Sanacija temeljnih tal cementnobetonskega vozišča z injektiranjem raztezne poliuretanske smole

Alberto Pasquetto, univ.dipl.inž.geoteh.
Astrid Corbatto, dipl.inž.geol.

Uretek d.o.o.

Povzetek

Diferencialni posedki voziščne konstrukcije se na avtocestah pojavijo predvsem zaradi prometne obremenitve ter poslabšanja mehanskih in hidravličnih lastnosti temeljnih tal. Do tega je prišlo na Avtocesti A1 Celje – Ljubljana v predorih Jasovnik in Ločica, kjer so se plošče betonskega vozišča pričele lomiti in posedati zaradi velikih prometnih obremenitev ter poslabšanja nosilnosti cementne stabilizacije pod cestiščem.

Sanacija teh poškodb je bila izvedena s tehnologijo injektiranja poliuretanske raztezne smole, ki z visokim ekspanzijskim tlakom in hitrim raztezanjem utrdi okolno zemljino in posledično tudi cestno telo brez odstranjevanja obrabne plasti.

Summary

Differential settlements of the roadway occur mainly due to traffic loads and deterioration of mechanical and hydraulic characteristics of the road foundation soil. This happened on the A1 Celje / Ljubljana motorway inside Jasovnik and Ločica tunnels where the pavement began to break and settle because of traffic loads and deterioration of the bearing capacity of the cement stabilization layer underneath the concrete slabs.

The remediation of concrete pavement instability was carried out by injecting the expansive polyurethane resin which allows the ground improvement without removing the road surface, with high expansion pressure and quick expansion time.

1 Uvod

Poseg je bil izveden na Avtocesti A1 Celje – Ljubljana, odsek Vransko – Blagovica v predorih Jasovnik in Ločica, kjer je po desetih letih od izgradnje avtoceste prišlo do obsežnih poškodb. Plošče betonskega vozišča so se zaradi velikih obremenitev pričele lomiti in posedati. Pojavili so se diferenčni posedki in razpoke posameznih cementnobetonskih plošč voziščne konstrukcije. Prišlo je do poškodb tudi na sloju cementne stabilizacije pod voziščem. Ti so znak

poslabšanja nosilnosti temeljnih tal in nosilnosti plasti zgornjega ustroja. Potrebno je bilo vzpostaviti ustrezno ravnost vozne površine in sanirati poškodbe ter s tem vzpostaviti prvotno stanje vozišča.

Slika 1: Portalno območje predora Jasovnik (vir: Uretek d.o.o.)

Slika 2: Posedek med dvema cementnobetonskima ploščama v predoru Jasovnik (vir: Astrid Corbatto)

Z namenom, da se zagotovi ustrezna varnost gradbišča in hkrati minimalizira vpliv na prometni tok, se je upravnik avtoceste odločil, da bo gradbišče odprto samo ponoči ob polni zapori ene smeri. Sanacijo plošč je bilo potrebno izvesti v najkrajšem možnem času in skupaj z ostalimi podjetji, ki so istočasno izvajala druge posege v predorih.

Investitor je izbiral med dvema možnima rešitvama:

a) porušitev in rekonstrukcija vozišča;
b) izboljšanje geomehanskih lastnosti temeljnih tal oziroma cementne stabilizacije pod cestiščem z zapolnitvijo praznin in zgostitvijo zemljine, ki sestavlja temeljna tla pod ploščami ter nivelacijo plošč.

Investitor se je odločil za drugo rešitev, torej za sanacijo cementne stabilizacije, ki jo omogoča postopek injektiranja poliuretanske raztezne smole v temeljna tla. Izbrani tehnološki postopek je omogočil zapolnitev praznin pod ploščami in hkrati izvedbo dviga in nivelacije posameznih plošč.

