom vrlo blizu, a dijelom unutar zadanih graničnih vrijednosti prema Wirtghen Cold Recycling manual [13].

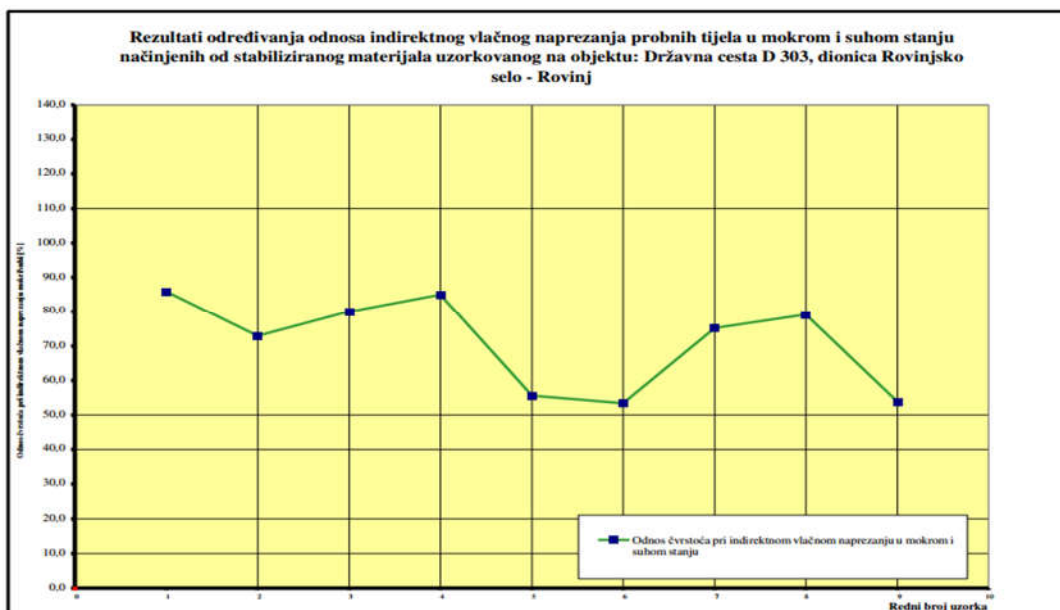


Slika 28: Vrijednosti udjela bitumena u stabiliziranoj mješavini [13]

U uzorkovanim uzorcima ispitan je i udio bitumena gdje su se vrijednosti kretale od min. 2,2 do maks. 5,5 [% (m/m)] (slika 28). U projektu sastava je određen udio bitumena od 4,3 [% (m/m)] te se većina uzoraka kreće oko zadanih vrijednosti dok je na jednom uzorku vrijednost udjela bitumena nešto niža od granice projektirane vrijednosti [13].

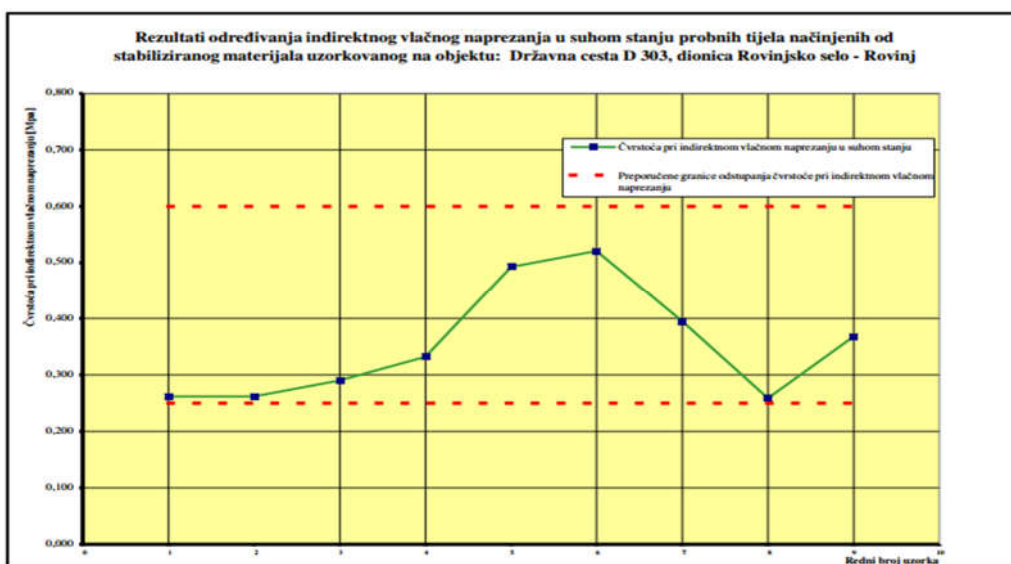
Tablica 12: Gustoće laboratorijskih uzoraka i čvrstoće pri indirektnom vlačnom naprezanju [13]

