

Primljen / Received: 11.8.2014.  
 Ispravljen / Corrected: 24.11.2014.  
 Prihvaćen / Accepted: 30.11.2014.

Dostupno online / Available online: 10.12.2014.

# Sanacija klizišta na željezničkoj pruzi između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje

## Autori:



**Dalibor Udovič**, mag.ing.aedif.  
 Monterra d.o.o., Rijeka  
[dalibor.udovic@monterra.hr](mailto:dalibor.udovic@monterra.hr)



**Mario Bačić**, mag.ing.aedif.  
 Sveučilište u Zagrebu  
 Građevinski fakultet  
[mbacic@grad.hr](mailto:mbacic@grad.hr)



Prof.dr.sc. **Meho Saša Kovačević**, dipl.ing.građ.  
 Sveučilište u Zagrebu  
 Građevinski fakultet  
[msk@grad.hr](mailto:msk@grad.hr)

Stručni rad

**Dalibor Udovič, Mario Bačić, Meho Saša Kovačević**

## Sanacija klizišta na željezničkoj pruzi između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje

Nedugo nakon izgradnje dionice željezničke pruge M202 Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka (1963.), između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje, pojavila su se klizišta koja su tijekom godina šticeena različitim lokalnim mjerama sanacije. S obzirom na to da su se klizanja intezivirala početkom 2013. godine uslijed povećanih oborina, nužno je bilo brzo djelovati da se ne bi ugrozila funkcionalnost i sigurnost te dionice i građevina na platou iznad usjeka. U radu su stoga kronološki prikazane faze sanacije klizišta, počevši od provođenja istražnih radova, izrade projektne dokumentacije te same izvedbe.

### Ključne riječi:

klizište, sanacija, pruga M202 Zagreb GK – Rijeka, armirano tlo, zamjena materijala

Professional paper

**Dalibor Udovič, Mario Bačić, Meho Saša Kovačević**

## Remediation of landslides on railway line between Karlovac and Mrzlo Polje stations

A number of landslides occurred soon after construction (in 1963) of the section of the railway line M202 Zagreb Main Station – Rijeka, between Karlovac and Mrzlo Polje Stations. These landslides have been protected using various local remediation measures. As the sliding intensified in early 2013 due to increased precipitation, quick action was needed to preserve the functionality and safety of the railway section and the structures on the platform above the cutting. This paper therefore chronologically presents landslide remediation phases, starting from investigation works, design preparation, and construction work.

### Key words:

landslide, remediation, railway line M202 Zagreb GK-Rijeka, reinforced soil, material replacement

Fachbericht

**Dalibor Udovič, Mario Bačić, Meho Saša Kovačević**

## Erdbehebungsarbeiten auf der Bahnlinie zwischen den Stationen Karlovac und Mrzlo Polje

Kurz nach dem Bau des Bahnabschnitts (im Jahre 1963) Polje der Linie M202 Zagreb Hauptbahnhof–Rijeka ist zwischen den Stationen Karlovac und Mrzlo eine Reihe von Erdbehebungen aufgetreten, die im Laufe der Zeit durch verschiedene lokale Eingriffe saniert wurden. Da sich seit Anfang des Jahres 2013, aufgrund erhöhter Niederschläge, die Erdbehebungsgefahr intensiviert hat, sind prompte Eingriffe notwendig, um die Funktionalität und Sicherheit des Abschnitts und der Objekte, die sich auf dem Plateau über dem Einschnitt befinden, nicht zu gefährden. In dieser Arbeit werden die Phasen der Erdbehebungsarbeiten, einschließlich Forschungsarbeiten, Erstellung der Projektdokumentation und Ausführung, chronologisch dargestellt.