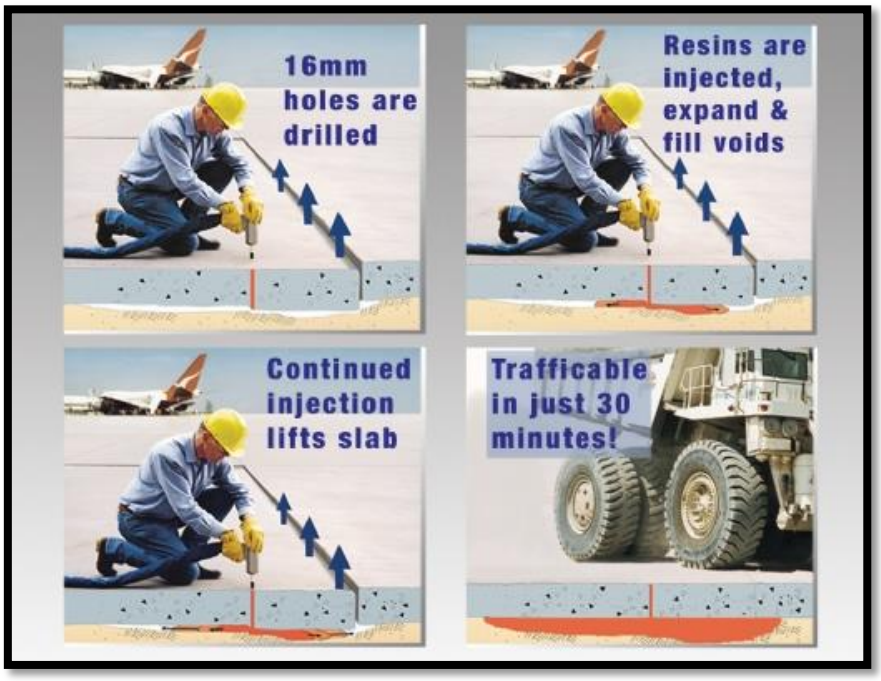
2 Izvor tehnologije

Sistem injektiranja zemljine z raztezno poliuretansko smolo je leta 1975 razvilo podjetje na Finskem. Ta tehnologija še vedno predstavlja novost na področju gradbeništva. Investicije v razvoj novih materialov na osnovi poliuretanov so omogočile njihovo široko uporabo na področju geotehnike, gradbeništva in številnih drugih panog. Tehnologija, ki se je pred več kot 35 leti uveljavila v Skandinaviji, je danes prisotna v več kot 80 državah po svetu.

3 Tehnologija

Postopek predstavlja globinsko zgoščevanje zemljine z injektiranjem poliuretanske smole z visokim ekspanzijskim tlakom v različne sloje temeljnih tal. Tovrstno injektiranje se lahko uporablja v specifičnih geomehanskih pogojih zemljine. Raztezne poliuretanske smole imajo nekatere ključne prednosti pred drugimi materiali in tehnologijami za stabiliziranje temeljnih tal.

Patentirana tehnologija rešuje težave, ki se npr. na cestah in letaliških površinah pojavijo zaradi poslabšane nosilnosti temeljnih tal in nosilnosti plasti zgornjega ustroja pod prometno obremenitvijo. Poleg tega lahko prepreči nastanek teh težav v prihodnosti, v kolikor z zapiranjem medzrnskih prostorov zmanjša naravno vlažnost zemljine ter zmanjša sposobnost ponovne absorpcije vode v glinah.



Slika 3: Shematski prikaz postopka nivelacije cementnobetonskih plošč s tehnologijo injektiranja poliuretanske raztezne smole (vir: http://www.uretek.com.au/pages/slab-lifting-slab-jacking.asp).

Tehnologija utrdi cestno telo brez odstranjevanja (zgornje) obrabne plasti z uporabo raztezne smole z visokim ekspanzijskim tlakom in hitrim raztezanjem, ki utrdi okolno zemljino. Metoda je primerna za vse vrste vozišč: gibkih, togih in poltogih. Lastnosti smole se lahko spremenijo v skladu s tehničnimi zahtevami posega.

Tehnologija je pri sanaciji vozišč med drugim učinkovita tudi zaradi tega, ker omogoča prevoznost vsaj enega voznega pasu, pri čemer promet lahko poteka izmenično enosmerno.

Tehnologija omogoča:

- zapolnitev praznin,
- zgostitev zemljine (večja odpornost in togost zemljine),
- izboljšavo mehanskih in hidravličnih lastnosti temeljnih tal voziščnega telesa,
- dvig in nivelacijo posameznih plošč.

Poleg tega:

- učinkovito reši probleme povezane s posedanjem vozišča;
- ne zahteva nikakršnih rušitvenih del;
- je hiter poseg: injektiranje z ekspanzijskimi smolami poteka bistveno hitreje kot klasična metoda porušitve in rekonstrukcije cestnega odseka;
- je varna, saj tehnologija zagotavlja kontroliran poseg v vsaki fazi izvedbe;
- omogoča minimalne cestne zapore (delna delovna zapora ali polna zapora v nočnem času);
- injektiranje je lahko omejeno na en vozni pas, pri čemer je cesta ves čas prehodna za ostale izvajalce del na gradbišču;
- delo lahko poteka v kateremkoli letnem času, ponoči ali čez dan;
- ekstremno nizke temperature ne vplivajo na možnost in kakovost izvedbe;
- odsek se lahko preda prometu eno uro po zadnji injekciji;
- invazivnost posega je neznatna (praviloma se izvede samo eno vrtino na 1,5 m^2 površine);
- bistveno podaljša življenjsko dobo vozišča;
- ponovno vzpostavi varno vozno površino.

