

UPORABA RRP SREDSTVA ZA STABILIZACIJU TLA PRI GRADNJI ŠUMSKIH PROMETNICA

THE USE OF SOIL STABILIZATION MATERIALS IN FOREST ROAD BUILDING

Dragutin PIČMAN* i Tibor PENTEK**

SAŽETAK: Stabilizacija tla uporabom različitih stabilizacijskih materijala kod izgradnje šumskih prometnica, primijenjuje se u Hrvatskoj dugi niz godina. Zadnje desetljeće u toj je stabilizaciji svoju primjenu na određenim terenima pronašlo i američko sredstvo za kemijsku stabilizaciju tla RRP (Reynolds road packer). To je proizvod tvrtke Zel Internacional Inc. Portland, Oregon, SAD, koji djeluje na principu izmjene iona u tlu kod glinenih i ilovastih čestica. Glede činjenice da je kod nas nužna i potrebna izgradnja šumskih cesta na ekstremnim terenima u nizinskim područjima Hrvatske, RRP je sredstvo koje je prvenstveno namijenjeno za takva nekoherentna, nenosiva ili slabo nosiva tla. Isto tako provedena istraživanja moraju odgovoriti na pitanje kakva su naša iskustva u radu s RRP-om, i na temelju toga predvidjeti perspektivnu uporabu ovoga sredstva u našim uvjetima.

Ključne riječi: stabilizacija šumskog tla, RRP sredstvo za stabilizaciju tla, šumske prometnice.

1. UVOD - Introduction

Prometno opterećenje šumskih cesta osobitog je karaktera, nije velike gustoće i povremeno je, ali se znatnim dijelom sastoji od teških vozila s velikim pritiskom kotača po jedinici površine.

Radi takve situacije u pravilu nisu pogodne kolničke konstrukcije s vezanim zastorom (asfaltnim ili betonskim). One su previše osjetljive na preopterećenja, te su vrlo podložne oštećenjima i propadanju pod djelovanjem teških vozila. Isto tako ovakve ceste nisu ekonomične ukoliko frekvencija prometa po njima nije dovoljno intenzivna.

Kolničke konstrukcije koje nemaju vezani zastor tj. u cijelosti se sastoje od nevezanog zrnatog kamenog materijala, ne pokazuju u eksploataciji značajnije promjene, odnosno nastala manja oštećenja mogu se relativno lako i ekonomično otkloniti. Stabilnost i trajnost kolničkih konstrukcija u najvećoj mjeri ovisi o nosivosti podloge "posteljice".

Stoga je na tlima male nosivosti, kakva su uglavnom tla nizinskog djela Hrvatske gdje rastu i razvijaju se šume sa najvrijednijom drvnom pričuvom, poželjno primijeniti postupke stabilizacije tla.

Izgradnja šumskih prometnica na nekoherentnim, slabo nosivim ili nenosivim tlima kao što su provlažene gline, muljevita ili organska tla, oduvijek je predstavljala problem za šumare graditelje. Gdje god je bilo moguće takva su se tla izbjegavala, i prometnice su građene na stabilnijim terenima. Kada takvih mogućnosti nije bilo, koristili su se razni načini kako bi se tlo dovoljno učvrstilo i postalo sposobno za gradnju.

Uobičajene metode rješavanja tih problema zasnivale su se na zamjeni dijela slabog, nenosivog tla boljim materijalom-kamenom, šljunkom ili pijeskom. Ova se metoda, gledano s ekonomskog gledišta, nije isplatila (dobar, nosivi materijal je dosta rijedak). Kada govorimo konkretno o kamenu, treba naglasiti da se kamenolomi u pravilu nalaze na većim transportnim udaljenostima od gradilišta. Sedamdesetih godina ovog stoljeća naši su šumari problem nosivosti nenosivih tala počeli rješavati primjenom kemijske stabilizacije tla (vapnom).

* Dr. sc. Dragutin Pičman

** Tibor Pentek, dipl. inž. šum., Šumarski fakultet Zagreb

Kemijska stabilizacija tla vapnom, odnosno cementom koja se prva počela primjenjivati, danas polako umire, a svoje mjesto ustupa djelotvornijim i ekonomski opravdanijim vrstama kemijske stabilizacije tla (primjenom RRP sredstva, i uporabom WEGS-a), kao i stabilizaciji tla pomoću geotekstila (tkanih i netkanih), te korištenju plastičnih mreža.

