



## SANACIJA DEVASTIRANOG TEMELJNOG TLA ISPOD UPORNJAKA I STUPOVA NA MOSTOVIMA I NADVOŽNJACIMA, TE ULEGNU A KOLNIKA U PODRU JU NASIPA

**Alberto Pasqueto**, mag.ing,min.

**Astrid Corbato**, mag.geol.

Uretek Italia SPA, Bosco Chiasanuova, UR 37021, Italia

**Danko Seletkovi**, mag.ing.min.

Taus d.o.o., Samobor

**Sažetak:** Opisuje metodu dubokog injektiranja ekspanzijskim poliuretanskim smolama u zone oslabljenog tla ispod upornjaka ili stupa do nekoliko metara ispod dna temeljne stope, u nekoliko nivoa i faza, te plitko injektiranje u nasip ispod ulegnutog kolnika neposredno ispred upornjaka. Injektiranje se izvodi smolom URETEK Geoplus ija je kemijska reakcija kontrolirana i brza ( 6-10 sekundi ) a razvija tlakove ekspanzije i do 10 MPa. Metoda je brza i efikasna, garantirane kvalitete a postizanje potrebne vrsto e traje od nekoliko minuta do 24 sata od injektiranja.

**Ključne riječi:** poliuretanska ekspanzijska smola, injektiranje, poboljšanje karakteristika temeljnog tla

## IMPROVEMENT OF DETERIORATED FOUNDATION SOIL UNDER ABUTMENTS AND PILLARS AND DEPRESSIONS OF PAVEMENT IN THE EMBANKMENT AREA

**Abstract:** Describes a method of deep injection expansion polyurethane resin in the zone of weakened ground under the abutments or pillars to several levels and stages, and shallow injection into the embankment below the depressed pavement directly in front of the abutments. Injection is made with resin URETEK Geoplus whose chemical reaction is controlled and fast ( 6-10 seconds ) and developing expansion pressure up to 10 MPa. The method is fast and efficient, guaranteed quality and the achievement of the required strength is from several minutes to 24 hours after injection.

**Key words:** expansive polyurethane resin, injection, improvement characteristics of foundation soil



## 1. UVOD

Diferencijalna slijeganja kolnika na cestama javljaju se uglavnom zbog velike prometne opterećenosti i pogoršanja mehaničkih i hidrauličkih osobina temeljnog tla ispod upornjaka i kolničkih konstrukcija. Takovi slučajevi su se dogodili i na Željezničkom mostu pruge Ljubljana – Sežana ( Slovenija ) gdje je došlo do djelomičnog slijeganja upornjaka na površini 4,0 x 3,0 m, kao i na autocesti A1 Celje-Ljubljana ( Slovenija ) u tunelima Jasovnik i Loka gdje su betonske ploče propale uslijed pogoršanja nosivosti kolničke konstrukcije sačinjene od kamenog materijala i cementne stabilizacije. Sličan slučaj se dogodio i na cesti SP 413 Carpi-Novi (Modena, Italija ) gdje je došlo do ulaganja kolničke konstrukcije sačinjene na nasipu od kompaktne zemlje visoke plastičnosti. U ovom radu će biti opisana sva tri slučaja.

### 1.1. Podrijetlo tehnologije

Injektiranje ekspanzijskim poliuretanskim smolama započeto je još 1975. godine u Finskoj, razvojem tehnologije sve više se primjenjuje u građevinarstvu i drugim industrijskim granama. Metoda je prisutna u 80-tak zemalja u svijetu a u Hrvatskoj zadnjih osam godina.

## 2. TEHNOLOGIJA

Postupak predstavlja zbijanje tla injektiranjem poliuretanske smole visokog tlaka ekspanzije (do 10 MPa) koja poboljšava geomehanička svojstva tla. Ekspanzijske poliuretanske smole imaju neke ključne prednosti u odnosu na druge materijale u stabilizaciji temeljnog tla:

- u injektiranoj zoni smanjuju prirodnu vlažnost i upijanje vode u glinama,
- sanacija cesta se izvodi bez rušenja gornjeg ustroja,
- omogućava brzu uporabljivost i funkciju površine ili prostora ispod kojeg se injektira,
- popunjava praznine i zbijava tlo,
- poboljšava mehanička i hidraulička svojstva tla,
- omogućava niveliranje gornjeg ustroja kolnika,
- zahvat traje znatno kraće od tradicionalnih metoda,
- omogućava kontroliranje zahvata u svakoj fazi,
- omogućava minimalne zapreke za vrijeme intervencije,
- radovi se izvode u bilo koje doba godine i dana i noćno,
- ekstremno niske temperature ne utječu na karakteristike i kvalitetu izvedbe,
- značajno produžava vijek kolnika,
- smola je lagana i ne otežava tlo,
- moduli elastičnosti slični onima u tlu,
- destruiranje kolnika je minimalno, obično se radi jedna bušotina promjera do 25 mm na 1,5 m<sup>2</sup>.



### 3. REFERENCE

Neke od referentnih projekata u posljednjih godina:

- Aerodrom Brnik, Ljubljana-Slovenija
- Gorska cesta, Schwanden, Engi-Švicarska
- Autocesta u Veveyu-Švicarska
- Autobusna stajališta u Bernu-Švicarska
- Odmorišta uz autocestu u Parizu-Francuska
- Autocesta regije Sarganz u Trubbach-Švicarska
- Autocesta predjela Seelisberg-Švicarska

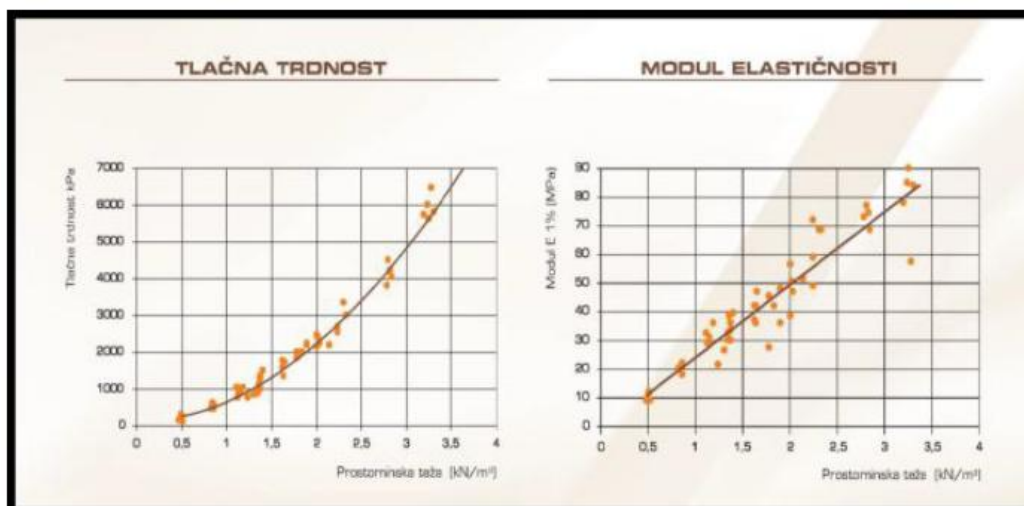
### 4. INJEKCIJSKI MATERIJAL

Poliuretanska ekpanzijska smola je dvokomponentna poliuretanska mješavina poliola i izocijanta. Mješavina u obliku otopine se injektira u tlo gdje po ne djelovati (polimerizirati) i pove avati volumen.