### Schlüsselwörter:

Erdbehebungsarbeiten, Sanierung, Bahnlinie M202 Zagreb GK – Rijeka, bewehrter Boden, Materialersetzung

## 1. Uvod

Na željezničkoj pruzi M202, Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka, počela se 1963. godine graditi nova dionica u dužini otprilike tri kilometra između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje. Razlog je bio taj što je trebalo izbjeći veći broj križanja željezničke pruge s cestom te dobiti bolje vozne parametre pruge na toj dionici.

Međutim, već nedugo nakon izgradnje, na najvećem dijelu dionice su se pojavila klizanja na pokosima usjeka. Tako je već osam godina nakon izgradnje pruge, 1975. godine, na pet lokacija izvedena sanacija AB pilotima i montažnim zidovima. Na drugih pet lokacija na toj dionici, gdje su se klizanja naknadno počela pojavljivati, izvedene su privremene mjere sanacije odvoženjem temeljnog tla te izradom privremenog zaštitnog zida od tračnica i drvenih pragova. Te lokalne mjere sanacije prikazane su na slici 1.

S obzirom na to da su zbog dotrajalosti privremenih rješenja zaštite bili ugroženi sigurnosni i funkcionalni aspekti pruge, a uzimajući u obzir i činjenicu da na velikom dijelu gornjeg platoa usjeka postoje privatne građevine čija je stabilnost bila bitno

ugrožena klizanjem temeljnog tla, investitor tvrtka Hrvatske Željeznice d.o.o. angažirala je tvrtku Geoekspert d.o.o. za provedbu laboratorijskih i terenskih istražnih radova [1] te izradu idejnog projekta sanacije [2]. Navedeni posao je završen u studenom 2010. Krajem 2011. izrađen je projektni zadatak za izradu izvedbenog projekta sanacije klizišta. Za izradu projekta je izabran Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

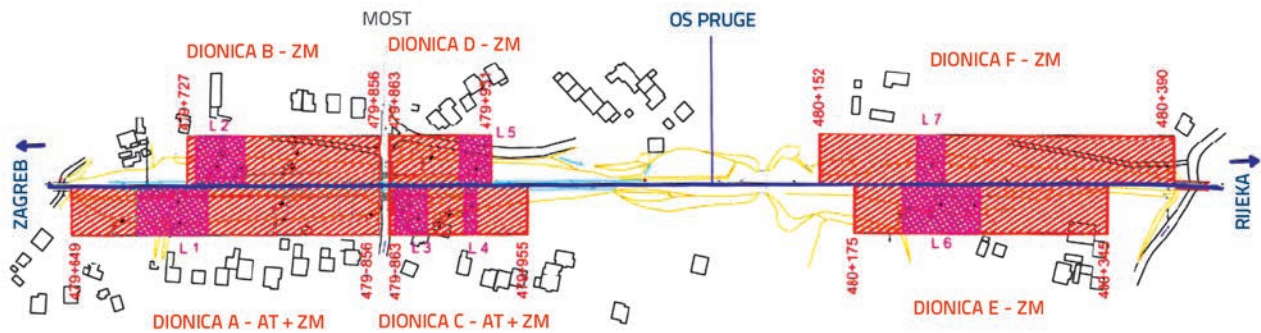
Međutim, prije izrade izvedbene projektne dokumentacije, početkom 2013. godine, klizanja su se intezivirala do te mjere da je funkcionalnost i sigurnost ove dionice i građevina na platou iznad usjeka bila ozbiljno ugrožena. Pokreti kliznog tijela su se povećali uslijed perioda znatnih oborina, kiše i snijega. Kombinacija intezivnih oborina zajedno s prihranjivanjem površinskog sloja otpadnim vodama iz okolnih stambenih zgrada, smještenih nedaleko krune pokosa, rezultirala su potrebom za hitnim rješenjem sanacije. Na slici 2.a je prikazan u potpunosti deformiran montažni betonski zid. Da bi se privremeno spriječile daljnje deformacije, improvizirane su razne mjere zaštite kao one prikazane na slici 2.b gdje je zabijeno 8 tračnica s koso postavljenim poduporama.