2. TEORETSKA RAZMATRANJA – Theory

2.1. Područje primjene RRP-a – Field of use

Posebno djelovanje RRP-a čini ga posebno pogodnim za stabilizaciju, odnosno učvršćivanje kohezivnih tala. Kod normalnog tijeka rada klasičnim načinom, moraju se ovakva tla zamijeniti nekohezivnim šljunkastim ili pijeskovitim tlima; to rezultira povećanim troškovima iskazanim u materijalu, opremi, vremenu i dr.

RRP je idealan za stabilizaciju tla kod izgradnje šumskih prometnica na kohezivnim tlima koja su teška za sabijanje i osjetljiva na smrzavanje zbog visokog prirodnog sadržaja vode.

Osnovna pravila određivanja pogodnosti tla za stabilizaciju ovim sredstvom jesu:

- pogodna su tla koja sadrže više od 15 % čestica manjih od 0,06 mm (frakcija praha i ilovače),
- pijesak pomiješan s frakcijom čestica promjera 4,8 mm u odnosu 1:1, pogodan je za stabilizaciju ako sadrži minimalno 12 % ilovastih frakcija sa promjerom manjim od 0,074 mm, (SC, SM),
- šljunak pomiješan s frakcijom čestica promjera 4,8 mm u odnosu 1:1, pogodan je za stabilizaciju ako sadrži minimalno 12 % ilovastih frakcija sa promjerom manjim od 0,074 mm, (GC, GM).

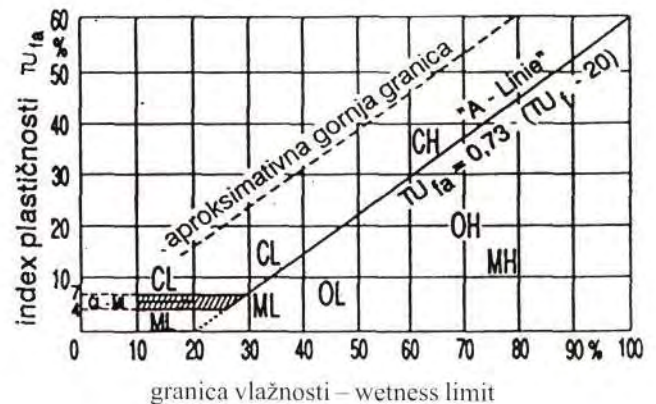
Da bi sa sigurnošću mogli utvrditi koja su tla pogodna za stabilizaciju RRP-om, nužno je provesti geomehanička i laboratorijska ispitivanja; to vrijedi za sva tla, a posebno za ona tla koja sa distribucijom veličine čestica nisu dana u gornjim pravilima.

2.2. Laboratorijsko ispitivanje tla – Laboratory testing

Analiza tla u laboratoriju sa ciljem dobivanja relevantnih podataka, na osnovi koji će se kategorički moći odrediti pogodnost određenog konkretnog tla za stabilizaciju primjenom RRP-a, obuhvaća ova ispitivanja:

1. Volumen pora i sadržaj vode
2. Granulometrijski sastav:
3. Konzistencija
3. Optimalna kompaktilnost
4. Relativna nosivost tla
5. Vrijednosti za opterećenje tla
6. Otpornost tla na klizanje i smicanje

RRP (*Reynolds road packer*) predstavlja novije sredstvo za kemijsku stabilizaciju tla koje svoju primjenu u Hrvatskoj nalazi tek posljednjih godina. Kao potencijalno sredstvo, odnosno metoda stabilizacije tla koja ima preduvjete da značajnije bude primjenjivana na našim nizinskim terenima, RRP zaslužuje jednu sofisticiranu prezentaciju.



Slika 1. Grafički prikaz plastičnosti prema Casagrande-u
Figure 1. Graphic presentation of plasticity after Casagrande

2.3. Provedba postupka stabilizacije tla primjenom RRP sredstva kod izgradnje ceste – Soil stabilization procedure with RRP in road building

Najčešće se ovaj tip stabilizacije koristi za stabilizaciju nasipa (ukoliko je materijal od kojega bi trebalo izraditi nasip slabije kvalitete) te za stabilizaciju posteljice šumskih cesta.