Broj uzoraka u analizi			Laboratorijsko probno tijelo izrađeno od stabilizirane mješavine					
			Gustoća laboratorijskog probnog tijela izrađenog po modifikiranoj Proctor metodi pri optimalnoj vlažnosti	Optimalna vlažnost	Gustoća laboratorijskog probnog tijela izrađenog na Marshall nabijaču	Čvrstoća pri indirektnom vlačnom naprezanju uzorka		Odnos čvrstoće (mokro/sušno)
Oznaka uzorka	Datum uzorkovanja	Stacionaža	[t/m ³]	[% (m/m)]	[t/m ³]	suhi [Mpa]	mokri [Mpa]	
Uzorak 1	dd.mm.gg.	stac. 1	2,082	4,7	2,106	0,262	0,225	85,9
Uzorak 2	dd.mm.gg.	stac. 2	2,086	4,6	2,111	0,262	0,207	79,0
Uzorak 3	dd.mm.gg.	stac. 3	2,092	4,7	2,112	0,290	0,232	80,0
Uzorak 4	dd.mm.gg.	stac. 4	2,148	4,3	2,164	0,332	0,282	84,9
Uzorak 5	dd.mm.gg.	stac. 5	2,255	4,8	2,282	0,493	0,274	55,6
Uzorak 6	dd.mm.gg.	stac. 6	2,228	4,7	2,242	0,521	0,278	53,4
Uzorak 7	dd.mm.gg.	stac. 7	2,142	4,5	2,154	0,395	0,297	75,2
Uzorak 8	dd.mm.gg.	stac. 8	1,997	4,4	2,009	0,259	0,205	79,2
Uzorak 9	dd.mm.gg.	stac. 9	2,140	4,4	2,166	0,368	0,213	57,7
Statistika	Projekt sastava		2,126	4,4	/	0,304	0,297	/
	Min. dozvoljeno		/	/	/	0,250	0,200	/
	Maks. dozvoljeno		/	/	/	0,600	/	/
	Proizvedeni sastav		2,130	4,6	2,150	0,354	0,242	71,2
	Min. vrijednost		1,997	4,3	2,009	0,259	0,205	53,4
	Maks. vrijednost		2,255	4,8	2,282	0,521	0,297	85,9
Stand. dev.		0,078	0,2	0,080	0,100	0,041	13,40	



Slika 29: Grafički prikaz odnosa indirektnog vlačnog naprezanja probnih tijela u suhom stanju i mokrom stanju [13]

Iz tablice 12 i slike 29 su vidljivi odnosi indirektnog vlačnog naprezanja probnih tijela u mokrom i suhom stanju izrađenih od stabiliziranog materijala uzorkovanog na gradilištu, a iz slike 30 je vidljivo da se nalazi unutar preporučenih granica odstupanja pri indirektnom vlačnom naprezanju [13].