Slika 1. Sanacija klizanja tla: a) montažnim betonskim zidom; b) zidom od zabijenih tračnica i drvenih pragova



Slika 2. Deformacija primijenjenih mjera sanacije pokosa: a) deformiran montažni betonski zid; b) improvizirane mjere zaštite pokosa



Slika 3. Situacija radova sanacije (AT – armirano tlo; ZM – zamjena materijala)

Tablica 1. Usporedba radova sanacije predviđenih idejnim projektom i izvedenih u skladu s izvedbenim projektom

	Idejni projekt			Glavni / izvedbeni projekt			
	Stacionaža [km]	Lokacija	Duljina [m]	Stacionaža (km)	Duljina [m]	Knjiga [dionica]	
STRANA (prema porastu stacionaže)	D	479+693 do 479+740	L1	47	479+649 do 479+856	207	1 [A]
	L	479+733 do 479+765	L2	32	479+727 do 479+856	129	2 [B]
	D	479+867 do 479+888	L3	21	479+863 do 479+955	92	3 [C]
		479+914 do 479+921	L4	7			
	L	479+910 do 479+931	L5	21	479+863 do 479+931	68	4 [D]
	D	480+210 do 480+260	L6	50	480+175 do 480+345	170	5 [E]
	L	480+220 do 480+235	L7	15	480+152 do 480+390	238	6 [F]
			Σ 193		Σ 904		

Utjecaj klimatskih promjena na klizišta, kao što je slučaj i na predmetnoj dionici, vrlo je aktualna problematika kojom se bave brojna istraživanja na europskoj i svjetskoj razini. Primjerice, COST (European Cooperation in Science and Technology) Akcija TU1202 pod nazivom *Impact of climate change on engineered slopes for infrastructure* ističe hitnu potrebu za procjenu opasnosti od klimatskih promjena na prometnu infrastrukturu kao i potrebu za planiranjem mjera koje će povećati sigurnost i smanjiti troškove sanacije.

Shvaćajući ozbiljnost novonastale situacije, Građevinski fakultet je u dogovoru s investitorom izradu izvedbene dokumentacije podijelio u više faza [3-8], kako bi se nakon određene faze projektiranja već mogli početi izvoditi radovi te faze. Tako su se paralelno provodile faze izvedbe tekuće faze i projektiranja sljedeće faze. Izvoditelj radova bila je tvrtka Monterra d.o.o. iz Rijeke.

Već u idejnom projektu je zahvat podijeljen na više dionica, za koje je nužno bilo provesti mjere sanacija pokosa. Međutim, uslijed djelovanja oborina došlo je do klizanja na znatno većem dijelu nego što je to predviđeno idejnim projektom. Također su, prethodno fazi projektiranja izvedbenog projekta, provedeni i dodatni detaljni inženjerskogeološki radovi, a prema rezultatima tog istraživanja nestabilnosti definirane prethodnim istraživanjima bitno su napredovale i uočene su nove nestabilnosti tijela pokosa. Stoga su se i dionice, tj.

zahvati sanacije, označene kao nestabilne u idejnom projektu proširile prema dogovoru s investitorom. Na slici 3. prikazana je situacija proširenih dionica, dok je u tablici 1. dana usporedba dionica sanacije predviđenih idejnim projektom i dionica sanacije obuhvaćenih izvedbenim projektom. U trenutku izrade ovog rada, izvedena je sanacija klizišta na dionicama A, B, C i D, dok je u planu izvedba sanacije i preostale dvije dionice za koje je izrađena projektna dokumentacija.

U radu će se prikazati osnovne faze navedenog zahvata, od provođenja istražnih radova i izrade projektne dokumentacije za sve dionice te izvedbe radova sanacije na dionicama A, B, C i D.