Tehničko-tehnološki postupak odvija se kroz više faza rada:

- buldozer se koristi za grubo ravnjanje podloge i formiranje budućeg planuma šumske ceste,
- na poravnatu površinu dolaze strojevi kojima se obavlja grebanje površine planuma do dubine od najmanje 20 cm, sa ciljem da prilikom prskanja površine koju treba stabilizirati RRP-om ne dolazi do otjecanja sredstva i nepotrebnih troškova stabilizacije,
- sljedeći korak u postupku stabilizacije predstavlja dolazak vozila napunjenog s RRP sredstvom razrijeđenim vodom i opremljenog sa kontrolnim uređajem za mjerenje količine prskanja po jedinici površine; unošenje RRP-a razrijeđenog vodom može se izvršiti na dva osnovna načina:

1. **Prodiranjem** - obavlja se tako da se provede postupak prskanja pripremljene površine planuma na način kako je opisano, RRP sredstvo polagano penetrira u dubinu i razvija svoje kemijsko djelovanje. Brzina prodiranja ovisna je o vrsti zbijenosti tla; kod glinovitih materijala treba pričekati 14 dana, a tek onda izvršiti sabijanje zemlje.

2. *Umješavanjem* - provodi se na način da se primijeni gore opisani postupak, ali se ne čeka 14 dana već se odmah po doziranju ukupno potrebne količine sredstva obavija miješanje pomoću rotofreзера ili poljoprivrednog frezera. Kod nasipa dubina miješanja mora biti barem jednaka debljini sloja koji se želi stabilizirati. Ako se stabilizira podloga za kolničku konstrukciju bez vezanog zastora, debljina miješanja mora biti oko 20 cm. To ne znači da će biti stabilizirano samo 20 cm tla; sredstvo će sa kišama prodirati i u dublje slojeve koje će tada stabilizirati,

- površinu planuma treba poravnati grejderima, te primjenom istog stroja izvršiti planiranje poprečnoga nagiba ceste,
- poravnatu površinu koju smo tretirali RRP sredstvom treba sabiti primjenjujući statičke glatke valjke i ježeve, odnosno gumene valjke određenog opterećenja, a ovisno o vrsti tla.

Glede određenih čimbenika koji se tijekom provedbe tehnološkog postupka stabilizacije tla mogu pojaviti ili su više manje stalno nazočni, nužno je posebnu pozornost obratiti na ove napomene:

a) Iako radna tekućina RRP-a i vode ima dobro topi-

2.4. Određivanje osnovne količine RRP-a koja se primjenjuje po jedinici površine – Determination of the basic RRP quantity used per area unit

Osnovni kriterij na kojem se zasniva postupak određivanja osnovne količine RRP sredstva za stabilizaciju tla, temelji se na utvrđivanju postotka frakcije čestica ko-

Tablica 1. Potrebna količina RRP-a po jedinici površine

Table 1 The RRP quantity required per area unit

Frakcija sa sitom od 0,06 mm, % Fraction with 0.06 mm sieve, %	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	≥65
Količina RRP-a, g/m ² RRP quantity, g/m ²	31	33	34	36	37	39	40	42	44	45	izračunato pojedinačno calculated individually

Treba međutim reći da prilikom određivanja potrebne količine RRP sredstva u pojedinom konkretnom tlu moramo u razmatranje uzeti i sljedeće čimbenike:

- optimalni sadržaj vode u tlu prije početka provođenja tretmana sa RRP-om,
- optimalni sadržaj vode u tlu kada se tretira s RRP-om,
- minimalni stupanj sabijenosti tla koji treba postići,

2.5. Osnovni princip djelovanja RRP sredstva na tretirano tlo – Basic principle of RRP affecting the treated soil

Djelovanje RRP sredstva kod različitih vrsta tla temelji se na dva osnovna ali različita principa ionske izmjene:

vo djelovanje, stabilizaciju tla ne smijemo izvoditi ako je vanjska temperatura zraka ispod 0°C. Znači da se RRP ne smije koristiti ako je tlo smrznuto, bilo na površini ili u dubljim slojevima.

b) Proktorske vrijednosti tla treba permanentno kontrolirati tijekom provedbe stabilizacije. Ako te vrijednosti odstupaju od normalnih i propisanih, nužno je u mogućim slučajevima ovako postupiti:

- Ako je tretirana površina intenzivno izložena sunčevom zračenju treba je poprskati vodom.
- U zemljama vrućeg podneblja potrebno je fazu prskanja radne tekućine u okviru tehnološkog procesa stabilizacije, provesti kasno poslijepodne ili navečer. Razlog je izbjegavanje opasnosti od isparavanja otopine RRP-a i vode.
- U slučaju jakih pljuskova, rad treba prekinuti. Nakon prestanka pljaska mora se izmjeriti sadržaj vode u tlu i prema dobivenim rezultatima izmjere prilagoditi količinu RRP-a po jedinici površine, te sam omjer miješanja radne tekućine
- Posljednji korak stabilizacije tla - sabijanje, u suhim područjima neće se moći kvalitetno provesti bez dodavanja vode.

je nalazimo pri korištenju sita od 0.06 mm; drugim riječima potrebna količina RRP-a ovisi o postotnom udjelu čestica manjih od 0,06 mm u frakciji tla koju ispituje.