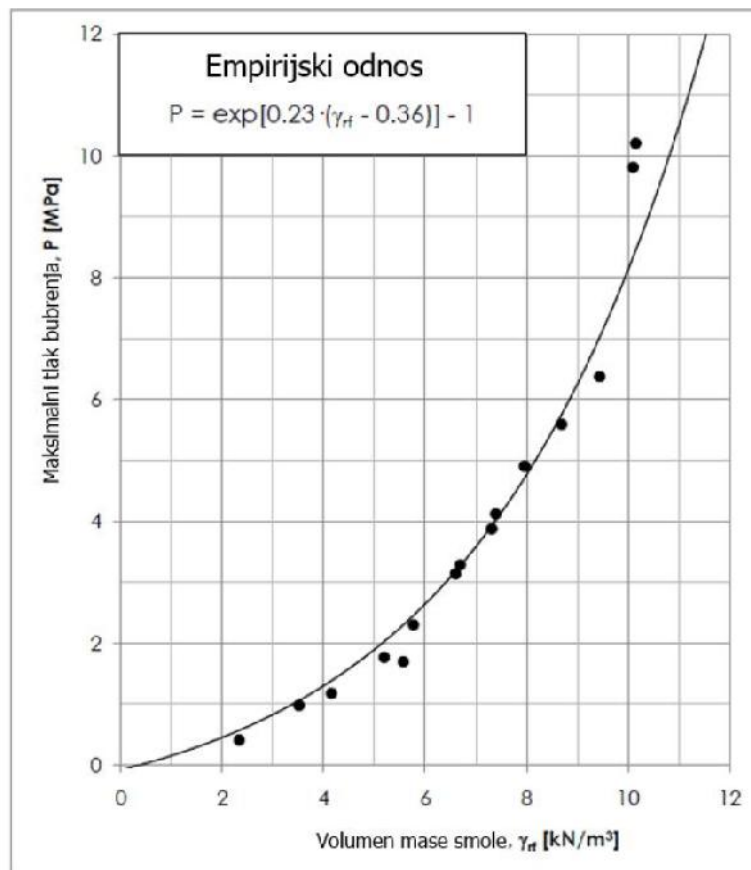
Kona na mehani ka svojstva se postižu miješanjem komponenata a sve u ovisnosti od primjene i tehnike injektiranja. Na slici 1. i 2. su prikazane tipi ne mehani ke karakteristike osnovne PU smole s visokim tlakom ekspanzije.

U na elu, što je ve i stupanj ekspanzije manja je gusto a i tla na vrsto a i obratno. Ve ina mješavina smole dosegne 95 % vrsto e u prvih 5-10 minuta, a 100 % nakon 24 sata od injektiranja. Brzina ekspanzije smole je 2 do 30 puta u odnosu na tlak od 200 kPa do 10.000 kPa. Kona ni stadij gusto e smole i tla ne vrsto e iznosi do 8.000 kPa. Gusto a mješavine u teku em, izvornom stanju je  $10,5 \text{ kN/m}^3$ , vrlo sli no gusto i vode.

Posmi na vrsto a same smole varira izme u 0,125 i 6,50 MPa, ovisno o kona noj gusto i ili stupnju bujanja.



Slika 1. Tipi ne mehani ke karakteristike osnovne PU smole visoke tla ne vrsto e



Slika 2. Osnovne mehani ke karakteristike PU smole s visokim tlakom ekspanzije

Za radove na betonskoj cesti, gdje su bili prisutne relativno male šupljine, potrebno je bilo upotrijebiti to no odre enu mješavinu smole primjerenu za blago poboljšanje tla ispod kolnika, manji tlak ekspanzije a ve a tla na vrsto a. Ovakav tip smole pogodan je za poboljšanje tla industrijskih podova i pješa kih površina. Karakteristike ovakve smole omogu uju visoki stupanj stvrdnjavanja tla i manje podizanje.

Glavne karakteristike smole koje se upotrebljavaju za radove na cestama su:

Ekspanzija u neograni enim uvjetima 7-10 puta

Po etak ekspanzije izme u 5 i 18 s

Vrijeme stvrdnjavanja izme u 22 i 150 s

Najve i tlak ekspanzije 6.000 kPa

Gusto a teku e mješavine 11,40 kN/m<sup>3</sup>

Gusto a u neograni enim uvjetima 5,70 kN/m<sup>3</sup>

Gusto a u ograni enim uvjetima 4,00 kN/m<sup>3</sup>



## 5. PRIMJERI IZ PRAKSE

### Slučaj 1.

#### Autocesta Celje – Ljubljana, (Slovenija)



Slika 3. Portal tunela Jasovnik

Zahvat je napravljen na autocesti Celje – Ljubljana u tunelima Jasovnik i Loica, gdje je nakon deset godina od izgradnje došlo do propadanja betonskih ploča kao rezultat prevelikih opterećenja na oslabljenu kolničku konstrukciju u području kamenog materijala i cementne stabilizacije. Zadatak je bio ojačati oštećenu zonu kolničke konstrukcije i poravnati gornje površine ploča na isti nivo. Investitor je imao dva rješenja:

- a. Porušiti kompletnu kolničku konstrukciju i napraviti novu uz duži prekid prometa ili
- b. Poboljšati geomehaničke karakteristike temeljne konstrukcije injektiranjem poliuretanske ekspanzijske smole u najkraćem vremenu i bez prekida prometa

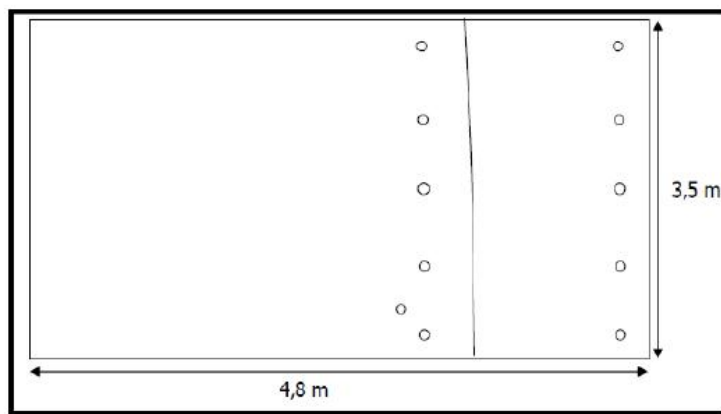
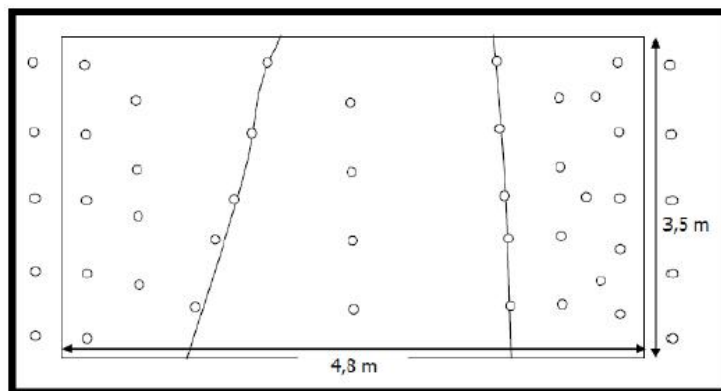
Investitor se odlučio za drugo rješenje.

Na spoju betonskih ploča pojavio se vertikalni pomak razmaka do 25 mm. Dio ploča zbog oštećene temeljne konstrukcije je utonuo ispod razine površine kolnika. Problem je nastao u zoni donjeg ustroja što je prouzročilo stvaranje šupljina neposredno ispod betonske ploče.



Slika 4. Vertikalni pomak između betonskih ploča

Prema volumenu i rasporedu oštećenja napravljen je raster za injektiranje. Bušotine promjera 14 mm i dubine od 30 do 50 cm na razmaku 30 do 150 cm, ovisno od težine oštećenja.



Slika 5. Shematski prikaz rastera za bušenje





Injektiranje je izvedeno smolom s visokim tlakom ekspanzije i brzim stvrdnjavanjem. Pripremljena je mješavina smole koja je postigla 95% svoje vrste i nakon jedne minute a potpunu vrstu u nakon 24 sata. Za vrijeme injektiranja kontinuirano se prati ravnina kolnika laserskim niveliranjem visoke preciznosti. Nakon injektiranja cijevi se režu u ravnini kolnika a ostatak ostaje u bušotini. Rupa na površini se ispuni cementnom ili epoksidnom masom.

Radovi su izvođeni u bez prekida prometa. Dnevno je sanirano 15 betonskih ploča, svaka površine 3,50m x 5,0 m (17,50 m<sup>2</sup>) ili ukupno 262,50 m<sup>2</sup>. Ukupno su radovi trajali deset dana a sanirano je ukupno 2.625,00 m<sup>2</sup> kolnika.

## Slučaj 2.

### Željeznički nadvožnjak Ljubljana – Sežana, (Slovenija)

Zahvat je izveden na željezničkom nadvožnjaku pruge Ljubljana-Sežana na dionici Borovnica-Verd.