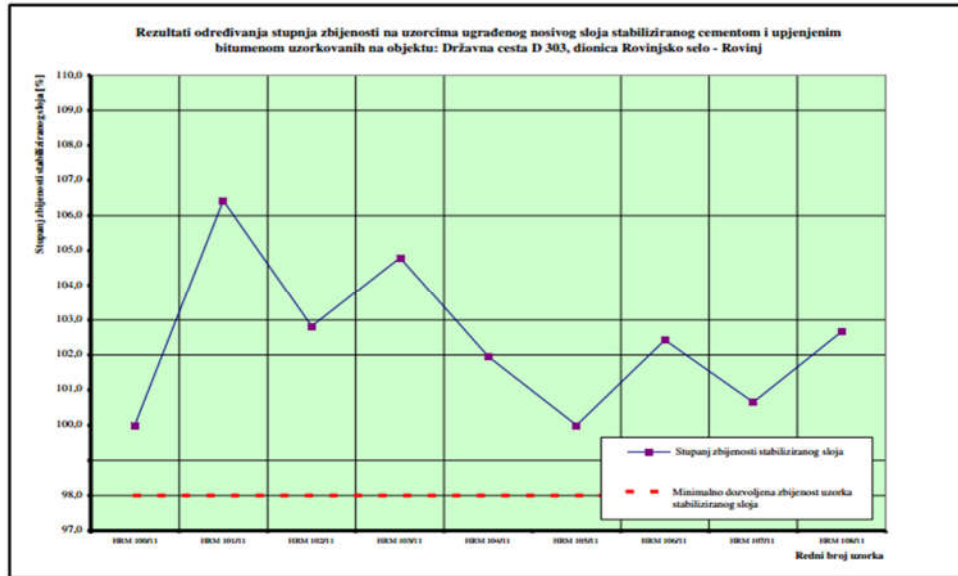


Slika 30: Grafički prikaz preporučene granice odstupanja čvrstoće pri indirektnom vlačnom naprezanju [13]

Kao najvažniji zahtjev za hladno recikliranu mješavinu je stupanj zbijenosti prikazano u tablici 13 gdje je vidljivo da su svi rezultati iznad minimalno dozvoljenih vrijednosti što također ukazuje da je proizvedena mješavina na gradilištu optimalna za ugradnju. Minimalni stupanj zbijenosti prema projektu iznosi 98%, a dobiveni rezultati se kreću od minimalnih 100,0% do maksimalnih 106,4% stupnja zbijenosti. Gustoće hladno reciklirane mješavine se kreću od minimalnih 2,010 do 2,299 t/m³ dok je proizvedenim laboratorijskim sastavom dobivena gustoća 2,181t/m³. [13].

Tablica 13: Vrijednosti dubine glodanja , gustoće sloja i stupnja zbijenosti [13]

Broj uzoraka u analizi			Nosivi sloj izrađen od stabilizirane mješavine				
			Dubina glodanja	Debljina	Gustoća sloja	Stupanj zbijenosti	
Oznaka uzorka	Datum uzorkovanja	Stacionaža	[cm]	[cm]	[t/m ³]	[%]	
Uzorak 1	dd.mm.gg.	stac. 1	17,0 - 22,0	18,0	2,082	100,0	
Uzorak 2	dd.mm.gg.	stac. 2	17,0 - 22,0	22,0	2,220	106,4	
Uzorak 3	dd.mm.gg.	stac. 3	17,0 - 24,0	17,0	2,151	102,8	
Uzorak 4	dd.mm.gg.	stac. 4	17,0 - 24,0	18,0	2,151	104,8	
Uzorak 5	dd.mm.gg.	stac. 5	17,0 - 23,0	19,0	2,299	102,0	
Uzorak 6	dd.mm.gg.	stac. 6	17,0 - 22,0	18,5	2,228	100,0	
Uzorak 7	dd.mm.gg.	stac. 7	17,0 - 22,0	17,5	2,194	102,4	
Uzorak 8	dd.mm.gg.	stac. 8	17,0 - 22,0	18,0	2,010	100,7	
Uzorak 9	dd.mm.gg.	stac. 9	17,0 - 22,0	19,0	2,197	102,7	
Statistika			Projekt	17,000	15,0	/	/
			Min. dozvoljeno	/	/	/	98,0
			Maks. dozvoljeno	/	/	/	/
			Proizvedeni sastav	17 - 24	18,6	2,181	102,4
			Min. vrijednost	17,0	17,0	2,010	100,0
			Maks. vrijednost	24,0	22,0	2,299	106,4
			Stand. dev.	/	/	/	/



Slika 31: Grafički prikaz rezultata stupnja zbijenosti na ugrađenom sloju [13]

Tablica 13 također prikazuje dubine glodanja te gustoća sloja i stupanj zbijenosti koji mora biti min. 98% (slika 31) laboratorijskog uzorka izrađenog prema Proctorovom postupku. Vidljivo da svi uzorci zadovoljavaju tražene i zahtjeve te se kreću od 100,0 – 106,4 % [13].