Iz priložene tablice jasno se vidi da potrebna količina sredstva za stabilizaciju tla po jedinici površine raste proporcionalno sa povećanjem postotnog udjela čestica manjih od 0,06 mm u uzorku tla koje ispituje.

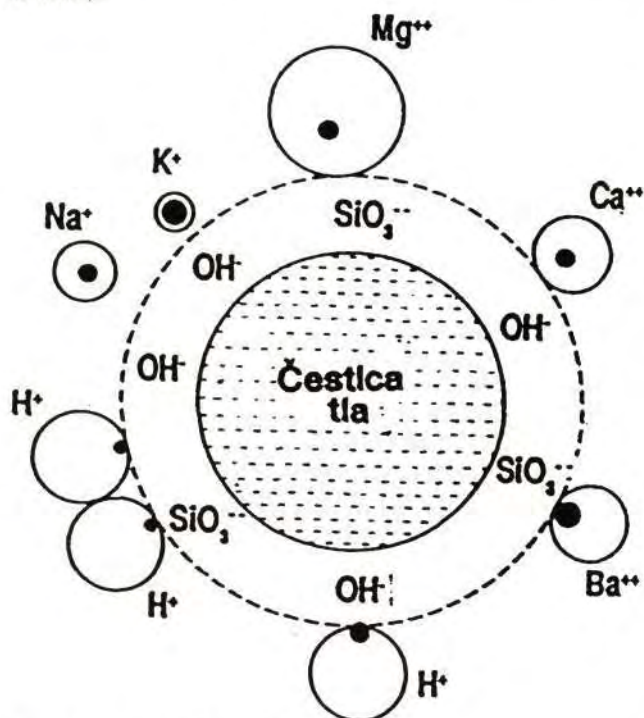
- minimalni CBR vrijednosti tla stabiliziranog RRP-om nakon razdoblja od 7 dana.

Dakle, može se zaključiti da empirijski dobiveni podaci prikazani u tablici, predstavljaju potrebnu količinu RRP stabilizacijskog sredstva kojeg treba prskati po jedinici tretirane površine, međutim isto tako se te optimalne količine stabilizacijskog sredstva moraju korigirati sa gore navedenim čimbenicima.

- ionska izmjena u tlu
- ionska izmjena u sulfonskim kiselinama (*sulfonske kiseline su osnovna komponenta izgradnje RRP-a*)

Da bi djelovanje RRP sredstva za stabilizaciju tla na pojedine vrste tla bilo što jasnije, dana je prilično uvećana čestica tla (koloid).

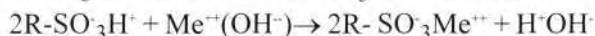
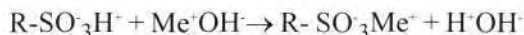
Na slici 2 uočava se da je svaka pojedinačna čestica tla (koloid) okružena sa vodenim omotačem. Taj omotač je promjenjive veličine, te se može povećati (širenje) ili smanjiti (skupljanje). Pozitivni ioni u tom omotaču (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ,.....) čvrsto su povezani, dok je glavni dio negativnih naboja smješten na vanjskim i unutrašnjim površinama izmjenjivača (koloidne čestice).



Slika 2. Uvećana čestica tla (koloid)
Figure 2 Magnified soil particle (colloid)

Pozitivni ioni kationskoga omotača mogu biti međusobno zamijenjeni; npr. H^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ioni mogu biti zamijenjeni sa Ba^{++} ionima. Ovdje djeluje mehanizam *ionske izmjene u tlu*.

U tlu se odvija i izmjena kationa; to je moguće zato jer sulfonske kiseline posjeduju svojstva kationske izmjene – one izmjenjuju dobijeni proton H^+ (hidronijev ion) za odgovarajuće metalne katione u koloidnom vodikovom omotaču, što pojednostavljeno kemijskim jednadžbama možemo ovako prikazati:



Prikazan je princip *ionske izmjene u sulfonskim kiselinama*.