## 2. Provedeni istražni radovi

Istražni radovi su obuhvatili vizualni pregled terena, terensku izvedbu bušotinskih radova, piezometrijskih mjerenja, inklinometrijskih mjerenja te provedbu laboratorijskih pokusa. Rezultati istražnih radova su obuhvaćeni elaboratom [2]. Naknadno su provedeni dodatni inženjerskogeološki radovi, izvedene su dodatne dvije bušotine i provedeni su na uzorcima laboratorijski pokusi [9]. Na temelju svega toga, formirali su se inženjerskogeološki profili s određenim fizikalno-mehaničkim karakteristikama materijala, nužni za fazu projektiranja.



## 2.1. Vizualni pregled klizišta i postojećih mjera sanacije

Na dionici A (desna strana, prije mosta, slika 3.) vizualno su vidljive aktivne zone približne širine oko 20 m, kao i prisutnost vlačnih pukotina u dijelu iza čela kliznog tijela. U nožici klizišta na dionici A izvedena je privremena zaštitna betonska roštiljna konstrukcija, koja je bila nedovoljna za trajniju stabilizaciju, jer je u nekoliko navrata, što je i zabilježeno tijekom oskultacije, došlo do pokretanja materijala iz kliznog tijela sve do odvodnog kanala. Nasuprot dionici A nalazi se dionica B (lijeva strana, prije mosta, slika 3.). Upravo se prva opažena klizišta nalaze na ovom dijelu pruge, te je ovdje primijenjena i prva privremena zaštitna konstrukcija koja se sastojala od sustava zabijenih tračnica (I-profila) i drvenih pragova (tip berlinskog ziđa). Ta konstrukcija je relativno dobro zaustavila klizanje koje nije dostiglo intenzitet kao na dionici A. Na desnoj strani, nakon mosta (dionica C), također su vizualno vidljive aktivne zone klizanja nešto veće širine, oko 30 m. U nožici klizišta izvedena je privremena zaštitna konstrukcija od čeličnih tračnica i drvenih pragova, koja također nije dovoljna za trajniju stabilizaciju. Privremena zaštitna konstrukcija koja se na početnom dijelu usjeka dionice D sastoji od sustava zabijenih tračnica (I-profila) i drvenih pragova (tip berlinskog ziđa), a kasnije se nastavlja kao betonska ograda, relativno je dobro zaustavila klizanje koje nije dostiglo intenzitet kao na susjednim dionicama, ali je svejedno ocijenjena nedovoljnom za trajnu stabilizaciju pokosa. Na gornjem platou usjeka iznad dionice D se nalazi javna cesta (Ulica Galović brdo) iza koje se nalaze privatni objekti, čija je stabilnost ugrožena klizanjem temeljnog tla. Na dionicama E i F nisu registrirane nikakve mjere zaštite od klizanja.

Prema tipu klizanja može se reći da se radi o potencijalno višestruko retrogresivnom klizanju, koje nastaje ponavljanjem više individualnih relativno tankih-plitkih kliznih površina, odnosno zona smicanja. Treba napomenuti da su intezivna klizanja na predmetnoj lokaciji posljedica povećanih oborina i prihranjivanja otpadnih voda.

## 2.2. Terenski i laboratorijski istražni radovi

U tablici 2. prikazan je pregled terenskih istražnih radova po pojedinoj dionici.

Inklinometarski radovi provedeni 2010. godine upozorili su na činjenicu da su klizišta konstantno aktivna. Pomaci (iako nešto manji) uočeni su i na dijelovima klizišta koja su se smatrala trajno saniranim. Klizne plohe su relativno plitke, između 1 do 3 m dubine na cijeloj predmetnoj dionici što odgovara ostalim lokacijama predmetnog klizišta s istim tlom, kao i rezultatima laboratorijskih ispitivanja (sloj tla s najvećom granicom tečenja i malim indeksom konzistencije).