Slika 6. Željeznički nadvožnjak

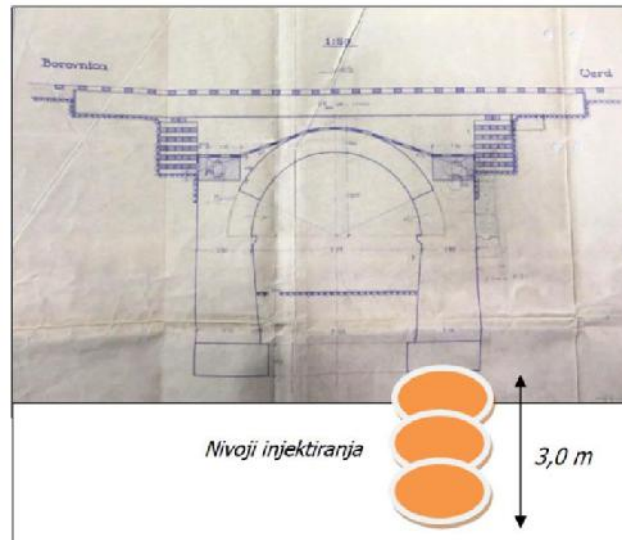
Problem je nastao pogoršanjem geomehaničkih karakteristika temeljnog tla upornjaka na površini od 12 m<sup>2</sup>.



Slika 7. Područje zahvata



Objekt je napravljen 1850. i obnovljen 1954. godine na lokaciji željezni ke pruge Km:592 + 447,84. Zadatak zahvata je poboljšanje geomehani kih i hidrauli kih karakteristika temeljnog tla ispod upornjaka. Na osnovu geomehani kog ispitivanja odre en je raster bušenja i injektiranja na razmacima 0,6 do 0,9 m. Injektiranje se izvodi metodom Deep injections do dubine 3,0 metra ispod dna temelja u tri nivoa injektiranja. Rupe za injektiranje su bušene promjerom 26 mm.



Slika 8. Presjek injektiranja u tri nivoa

Kako je podru je zahvata bilo nepristupa no za opremu, radno vozilo je dovezeno na željezni kom vagonu koji je bio udaljen 70 metara od mjesta zahvata. Sanirano je ukupno 36 m<sup>3</sup> temeljnog tla sve uz pra enje pomaka laserskim nivelirrom. Trajanje samog zahvata je bilo 2 dana.

### Slu aj 3. Magistralna cesta Carpi-Novu (Italija)

Na magistralnoj cesti Carpi-Novu ( Modena ) u dužini od 3,0 km problem je nastao slijeganjem nasipa napravljenog od konsolidirane zemlje vrlo visoke plasti nosti i deformabiliteta. Nasip je djelomino poduprt sa žmurjem. Na cijelom potezu kolnik je slegao i popucao u gornjem ustroju.



Slika 9. Slegnuta cesta Carpi-Novu na dužini 3,0 km





Cilj zahvata je poboljšati temeljno tlo ispod kolnika i poravnati površinu podizanjem cijelog gornjeg ustroja na isti nivo. Nakon što je napravljen raster bušenja i injektiranja na razmacima od 0,9 do 1,5 metara, ovisno od stupnja oštećenja, radovima su pristupile tri ekipe. Svaka od ekipa je izvodila radove na svojoj dionici i međusobno se izmjenjivala.



Slika 10. Rad sa tri ekipe na dionici Carpe-Novci

Svaka od ekipa je napravila 7 do 8 etapa dnevno.



Slika 11. Rad jedne ekipe

Geomehaničkim istraživanjem je utvrđena devastacija tla do dubine 4,0 metra. Bušotine su bušene do 4,0 metra a injektiranje je radeno stupno, zadizanjem cijevi za injektiranje.



Slika 12. Uređaj za stupno injektiranje



Radovi na 3,0 km izvedeni su u roku od 45 dana, a sanirano je oko 7.500 m<sup>2</sup> ceste. Za cijelo vrijeme radova vrlo dinamičan promet se nije prekidao a odvijao se na drugoj polovici kolnika. Gornji ustroj nije bilo potrebno rušiti.

## 6. PRIHVATLJIVOST TEHNOLOGIJE I EKOLOŠKI ZAHTJEVI

Sve intervencije su izvedene uz prethodna ispitivanja materijala na prihvatljivost primjene i ekološke standarde. Slijede a tablica navodi sve institucije koje su sudjelovale u testiranju i certificiranju uzoraka.

Tablica 1.