Možemo na kraju razmatranja osnovnog principa djelovanja RRP-a na tlo reći da je posljedica tog djelovanja impregnacija tla – voda je istisnuta iz hidrofobnih dijelova i iz praznih međuprostora, tako da koloidne čestice tla više nisu u mogućnosti povećavati ili smanjivati svoje vodene omotače; tlo se više ne može širiti niti stezati, ono je impregnirano. Posljedice impregnacije tla su sljedeće:

- dio vode istisnut je iz kapilara i iz međuprostora,
- čestice tla približene su jedna drugoj, a veličina praznina i kapilara je smanjena; hidrofobni dijelovi susjednih čestica mogu se međusobno toliko približiti da zaustavljaju prolazak molekula vode, te tlo više ne apsorbira vodu.

3. CILJ ISTRAŽIVANJA – Research aim

Kako je ovo područje jedno od prvih terena na kojima je u Hrvatskoj primijenjena kemijska stabilizacija tla primjenom RRP sredstva, a prije je veliki broj šumskih cesta bio izgrađen klasičnim načinom, ovo je dobar teren za provedbu poredbenog ispitivanja troškova izgradnje šumske ceste klasičnim načinom i primjenom RRP-a.

Isto tako istražiti će se primjenjivost teoretskog modela tehnološkog postupka uporabe RRP-a i odstupanje od preporučenih teoretskih vrijednosti i metoda rada.

Na kraju rada osvjetlit će se pozitivni učinci stabilizacije tla primjenom RRP-a kod izgradnje šumskih cesta u odnosu na klasičan način izvedbe; pokušat ćemo odgovoriti na sljedeća pitanja:

- gdje je područje primjene ove vrste kemijske stabilizacije tla u Hrvatskoj,
- kojim redoslijedom ide tehnološko - tehnički postupak stabilizacije tla pri izgradnji prometnica kod konkretne šumske ceste,

- kakva su i kolika odstupanja od teoretski propisanog postupka glede raznih promatranih parametara,
- kakvi su ekonomski učinci tretiranja tla sa RRP-om glede smanjenja troškova izgradnje šumskih cesta pri poredbi s klasičnim načinom gradnje,
- kolika je ušteda na kamenom materijalu kod ovakvog načina gradnje,
- kakve su posljedice tretiranja tla sa RRP-om na ekosustav s obzirom na princip djelovanja sredstva na tlo, te uzimajući u obzir da čisti RRP pokazuje izrazito kiselu reakciju ($pH=0,4$), dok je radna tekućina koja se dobije miješanjem 3 do 5 litara RRP-a sa 1000 litara vode tek neznatno manje kisela ($pH=1,75$),
- kakva je perspektiva korištenja ovoga sredstva u gradnji šumskih cesta na području Hrvatske,
- što poduzeti da se ova metoda u značajnijem udjelu rabi na našim prostorima?

4. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA – Research field

Istraživanje je provedeno u GJ Grubišnopljaska bilogora, koja se prostire na 7 339,07 ha, a nalazi se u brdskom području Bilogore. Gospodarskom jedinicom upravlja UŠ Bjelovar, odnosno šumarija Grubišno polje.

4.1. Geološka podloga – Geological base

Matični supstrat za tvorbu tala na ovom području je uglavnom suhi facijes karbonatnog lesa, dok se u podnožju Bilogore nalazi i nešto vlažnog facijesa lesa. Ovakav homogeni sastav matičnog supstrata i njegove osnovne pedogenetske karakteristike, utjecale su na "jednotipski pravac" evolucije tala, u kojem dominira lesivirano (luvisol) tlo.

Tla sastojina koje se razvijaju u ovoj gospodarskoj jedinici mogu se podijeliti u dva odjela, te dalje na tipove tla kako slijedi:

- odjel automorfnih tala: koluvijalno tlo, eutrično smeđe tlo (gajnjača), lesivirano tlo (luvisol) ili merizirano tlo,
- odjel hidromorfnih tala: aluvijalno ili fluvijalno tlo (fluvisol), pseudoglej, močvarno glejno tlo (euglej).

4.2. Klimatske prilike – Climatic conditions

Za definiranje klimatskih prilika na istraživanom području poslužit ćemo se meteorološkim podacima s meteoroloških postaja Daruvar i Virovitica budući takva postaja u Grubišnom Polju ne postoji.