Tijekom bušenja je izvršena terenska klasifikacija, fotografirane su izbušene jezgre te su odabrani uzorci za laboratorijska ispitivanja. U sklopu laboratorijskih ispitivanja provedeni su sljedeći pokusi: identifikacijski pokusi u svrhu određivanja općih svojstava - suha gustoća, gustoća čvrstih čestica, prirodna količina vlage, granice tečenja, granice plastičnosti i indeksa plastičnosti, granulometrijski sastav te pokusi u svrhu određivanja posmične i jednoosne tlačne čvrstoće i ispitivanje stišljivosti u edometru. Pojava podzemne vode je registrirana u piezometrima na dionicama A i B (dionice prije mosta) i to relativno duboko, na približno 8 do 9,5 m, u prašinasto-pjeskovito-šljunkovitim materijalima u podlozi. Ustaljeni nivo podzemne vode kod piezometara na ostalim lokacijama nije zabilježen na dohvatnoj dubini, iako su piezometri završili u istoj vrsti tla kao i na dionicama A i B. Uzimajući u obzir širu situaciju, pojava podzemne vode je očekivana na nešto većim dubinama. Kako nije uočeno podizanje razine podzemne vode iznad one u očekivanom vodonosniku, pretpostavlja se da na lokaciji nije prisutna voda pod pritiskom subarteškog karaktera.

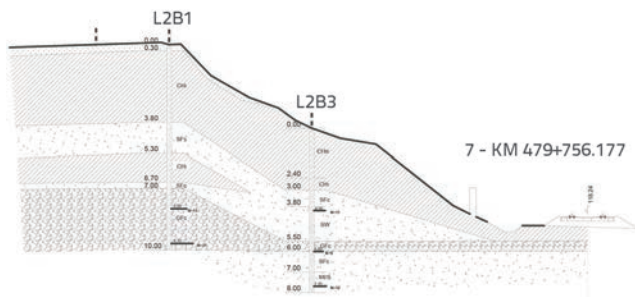
Na temelju provedenih istražnih radova uočilo se da je sastav tla na dionici pruge na kojoj se planira sanacija približno ujednačenog sastava duž cijelog poteza pruge. Ispod sloja humusa, debljine 20 do 30 cm, prostiru se slojevi visokoplastičnih glina, mjestimice prahovitih, teško gnječive konzistencije. Debljina tog sloja gline varira po pojedinim dijelovima. Tako na dionici A (desno, prije mosta) sloj gline na vrhu usjeka iznosi oko 5 do 8

Tablica 2. Pregled terenskih istražnih radova po dionicama

		Broj bušotina / idejni (izvedbeni)	m' bušenja / idejni (izvedbeni)	Piezometri / idejni	Inklinometri / idejni
DIONICA	A	5	50	1 x 10 m	2 x 8 m
	B	5 (1)	46 (20)	1 x 10 m	2 x 8 m
	C	5	48	2 x 10 m	2 x 8 m 1 x 12 m
	D	2 (1)	18 (20)	1 x 10 m	1 x 8 m
	E	3	26	1 x 10 m	1 x 8 m
	F	1	8	-	1 x 8 m
		Σ 23	Σ 236		

m, te se smanjuje padom visine usjeka (isklinjava). Na dionici B (lijevo, prije mosta) taj sloj gline ima debljinu približno 3 do 5 m, na dionici C (desno, nakon mosta) iznosi cca. 3 do 6 m, dok na dionici D (lijevo, nakon mosta) ima debljinu otprilike 4 do 6 m. Na višim stacionažama pruge, na dionicama E (desno) i F (lijevo) debljina sloja gline na vrhu usjeka iznosi oko 4 do 6 m, te se također smanjuje padom visine usjeka.

Ispod spomenutog sloja gline izmjenjuju se slojevi sitnozrnih zbijenih šljunaka s prekomjernom količinom praha ili gline, sa slojevima zbijenih pijesaka, također s prekomjernom količinom praha ili gline, a mjestimično (dionica D) se pojavljuju i tanji proslojci opisanih glina. Na slici 4. prikazan je karakteristični inženjerskogeološki profil za dionicu B.