3.1 Reference

Nekaj izbranih referenčnih projektov, ki so bili v zadnjih nekaj letih sanirani z omenjeno tehnologijo na področju prometne infrastrukture:

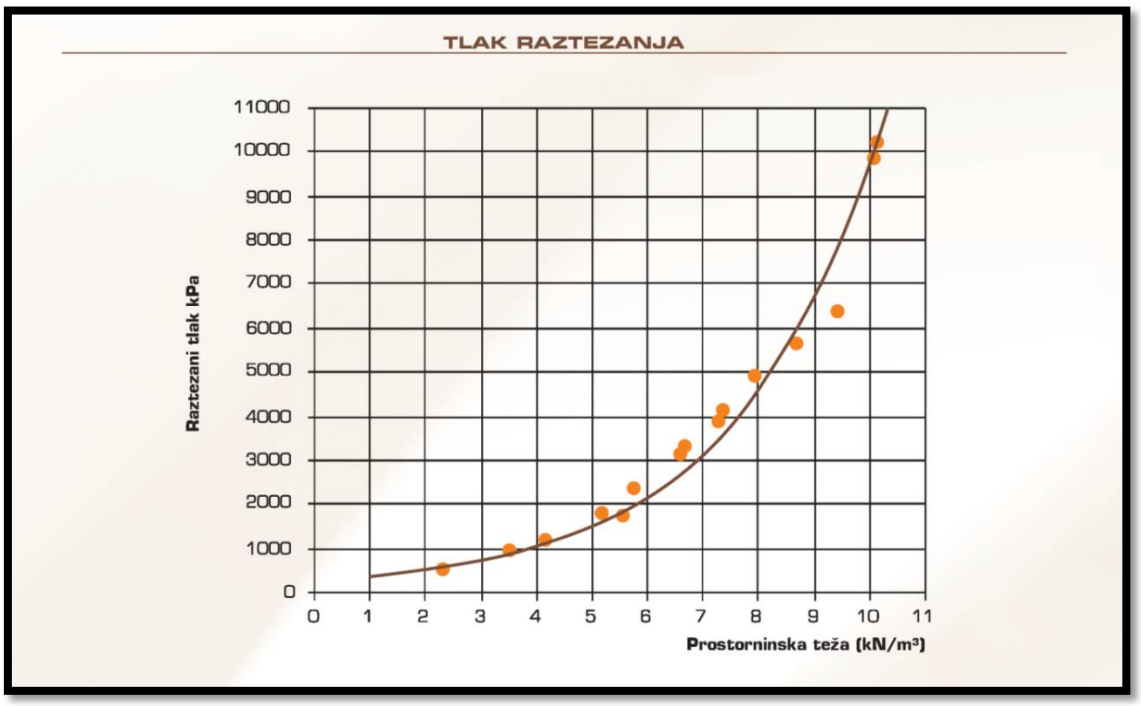
- Betonska letališka ploščad, Letališče Jožeta Pučnika Ljubljana, Brnik;

- ► Državna cesta S.P. 413 »Romana Nord«, Modena, Italija;
- ► Gorska cesta, Schwanden, Engi, Švica;
- ► Avtocesta v Veveyu, Švica;
- ► Mestna avtobusna postajališča v Bernu, Švica;
- ► Območje cestninske postaje na avtocesti pri Parizu, Francija;
- ► Avtocesta med krajema Sarganz in Trübbach, Švica;
- ► Avtocesta v predoru Seelisberg, Švica.