Ovo je područje prema Köppenovoj klasifikaciji

svrstano u klimatsku zonu C (toplo umjerena kišna klima), sa oznakom "Cfwbx".

4.3. Vegetacijski pokrov – Vegetation cover

Najviša područja gospodarske jedinice pripadaju svezi bukovih šuma i to:

- zajednica bukve sa dlakavim šašem (*Carici pilosae fagetosum*),
- panonska bukova šuma (*Fagetum croaticum panonicum*).

Nešto niže terene obrasta grabova sveza sa zajednicama:

- tipična šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris typicum*),
- šuma hrasta lužnjaka i običnog graba sa bukvom (*Carpino betuli-Quercetum roboris fagetosum*),
- šuma hrasta kitnjaka i običnoga graba (*Quercocarpinetum croaticum*).

Najniža staništa uz rijeke Grđevicu i Ilovu nastanjuju vlažne lužnjakove zajednice.

U jarcima nižih i viših dijelova g.j., a uz manje vodotoke, nailazimo ovisno o nadmorskoj visini na zajednice johe:

- šuma crne johe sa drhtavim šašem (*Carici brizoides-Alnetum glutinosae*),
- šuma crne johe sa trušnjikom (*Frangulo alnetum-glutinosae*).

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Research results

Šumska cesta Obrovi kod koje je izvršena stabilizacija RRP-om ukupne je duljine 2175 m. Širina trase iznosi između 12 m i 14 m, ovisno o nagibu terena; širina planuma je 6 m od čega na kolnik otpada 4 m, a na bankine po 1 m s lijeve i desne strane kolnika.

Probijanje trase i izradba donjeg stroja ceste jednaka je načinu građenja kao i kod klasične metode. Poslije izgradnje donjeg stroja ceste, prišlo se stabilizacije tla primjenom RRP sredstva. Naravno da su prethodno provedena potrebna geomehanička ispitivanja i laboratorijske analize svih parametara tla koji su relevantni čimbenik pri donošenju odluke može li se konkretno tlo stabilizirati kemijskim postupkom primjenom RRP-a.

Radovi su započeli tanjuranjem tla, a cilj je bio rasijecanje i usitnjavanjem tla (u širini kolnika) kako bi se omogućilo bolje prodiranje otopine RRP-a u tlo, a isto tako da ne dolazi do razlijevanja iste. Tanjuranje je izvršeno do dubine od oko 20 cm primjenom traktora IMT-560 sa priključnim uređajem (roto-freze, tanjurače).

Na tako pripremljenu površinu kolnika izvršeno je prskanje prethodno pripremljene otopine RRP sredstva i vode (4 litre RRP-a i 1000 litara vode što je dovoljno za tretiranje 100 m² ceste). Prskanje je obavljeno cisternama koje vuče traktor (cisterna "Creina"). Za tretiranje tla utrošeno je ukupno 160 litara RRP-a po 1 kilometru ceste, odnosno za cijelu duljinu ceste bilo je potrebno 350 litara RRP-a.

Radi veličine cisterne bila su potrebna dva prijelaza traktora da bi se obavilo jedno kompletno tretiranje tla radnom tekućinom. Otopina je nanašana tri puta sa po dva prijelaza traktora i cisterne. Nakon prskanja tlo je još jednom obrađeno frezom i ostavljeno nepopravljivo da bi se radna tekućina dobro upila.

Po upijanju otopine tlo je poravnato grejderom i ostavljeno do proljeća kako bi radna tekućina što dublje prodrila u tlo (postupak stabilizacije obavljan je u jesen) uz pomoć jesenskih kiša i proljetnog topljenja snijega. U međuvremenu je tom dionicom ceste zabranjen sav promet i postavljene su rampe.



1. Odstraniti humus – Remove the topsoil



2. Dovedi formaciju do njene nominalne visine – Bring the formation to its normal height



3. Prskati i inkorporirati RRP Special – Sprinkle and incorporate RRP Special



4. Sabiti na optimalni stupanj – Compact to optimal degree of density



5. Položiti završni sloj – Apply the finishing layer

Slika 3. Opis procesa rada s RRP-om
Figure 3 Description of the work with RRP

U proljeće se počelo sa sabijanjem tla pomoću ježeva mase oko 100 kn.