Slika 4. Karakteristični inženjerskogeološki profil za dionicu B

### 3. Projektiranje sanacije klizišta

Projekt sanacije klizišta na predmetnoj lokaciji [3-8] izrađen je na razini glavnog i izvedbenog projekta, a kao podloga su poslužili rezultati istražnih radova [1, 9] i idejni projekt sanacije [2].

U idejnom projektu [2] su analizirana tri varijantna rješenja sanacije nestabilnih zona usjeka, od kojih je kao optimalno rješenje odabrana zamjena postojećeg materijala novim, kamenim materijalom. Takvo rješenje se odnosilo na sve dionice na kojima se planirala sanacija. Međutim, prije izrade izvedbene projektne dokumentacije, investitor je dao naputak prema kojemu je zahvat sanacije potrebno obaviti unutar područja u koje ne zadiru postojeći podzemni TD i PNK kabeli te signalno-telekomunikacijski (STKA) kabeli. S obzirom na to da su u određenim presjecima sanacije, definiranim u idejnom projektu, takvi kabeli bili unutar analiziranih poprečnih presjeka, trebalo je provesti nove proračune uzimajući u obzir navedeni investitorov naputak. Također treba napomenuti da su sve analize provedene u skladu sa smjernicama iz Eurokoda 7, što nije obavljeno u idejnom projektu. U skladu sa smjernicama u normama za projektiranje geotehničkih konstrukcija HRN EN 1997-1:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila [10], te nacionalnog dodatka prethodnoj normi HRN EN 1997-1:2012/NA:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila - Nacionalni dodatak [11], izvršen je odabir karakterističnih i proračunskih vrijednosti geomehaničkih parametara prema projektnom pristupu 3.

Na dionici A, na desnoj strani pruge prije mosta, kao optimalno rješenje sanacije nestabilnosti pokosa usjeka odabrana je kombinirana izvedba zida od armiranog tla u donjem dijelu

i kamenog nasipa u gornjem dijelu uz osiguranje adekvatne odvodnje oborinske i druge vode, slika 6. Zid od armiranog tla čini sklop modularnih blokova, geomreža i slojeva od kamenog materijala. Isto rješenje sanacije je primijenjeno i na desnoj strani nakon mosta, na dionici C. Na dijelu ove dionice, u idejnom projektu označenom s L3 i L4, prethodno je predviđena kombinirana izvedba pilotne stijene (promjera pilota 40 cm uz razmak pilota od 1,2 m) na vrhu pokosa i zamjene materijala. Razmatrajući situaciju na terenu, izvedba pilotne stijene s krune pokosa vrlo je otežana zbog ograničenog pristupa teškoj mehanizaciji na privatnu česticu te je i to dodatni razlog odabira rješenja s izvedbom zida od armiranog tla i zamjene kamenim nasipom.

Na ostalim dijelovima sanacija je provedena (dionice B i D) ili se planira provesti (dionice E i F) zamjenom materijala kako je i predviđeno idejnim projektom. Međutim, rješenje je (slika 8.) prilagođeno novim geotehničkim proračunima, planiranoj tehničkoj izvedbi rješenja, i budućem projektu obnavljanja gornjeg ustroja pruge (planiranje drenaže koja bi se uklopila u sustav drenaže kanalica po projektu obnove gornjeg ustroja) "Nova dvokolosiječna željeznička pruga M202 za mješoviti promet Goljak - Karlovac - Skradnik".

Kontrola graničnih stanja nosivosti geotehničke konstrukcije, odnosno zahvata, obavljena je primjenom metode granične ravnoteže, u programu GeoStudio-Slope/W 2007 [12].