Na osnovu provedenih ispitivanja utvrđeno je da postignuti rezultati na ispitanoj stabiliziranoj mješavini i izvedenom nosivom sloju, zadovoljavaju uvjete sastava i svojstava koji su propisani (Wirtgen 2004 Cold Recycling Manual) za ispitani tip stabiliziranog materijala od drobljenog asfalta i kamenog materijala [13].

7. ZAKLJUČAK

Obnova kolnika postupkom hladne reciklaže još nije zauzela svoje mjesto kad je u pitanju odluka o rekonstrukciji prometnica. Prvi počeci rekonstrukcije prometnica postupkom hladne reciklaže započeli su prije nešto više od 10 godina ali i dalje nije postupak prepoznat kao ekološki, ekonomski i brzinom izvedbe najpovoljnije rješenje. Postupak je prilično jednostavan ali zahtijeva dobru organizaciju samog zahvata i prethodne radnje prije samog postupka reciklaže. Obnova kolnika postupkom hladne reciklaže, in-plant, tj. na centralnom postrojenju zahtijeva nešto veću organizaciju i uopće veći zahvat u prostoru te je potrebno osigurati radove koji će se odvijati u kontinuitetu kako bi instaliranje postrojenja bilo ekonomski prihvatljivo. Spomenuti postupak je također pogodan za prometnice veće važnosti jer je na centralnom postrojenju moguće proizvesti mnogo bolju hladno recikliranu mješavinu s boljom kontrolom nad proizvodnjom i mogućnostima korekcije recepture.

Postupak obnove kolnika hladnom reciklažom in-situ je također vrlo pogodan za sve vrste prometnica. In-situ reciklira materijal na licu mjesta te nema tako dobru kontrolu kao in-plant ali dosadašnja iskustva su pokazala kako se postižu vrlo efikasni rezultati i kvalitetno izmiješani materijali. U zadnjih desetak godina samo u Istarskoj županiji je obnovljeno preko 300.000 m² prometnica postupkom hladne reciklaže i negativnih iskustava u vidu kvalitete za sada nema. U Hrvatskoj su autoceste i brze ceste još uvijek u prilično dobrom stanju što se ne može reći za županijske i lokalne prometnice stoga je postupak reciklaže in-situ mnogo pogodniji jer se radi o manjim zahvatima gdje je mobilizacija ovakvog postupka mnogo jednostavnija.

Rekonstrukcija prometnice postupkom hladne reciklaže je mnogo pogodnija od klasične rekonstrukcije jer se reciklažom manje zadire u donje slojeve, donji slojevi ostaju netaknuti i već zbijeni radi vremenske konsolidacije. Brzina postupka same rekonstrukcije je uvelike brža jer ne zahtijeva dodatne transporte iskopanog odnosno dopremljenog novog materijala, gotovo sav potreban materijal je već na gradilištu. Kao upravi koja upravlja cestama vrlo je važno da prometnica bude čim prije u prometu, a to se upravo postiže postupkom recikliranja jer za vrijeme predradnji prometnica i dalje može biti u prometu, a sam postupak recikliranja koji zahtijeva zatvorenu prometnicu je vrlo kratak. U današnje vrijeme rokovi izvođenja su sve kraći pa se stoga često događa da se kod klasične rekonstrukcije prometnice ne postigne dovoljna zbijenost materijala

te se u kratko vrijeme počinju pojavljivati razne deformacije. Kod obnove kolnika postupkom hladne reciklaže rizici od pojave deformacija na prometnici su minimalni jer osim kao što je već prethodno navedeno, recikliranjem prometnice ne zadire se u donje slojeve, gornji slojevi su stabilizirani hidrauličkim vezivima gdje je i korigirana granulometrija. Na taj se način ugrađuje stabilizirani, fleksibilni nosivi sloj na vremenski konsolidiranu zbijenu podlogu te se stvara kvalitetna podloga za polaganje asfaltnih slojeva koja će bez problema preuzeti prometno opterećenje.