Prije nego li je započeto sa sabijanjem tla, izvršeno je kontrolno mjerenje vlage u tlu. Budući je određena vlaga kolnika od 25,8 %, što je dosta veće od optimalne vlage za postupak stabilizacije na ovom tlu od 18 % do 19 %, sa sabijanjem se počelo dva tjedna kasnije nego je planirano, kako bi se tlo prosušilo do vrijednosti bliske optimalnoj.

Kontrolna ispitivanja sabijenosti podloge kolničke konstrukcije dala su zadovoljavajuće rezultate, te se

moglo pristupiti posljednjoj fazi rada ovoga tehničko - tehnološkog postupka.

Na sabijenu posteljicu postavljen je sloj kamenog agregata granulacije do 30 mm. Utrošak je bio 0,10 m³ agregata po m² površine planuma. Sabijanje ovog završnog sloja ceste provedeno je vibrovaljkom.

Usporednom analizom troškova moguće izgradnje ove ceste klasičnim načinom i stvarno provedene izgradnje šumske ceste primjenom RRP sredstva, došlo se do sljedećeg zaključka: ukupni troškovi izgradnje (donji i gornji stroj) ceste primjenom RRP sredstva su približno 25 % niži od ukupnih troškova izgradnje iste ceste na identičnom terenu, ali klasičnim načinom gradnje.

Treba naglasiti da je primjena RRP sredstva smanjena količina kamenog materijala koji treba ugraditi u cestu za 2610 m³ (kod klasične gradnje treba 3590 m³ kamena, a kod gradnje uporabom RRP-a 980 m³ kamena).

Ekološki parametri RRP sredstva u smislu njegovog štetnoga djelovanja na bilo koji dio ekosustava gdje prolazi šumska cesta stabilizirana RRP-om nisu ispitani jer je za provedbu takvih istraživanja potrebna određena vremenska distanca. Ipak na osnovi rezultata istraživanja koja su obavljena u SAD-a, dokazano je da poslije 20 godina nema nikakvih ekoloških posljedica na flori i fauni u blizini šumske ceste.

Postavlja se pitanje kako RRP sredstvo djeluje na podzemne vode, budući je pH vrijednost radne tekućine izrazito kiselog karaktera (pH=1,75), te gdje završavaju ostaci sulfonskih kiselina (osnovna komponenta od koje je RRP izgrađen) i ostaci iona, tj. postoji li mogućnost da oni ispiranjem postanu izravna opasnost za slobodne vode u tlu?

Kiseli karakter i kisela svojstva radne tekućine eliminirani su kemijskim postupcima koji se odvijaju u tlu nakon tretiranja; dolazi do neutralizacije H⁺ i H₃O⁺ iona tako da se u podzemnim vodama više ne nalaze kiseline.

Ostaci sulfonskih kiselina ili iona nepovratno su vezani za čestice tla elektrostatskim silama, znači da ne mogu biti isprani pa ne predstavljaju opasnost za slobodne vode.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA - Conclusions

Kao osnovne prednosti ovoga načina stabilizacije šumskih cesta možemo istaknuti:

- izgradnja tehnički boljih i sigurnijih prometnica što se postiže trajnim povećavanjem nosivosti temeljnog tla,
- naglašena uporaba matičnog materijala za izgradnju donjeg stroja šumskih cesta,

- ušteda na kamenom materijalu čija cijena prijevoza zbog velikih transportnih udaljenosti i ograničenih kapaciteta nalazišta kamena, znatno doprinosi visokim troškovima izgradnje, ,
- ušteda na vremenu, jer je kraće vrijeme izgradnje zahvaljujući manjoj potrebi transporta te smanjenom obujmu korištene mehanizacije
- mogućnost gradnje cesta na nekoherentnim, nenosivim, odnosno slabo nosivim tlima gdje klasičan način gradnje ne daje odgovarajuće rezultate,
- organizacija gradilišta tijekom tehnološkog procesa je relativno lagana,
- metoda rada zahtijeva jednostavnu mehanizaciju što je važno kod primjene ove metode u područjima gdje građevinska infrastruktura nije jako razvijena,
- ekonomska kalkulacija pokazala je da se ovim načinom gradnje šumskih prometnica može uštedjeti oko 25 % financijskih sredstava u odnosu na klasičan način gradnje,
- smanjeni su troškovi održavanja ceste,
- tlo koje se stabilizira RRP-om ostaje trajno sabijeno i gotovo ne sadrži vlagu,
- sam postupak je s ekološkog gledišta prihvatljiv, budući nikakve negativne promjene na okolnom ekosustavu nisu zamijećene,

- izgradnjom prometnica na ovaj način smanjuje se srednja udaljenost privlačenja, budući bez primjene stabilizacije na ekstremno lošim terenima gradnja cesta ne bi bila moguća, a otvorenost takvoga područja šumskim prometnicama bila bi nedovoljna.