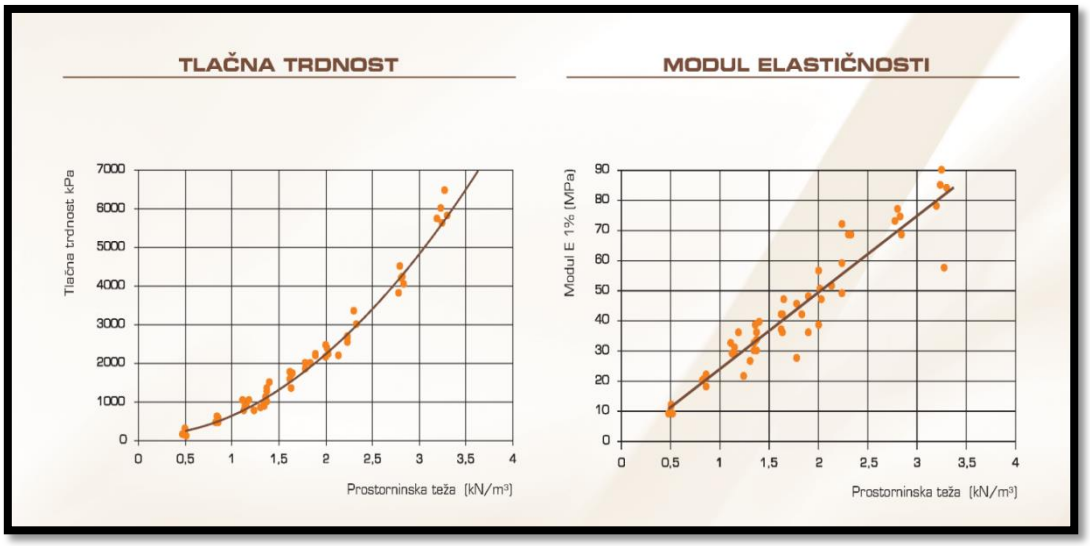
4 Injekcijski material

Poliuretanska raztezna smola je dvokomponentni poliuretanski kompozit iz poliolov in izocianatov. Mešanico kompozita se v obliki raztopine vbrizga v zemljino, kjer prične delovati (polimerizirati) in posledično povečevati svoj volumen.

Končne mehanske lastnosti vgrajene smole se dosežejo predvsem z ustreznim izborom posameznih komponent, delno pa tudi z različnimi tehnikami injektiranja. Na slikah 4 in 5 so prikazane tipične mehanske lastnosti osnovne poliuretanske raztezne smole. Pri smolah načeloma velja, da z večjo stopnjo ekspanzije dosegajo manjšo končno gostoto oziroma nižjo tlačno trdnost. In obratno. Večina mešanic doseže 95% trdnost v času 5 – 10 minut in 100% trdnost v času 24 ur. Stopnja ekspanzije osnovne smole znaša od 2-krat do 30-krat in raztezni tlak od 200 kPa do več kot 10.000 kPa. Končna stopnja gostote oziroma tlačne trdnosti pri smolah višje kvalitete znaša do 8000 kPa.



Slika 4: Tipične mehanske lastnosti osnovne PU smole z visokim razteznim tlakom (vir: Uretek d.o.o.).



Slika 5: Tipične mehanske lastnosti osnovne PU smole z visoko tlačno trdnostjo (vir: Uretek d.o.o.).

Za poseg na cemetnobetonskem vozišču, kjer so bile prisotne razmeroma majhne praznine pod voziščem, je bilo treba uporabiti poseben tip smole. Izbrana mešanica smole je primerna za izboljšanje rahlih slojev zemljine pod betonsko ali asfaltno površino. Slednja se zahteva zaradi velikih tlačnih (cikličnih) obremenitev, ki jih povzroča promet. Glavna razlika je v tem, da ima izbrana mešanica smole manjši raztezni tlak in večjo tlačno trdnost kot osnovna smola. Ta tip smole je primeren predvsem za izboljšanje temeljnih tal industrijskih ploščadi ter povoznih in pohodnih površin. Lastnosti te smole so omogočale visoko stopnjo zgostitve temeljnih tal in manjši dvig posedenih delov vozišča. Glavne lastnosti smole, ki se je uporabilo za poseg so naslednje:

Nabrekanje v neomejenih pogojih:
7 - 10 krat
Pričetek nabrekanja:
med 5" in 18"
Čas strjevanja:
med 22" in 150"
Največji nabrekalni pritisk:
6000 kPa
Gostota tekočega kompozita:
11,40 kN/m^3
Gostota v neomejenih pogojih:
5,70 kN/m^3
Gostota v omejenih pogojih:
4,00 kN/m^3

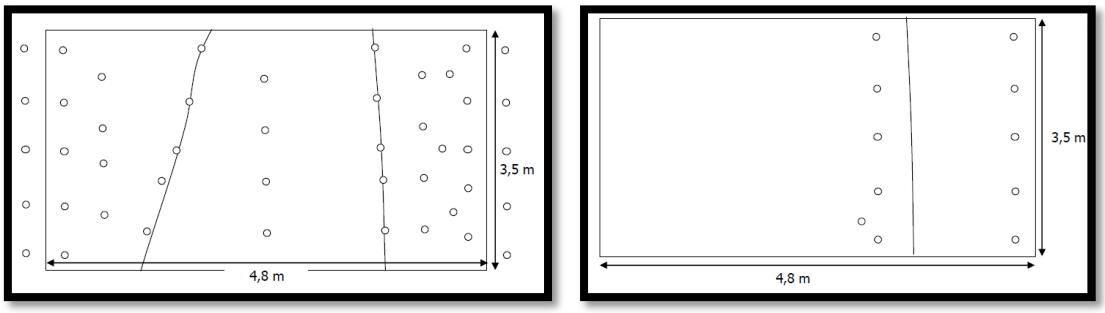
5 Podroben opis posega

Na stiku plošč so se pojavili vertikalni zamiki do 25 mm, kar pomeni, da se je posamezna plošča posedla ali dvignila glede na sosednje plošče. Poleg tega so na nekaterih ploščah nastale razpoke, ki so jasno dokazovale posedanje plošč zaradi slabih geomehanskih lastnosti tal pod njimi.