INSTITUCIJA	PREDMET ISTRAŽIVANJA
Institut Dr Gauer Ingenieur-GmbH, Regenstauf, Njemačka	Otpornost na ciklička dinamička opterećenja
Marco Pincelli PGM Acoustic Laboratory, Medolla Italija	Otpornost na ciklička dinamička opterećenja
Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen, Njemačka	Utjecaj na okoliš
Universita degli studi di Padova, Dipartimento di ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica IMAGE, Padova, Italija	Mehaničke karakteristike smole i utjecaj na okoliš
Le Groupe SOCOTEC, Pariz, Francuska	Valjanost izvršenih zahvata ekspanzijske PU smole
Institut za gradbene materiale Igmot d.d., Ljubljana, Slovenija	Mehaničke karakteristike smole i otpornost na kemijske utjecaje
Austrian Institute of Technology, Beč, Austrija	Ponašanje ekspanzije PU smole u glinama

## 7. ZAKLJUČAK

Na osnovu istraživanja i iskustava s poliuretanskim ekspanzijskim smolama pri sanaciji temeljnog tla ispod gornjeg ustroja cesta, dade se zaključiti opravdanost primjene u tehnički i ekonomskom smislu.

Smole imaju ogromne prednosti pred tradicionalnim metodama kao:

- sanacija cesta se izvodi bez rušenja gornjeg ustroja uz mogućnost parcijalne izvedbe,
- omogućava brzu uporabljivost i funkciju površine ili prostora ispod kojeg se injektira,



- zahvat traje znatno kraće od tradicionalnih metoda,
- omogućava minimalne zapreke za vrijeme intervencije,
- radovi se izvode u bilo koje doba godine i dana i noćno,
- ekstremno niske temperature ne utječu na karakteristike i kvalitetu izvedbe,
- znatno produžava vijek kolnika,
- smola je lagana i ne otežava tlo,
- moduli elastičnosti slični onima u tlu.

Shodno gore spomenutom postoje ogromne prednosti i moguće primjene u području održavanja cesta.

## LITERATURA

- [1] Alberto Paschetto, Astrid Corbato: Remediation of concrete pavement by injecting an expansive polyurethane resin, 2014.
- [2] Giuseppe Ricceri, Marco Favaretti: Caratterizzazioone meccanica e ambientale della miscela Uretek Geoplus. Padova:Universita degli studi di Padova, Dipartimento di ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica IMAGE , 2003.
- [3] Michael Sauerwald, Roland Weiss: chemisch/toxikologische Untersuchungen eines Zweikomponenten-Polyurethan-Systems „Geoplus A/Geoplus B“ & „Uretek Resin 2409/Hardener-10“. Gelsenkirchen: Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, 2003, 2006.
- [4] M. Schmalz: Prufbericht Nr. 7037-B1-A. Ermittlung der Produkteigenschaften von URETEK-Expansionsharzproben Dynamische Druckschwellversuche. Regenstauf: Institut Dr.-Ing. Gauer Ingenieur-GmbH, 2007.
- [5] Marco Pincelli: Prova di rigidita dinamica secondo UNI EN 29052-1 su campioni di prodotto Geoplus spessore 50 mm. Medolla: PGM Accoustic Laboratory, 2009.
- [6] Richard Niederbrucker:Injektionsversuche mit dem Harz Geoplus der firma Uretek. Dunaj: AIT Austrian Institute of Technology, 2010.
- [7] Matteo Gabassi, Alberto Paschetto, Gianluca Vinco et al.: Uretek Scientific Book [zbornik]. Verona: Uretek S.r.l., 2010.
- [8] Olga Nagli , Janez Prosen: Poro ilo o preiskavah dvokomponentne smole Uretek Idro CP 200. Ljubljana: Inštitut za gradbene materiale Igmat d.d., 2012.
- [9] Andrea Dominijanni, Mario Manassero: Consolidamento dei terreni con resine espandenti. Guida ala progettazione. Milano: McGraw-Hill Education, 2014.
- [10] Projektna dokumentacija i fotodokumentacija iz arhive Uretek Italija S.p.a., Verona, Uretek Švicarska AG, Hergiswil, Uretek Injektionstechnik GmbH, Austrija i Uretek d.o.o., Ivančna Gorica.Slovenija