U svezi s gore navedenim prednostima ove metode stabilizacije šumskih prometnica, a s obzirom da štetna djelovanja koja bi bila posljedica uporabe RPP sredstava za kemijsku stabilizaciju cesta nisu uočena, ovaj način gradnje može se preporučiti za sve one terene gdje klasična metoda ne može polučiti dobre rezultate ili su oni kratkotrajni.

Prije nego započnemo s tehnološkim postupkom treba obaviti neophodna laboratorijska ispitivanja, a cilj je da se ispitano tlo definira kao prikladno ili neprikladno za ovu metodu rada.

Tijekom rada moraju se provoditi kontrolna ispitivanja, a na kraju stabilizacije i ispitivanje modula stišljivosti posteljice.

Sva odstupanja od idealnih vrijednosti koje su nužne za provedbu stabilizacije moraju se uzeti u obzir kod doziranja RRP-a po jedinici površine.

Ekonomska analiza primjene RRP-a pri gradnji cesta govori u prilog ovakvog građenja, tim više što je i kvaliteta izgrađenih cesta vrlo dobra, organizacija rada je jednostavna, a za provedbu postupka tretiranja tla dovoljna je osnovna mehanizacija.

7. LITERATURA – Literature

- Frč o, M., 1990: Primjena RRP-a na izgradnji šumskih cesta na području Uprave šuma Bjelovar, Bjelovar, (separat)
- L a m b e, T. W., 1951: Soil testing for Engineers, New York-John Wiley & Sons, INC., London-Chapman & Hall, Limited, p. 1-165.
- L e e, I. K., 1974: Soil Mechanics - New Horizons, London Newness-Butterworths, p. 25.
- P i č m a n, D., 1984: Ispitivanje modula stišljivosti posteljice i nosive podloge na pokusnoj dionici u Lipovljanima, Mehanizacija šumarstva 8 (9-10), Zagreb, s. 201-216.
- P i č m a n, D. & T. P e n t e k, 1996: Metode rada pri stabilizaciji kod izgradnje šumskih prometnica, Referat na međunarodnom stručnom savjetovanju Izzivi gozdne tehnike (Izazovi šumske tehnike), Ljubljana, 8.5.1996.
- P i č m a n, D. & T. P e n t e k, 1996: Mogućnost primjene WECS sredstva za satbilizaciju tla pri gradnji šumskih cesta, Mehanizacija šumarstva (rad predan u tisak).
- P i č m a n, D. & T. P e n t e k, 1996: Prilog poznavanju uporabe strojeva za stabilizaciju šumskih prometnica vapnom, Mehanizacija šumarstva (rad predan u tisak).
- P i č m a n, D. & T. P e n t e k, 1996: Stabilizacija šumskih transportnih sustava vapnom, Mehanizacija šumarstva (rad predan u tisak).
- P l i v e l i ć, S., 1996: Stabilizacija tla pri gradnji šumskih cesta na području Uprave šuma Vinkovci, Diplomski rad, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 1-42.
- Š i k i ć, D., B. B a b i ć, D. T o p o l n i k, I. K n e ž e v i ć, D. B o ž i č e v i ć, Ž. Š v a b e, I. P i r i a & S. S e v e r, 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste, Znanstveni savjet za promet JAZU, Zagreb, str. 1-76.
- T r n s k i, D., 1995: Razvoj šumskih prometnica i primjena različitih načina gradnje na području Uprave šuma Bjelovar, Diplomski rad, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 1-40.
- x x x x x x x RRP international, Znanstvene informacije.

Summary

Soil stabilization with different materials has been applied in Croatian forest road building for many years. In the last decade an American chemical, The Reynold road packer has been used for particular terrains. Produced by Zel International Inc. Portland, Oregon, RRP uses the principle of the ion interchange of clay and loam particles, and is suitable for forest road building on extreme lowland terrains in Croatia with incoherent soils having poor bearing properties or none at all. Our experience with the chemical will be used in the research to estimate its future use in our circumstances.

Key words: forest soil stabilization, RRP soil stabilization material, forest roads.