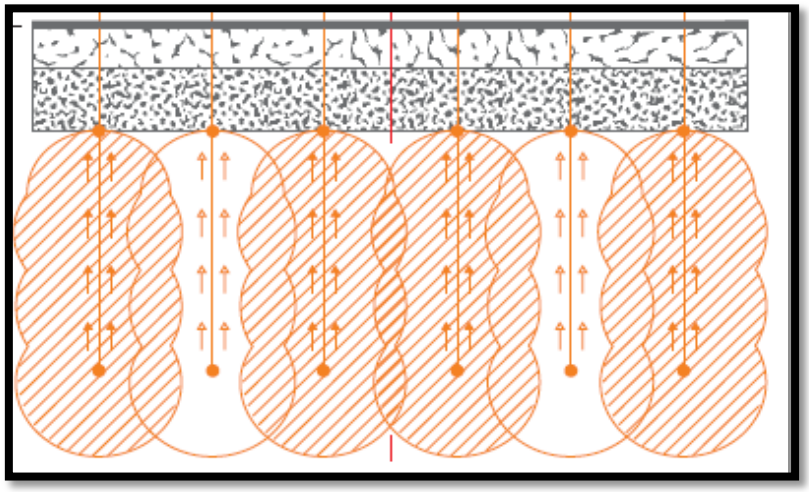
Slika 6: Izvedba vrtin pred injektiranjem poliuretanske raztezne smole v zemljino pod cementnobetonskimi ploščami (vir: Astrid Corbatto)

Pri posegu se je najprej izvedlo vrtine. Raster vrtin se je določil glede na vrsto poškodbe posamezne plošče. Vrtine se je zvrtalo

skozi zgornji ustroj ceste z udarnimi vrtalniki z energijo udarca 5 – 12 Joule-a in največjo hitrostjo udarjanja 2800 udarcev/min. Vrtine se je izvedlo na enakomernih medsebojnih razdaljah, kar omogoča enoten poseg in homogeno izboljšanje geomehanskih lastnosti temeljnih tal pod ploščami. Premer vrtin je znašal 14 mm; med seboj so bile oddaljene od 30 do 150 cm, odvisno od obsega poškodb posamezne plošče.



Slika 7: Shematski tloris cementnobetonske pošče in okvirni prikaz rastra vrtin (vir: Uretek d.o.o.).

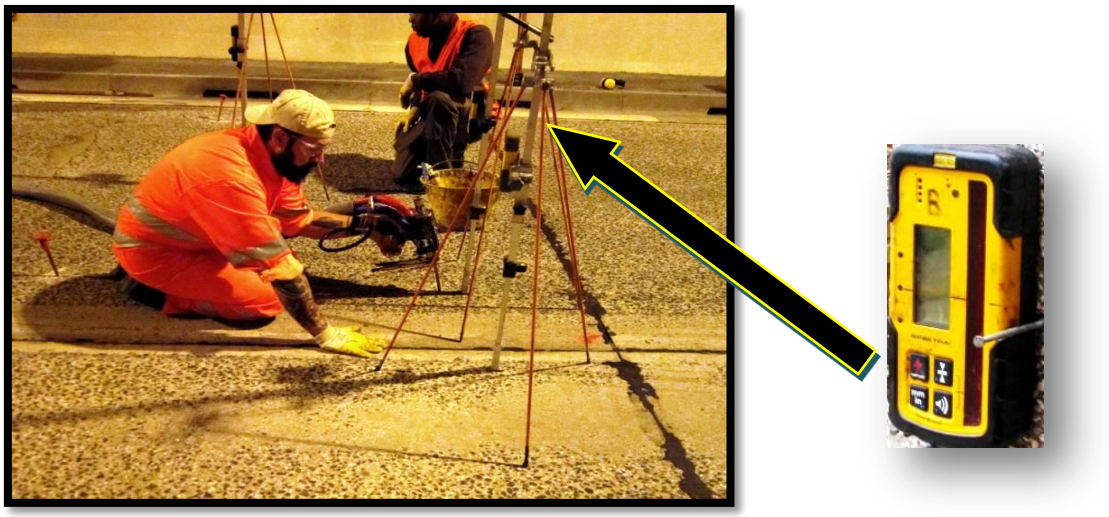


Slika 8: Shematski prerez vozišča in okoljne zemljine med injektiranjem. V oranžni je orikazana dinamika ekspanzijske smole med raztezanjem, kar omogoča utrjevanje okolne zemljine (vir: Uretek Italia s.p.a.).