Postupak hladne reciklaže opisan u prethodnom poglavlju, počevši od prethodnih ispitivanja, izrade radnog sastava (recepture) i ispitivanja ugrađene mješavine ukazuje da se bez poteškoća postižu zahtijevana svojstva hladno reciklirane mješavine propisane od „Tehničkih uvjeta za izradu hladno recikliranih slojeva kolničke konstrukcije“ i „Wirtghen priručnika za hladnu reciklažu“ i to zbijenost hladno reciklirane mješavine kao najvažnije svojstvo, indirektnog vlačnog naprezanja i granulometrije hladno reciklirane mješavine.

Kroz proteklo desetljeće od kada se obnavlja kolnike postupkom hladne reciklaže sakupilo se dovoljno iskustva i referenci kao što se i pokazalo da navedenim postupkom obnovljena kolnička konstrukcija ima traženu otpornost na smrzavanje te potrebnu nosivost i monolitnost te se postižu zahtjevi za stabilnost, dugotrajnost i sigurnost prometnica. Što je također vrlo važno sam postupak ima znatan utjecaj na ekološki faktor o čemu bi trebalo mnogo više brinuti jer se u cestogradnji koriste velike količine materijala koje ostavljaju trag u okolišu. Ne samo što se crpe velike količine materijala već se i iskopani materijali moraju negdje deponirati što također utječe na prirodni okoliš, a i izmijenjene tokove slivnih područja pa time i eroziju tla.

Za opće prihvaćanje tehnologije obnove kolnika postupkom hladne reciklaže potrebno je da zakonodavno tijelo osigura tehničku regulativu i pripadajuće pravilnike prema kojoj će se moći realizirati projekti rekonstrukcija prometnica. Za sada postoje samo smjernice prema kojima se izvodi i to su „Tehnički uvjeti za izradu hladno recikliranih slojeva kolničke konstrukcije“ i „Wirtgen priručnik za hladnu reciklažu“.

LITERATURA:

- [1] RO.Technologies AG, Wirtgen priručnik za hladnu reciklažu, priručnik, Wirtgen GmbH, 2004.
- [2] Hrvatske ceste d.o.o., Tehnički uvjeti za izradu hladno recikliranih slojeva kolničke konstrukcije državnih cesta, Ramtech, Zagreb, 2013.
- [3] web stranica:
www.reteh.hr/test/page.php?id=163&lang=HR, svibanj, 2019.
- [4] Babić B., Projektiranje kolničkih konstrukcija, HDGI, Zagreb, 1997.
- [5] web stranica:
<https://frekomos.hr/hr/>, svibanj, 2019.
- [6] web stranica:
<https://www.scribd.com/doc/88880968/POSTUPCI-RECIKLAŽE-PRIREHABILITACIJI-ASFALTNIH-KOLOVOZNIH-KONSTRUKCIJA>, svibanj, 2019.
- [7] Sršen M. i drugi, Recikliranje asfaltnih kolnika, Građevinar 62, p.507-515, Zagreb, 2010.
- [8] Cuculić, M., Predavanje – Obilježja stanja kolnika, GF Rijeka, 2019.
- [9] web stranica:
<https://geoexpert-igm.hr/fotogalerija/>, lipanj, 2019.
- [10] Projekt rekonstrukcije državne ceste D303 od Rovinja do Rovinjskog sela – sanacija opasnih mjesta, br. 1551/2010-T.
- [11] Izvještaj o prethodnim ispitivanjima kolničke konstrukcije namijenjene postupku hladne reciklaže na objektu državne ceste D303, 2011.
- [12] Izvještaj o izradi recepture sa cementom i upjenjenim bitumenom stabilizirani glodani materijal iz kolničke konstrukcije namijenjenim za izradu donjeg nosivog sloja nove kolničke konstrukcije na objektu D303, br. PS HR 006a/2011., 2011.
- [13] Izvještaj o izvođačkoj kontroli kvalitete cementom i upjenjenim bitumenom stabilizirani stabilizirane mješavine na objektu D303, br. HR 006/2011., 2011.
- [14] IGH d.d., Uputa za određivanje suhe zapreminske prostorne težine tla pomoću volumometra, 2018.