Glede na predhodno izvedeno testno polje in pogoje cestišča, je bila določena globina injektiranja, ki je znašala ca. 30 – 50 cm. Injektiranje je bilo torej izvedeno v sloj cementne stabilizacije. Po izvedbi vrtin se je vanje vstavilo bakrene cevi. Skozi cevi se injektira smolo z visokim ekspanzijskim tlakom ter hitrim raztezanjem in strjevanjem. Brizganje se izvaja s posebno pištolo z mešalno komoro, ki se pritrdi direktno na bakreno injektirno cev. Ključnega pomena je izredno hitro strjevanje vgrajene mešanice, ki pridobi 95% trdnost že nekaj minut po vgradnji, 100% trdnost pa v 24 urah.

Med posegom smo beležili naslednje:

- število vrtin na vsaki plošči,
- globino vsake vrtine,
- količino porabljene smole.



Slika 9: Postopek injektiranja poliuretanske raztezne smole v zemljino pod cementnobetonskimi ploščami in nadzor dvigovanja betonskih plošč s sistemom laserskih merilnikov (vir: Astrid Corbatto)

Med injektiranjem se kontinuirano meri niveleto vozišča na območju, kjer se izvaja poseg. Pri tem uporabljamo sistem laserskih nivelirjev, ki zaznavajo premike konstrukcije z natančnostjo > 0,1 mm. Injektiranje smole se prekine takoj, ko se zazna prvi dvig plošče. Ko namreč laserska nivelirna naprava zazna minimalen dvig površine, pomeni, da je raztezna snov že utrdila teren okrog sebe in pod sabo, odpornost navzgor pa je manjša od ostalih smeri, zato pride do dviga plošče. Okolna zemljina je torej dovolj utrjena, da lahko prenaša napetosti iz zgornjih plasti.

Po končanem injektiranju se odstrani del cevi, ki se nahaja nad površino, medtem ko preostali del cevi ostane v cestnem telesu. Zgornji del vrtine se površinsko zapolni z mešanico cementne ali epoksidne malte.

5.1 Trajanje in obseg posega

Posegi z razteznimi smolami so časovno zelo učinkoviti. V danem primeru je bilo na noč saniranih povprečno 15 cementnobetonskih plošč, vsaka s površino 3,50 m x 5,00 m (17,50 m^2), kar skupaj znaša 262,50 m^2. Skupaj je bilo v 10 delovnih dneh saniranih 150 plošč oziroma 2.625,00 m^2 vozne površine.

6 Ustreznost tehnologije in ekološke zahteve

Na osnovi predhodnih preiskav in testnih posegov je bil za poseg izdelan tehnološki elaborat, ki je vseboval tudi certifikate oziroma dokazila o ustreznosti materialov. Elaborat je bil predložen v potrditev institucijam pristojnim za potrjevanje tehnologij na področju infrastrukture. Ustreznost in ekološkost tehnologije so potrdile različne institucije. V naslednji tabeli so navedene nekatere institucije, ki so testirale vzorce raztezne poliuretanske smole in preverile ustreznost posegov izvedenih s tem materialom. Na osnovi preiskav so podale poročila oziroma potrdila institucije, ki so navedene v **tabeli 1**.

INSTITUCIJA	PREDMET PREISKAVE
Institut Dr.-Ing. Gauer Ingenieur-GmBH, Regenstauf, Nemčija	Odpornost na ciklične dinamične obremenitve
Marco Pincelli PGM Accoustic Laboratory, Medolla, Italija	Odpornost na ciklične dinamične obremenitve
Inštitut Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen, Nemčija	Okoljska ustreznost

INSTITUCIJA	PREDMET PREISKAVE
Univerza v Padovi Università degli studi di Padova, Dipartimento di ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica IMAGE, Padova, Italija	Mehanske lastnosti in okoljska ustreznost
Skupina SOCOTEC, Pariz, Francija	Validacija izvršenih posegov z raztezno PU smolo
Inštitut za gradbene materiale Igmat d.d., Ljubljana	Mehanske lastnosti in odpornost na kemijske vplive
Austrian Institute of Technology, Dunaj, Avstrija	Obnašanje raztezne PU smole v glini

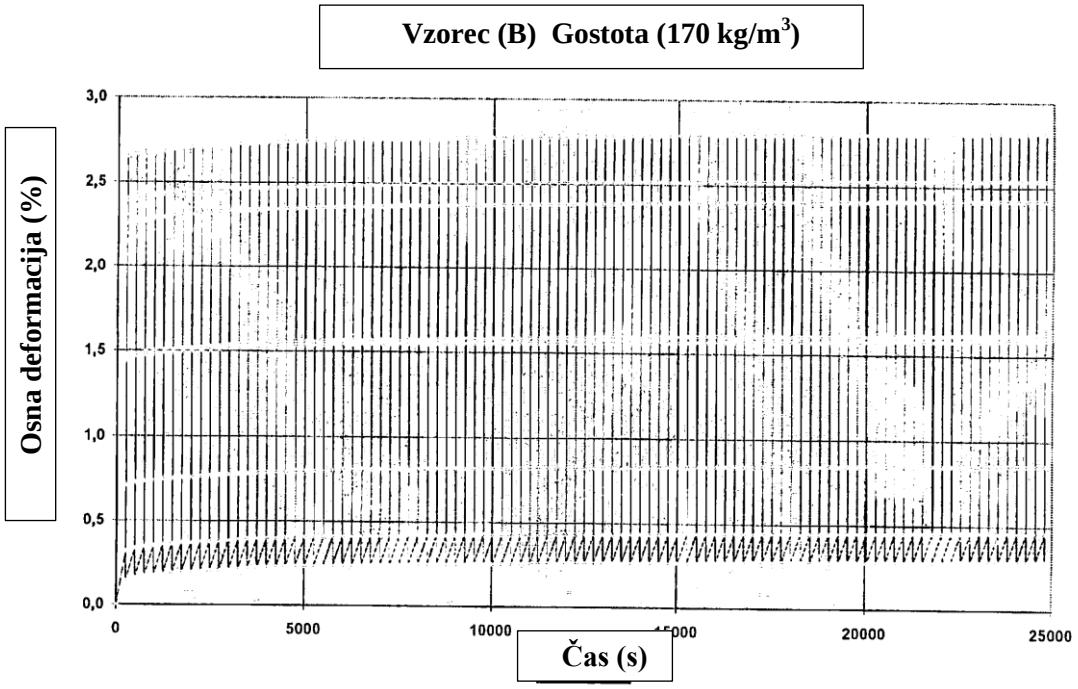
Tabela 1: Nekatere evropske institucije, ki sodelujejo pri preiskavah in razvoju raztezne poliuretanske (PU) smole za geotehnične namene (vir: Uretek d.o.o.).

V nadaljevanju so podrobneje predstavljene preiskave, ki so bile izvedene na Univerzi v Padovi (Italija) leta 2003.

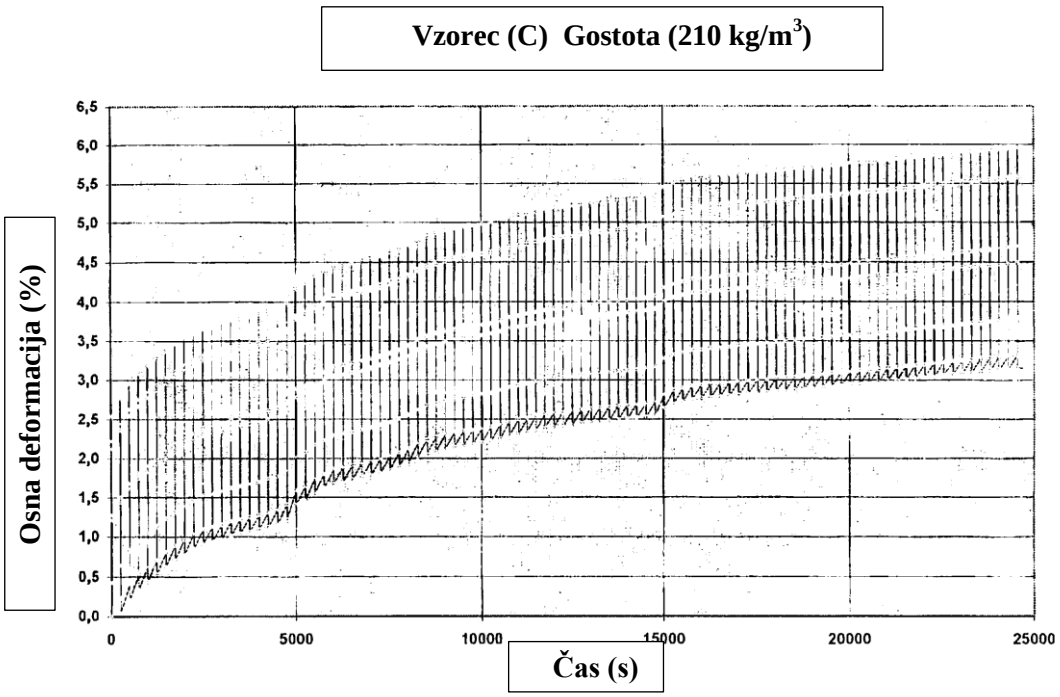
7 Laboratorijske preiskave dinamičnih karakteristik smole opravljene na univerzi v Padovi

Leta 2003 so bile na Univerzi v Padovi izvedene laboratorijske preiskave za preverjanje odziva poliuretanske raztezne smole na dinamično obremenitev. Z napravo »2 HZ Triaxial Testing System – GDS Instruments Limited« so bile izvedene triosne ciklične tlačne obremenitve na vzorcih smole različnih gostot (100, 170, 210 kg/m^3).

Na vsakem vzorcu se je izvedlo dinamične obremenitve z naraščajočo amplitudo v vertikalni smeri in brez prisotnosti bočnih pritiskov, s čimer se je simuliralo napetostne pogoje blizu površja. Naprava je omogočila izvedbo dinamičnega cikličnega obremenjevanja s frekvenco 2 Hz in skupnim številom ciklusov 50 000. V **slikah 10 in 11** je razviden odziv smole z gostoto 170 kg/m^3 in smole z gostoto 210 kg/m^3 med opisanim cikličnim obremenjevanjem.



Slika 10: Rezultat triosne ciklične tlačne obremenitve na vzorcih smole z gostoto 170kg/m^3 s preiskavo na napravi »2 HZ Triaxial Testing System – GDS Instruments Limited«.



Slika 11: Rezultat triosne ciklične tlačne obremenitve na vzorcih smole z gostoto 170kg/m^3 s preiskavo na napravi »2 HZ Triaxial Testing System – GDS Instruments Limited«.

Na koncu preiskave je bilo mogoče izračunati modul elastičnosti, ki ovrednoti odpornost vsakega vzorca smole. Modul elastičnosti je izražen, kot razmerje med spremembo vertikalne napetosti $\Delta\sigma$ in pripadajočo spremembo vertikalne deformacije $\Delta\varepsilon$, ki sta izmerjeni v območju elastične (povratne) deformacije.

Modul elastičnosti smole z gostoto 170 kg/m^3 je 55 MPa, medtem, ko je bil za smolo z gostoto 210 kg/m^3 modul elastičnosti izvrednoten na vrednost 70 MPa.

Iz te preiskave lahko ugotovimo, da so smole z večjo gostoto bolj toge od tistih z manjšo gostoto.

8 Periodične kontrole izvršenega posega

Poseg na avtocesti je bil izveden v juniju 2013. V oktobru 2014 je bilo s pregledom ugotovljeno, da je stanje vozišča po posegu ostalo nespremenjeno: plošče so stabilne in ni na novo nastalih razpok. Stanje vozišča se kontrolira s periodičnimi pregledi. Upravljavec avtoceste je odločil, da se bodo periodični pregledi vozišča izvajali enkrat letno.

Na osnovi številnih izkušenj se pričakuje, da bo ta poseg podaljšal življenjsko dobo vozišča za več let, pa tudi vožnja skozi predore bo varnejša.

Viri in literatura

Giuseppe Ricceri, Marco Favaretti: *Caratterizzazione meccanica e ambientale della miscela Uretek Geoplus.* Padova: Università degli studi di Padova, Dipartimento di ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica IMAGE, 2003.

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.

M. Schmalz: *Prüfbericht Nr. 7037-B1-A. Ermittlung der Produkteigenschaften von URETEK-Expansionsharzproben Dynamische Druckschwellversuche.* Regenstauf: Institut Dr.-Ing. Gauer Ingenieur-GmBH, 2007.

Marco Pincelli: *Prova di rigidità dinamica secondo UNI EN 29052-1 su campioni di prodotto Geoplus spessore 50 mm.* Medolla: PGM Accoustic Laboratory, 2009.

Richard Niederbrucker: *Injektionsversuche mit dem Harz Geoplus® der firma Uretek.* Dunaj: AIT Austrian Institute of Technology, 2010.

Matteo Gabassi, Alberto Pasquetto, Gianluca Vinco et al.: *Uretek Scientific Book* [zbornik]. Verona: Uretek S.r.l., 2010.

Olga Naglič, Janez Prosen: *Poročilo o preiskavah dvokomponentne smole Uretek Idro CP 200.* Ljubljana: Inštitut za gradbene materiale Igmat d.d., 2012.

Andrea Dominijanni, Mario Manassero: *Consolidamento dei terreni con resine espandenti. Guida alla progettazione.* Milano: McGraw-Hill Education, 2014.

Projektna dokumentacija in fotodokumentacija iz arhivov podjetij Uretek Italia S.p.a., Verona, Uretek Schweiz AG, Hergiswil, Uretek Injektionstechnik GmbH, Dunaj, in Uretek d.o.o., Ivančna Gorica.