#### 3.1. Projektiranje sanacije izvedbom zida od armiranog tla

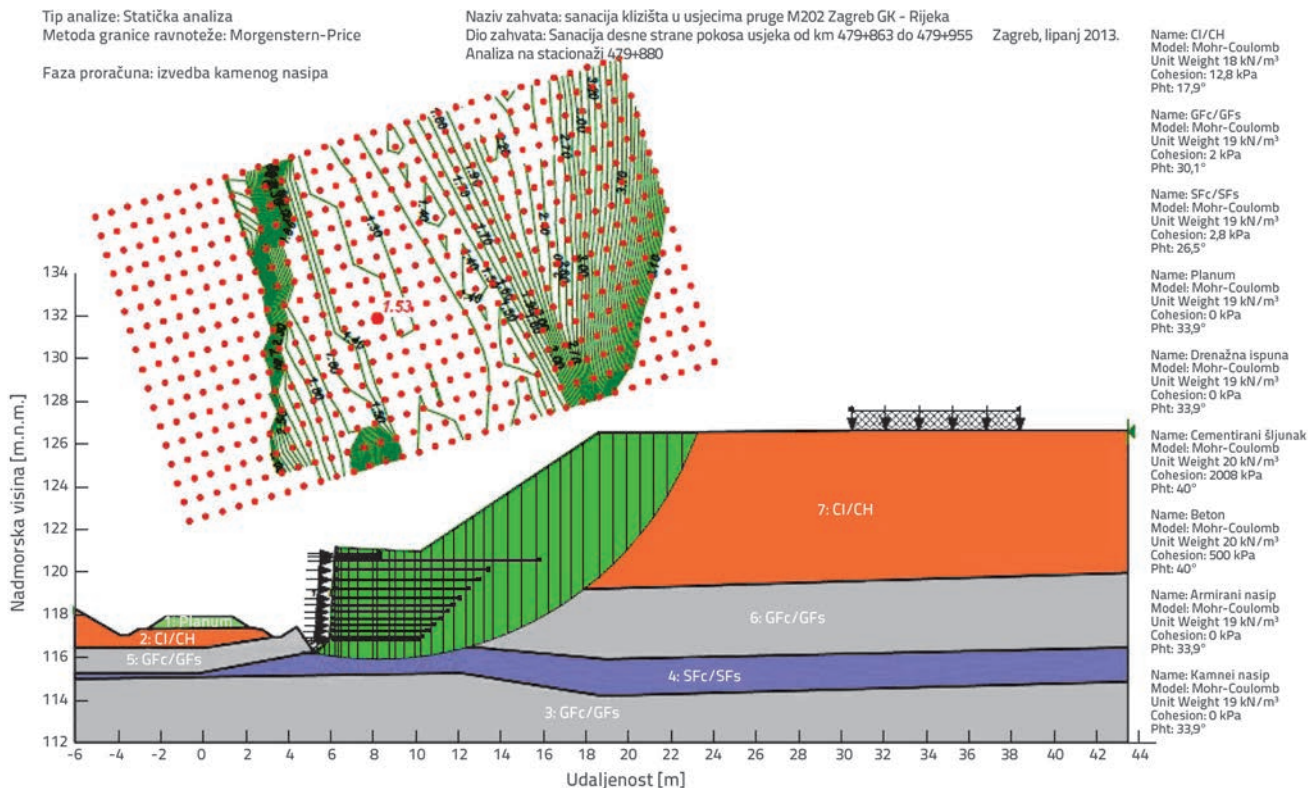
Kao rješenje sanacije nestabilnosti na desnoj strani, 207 m prije mosta (dionica A) i 92 metra nakon mosta (dionica C), odabran je zid od armiranog tla i zamjena materijala. Projektiranje sanacije ovih dionica je rađeno koristeći inženjerskogeološke profile tla određene na temelju istražnih radova. Analize su obuhvatile sljedeće:

- kontrola vanjske (globalne) stabilnosti armiranog zida (bloka) tla, te kontrola nosivosti temeljnog tla
- kontrola unutarnje (lokalne) stabilnosti armiranog zida, gdje je kontrola provedena za generirane plohe u potencijalnoj zoni sloma.

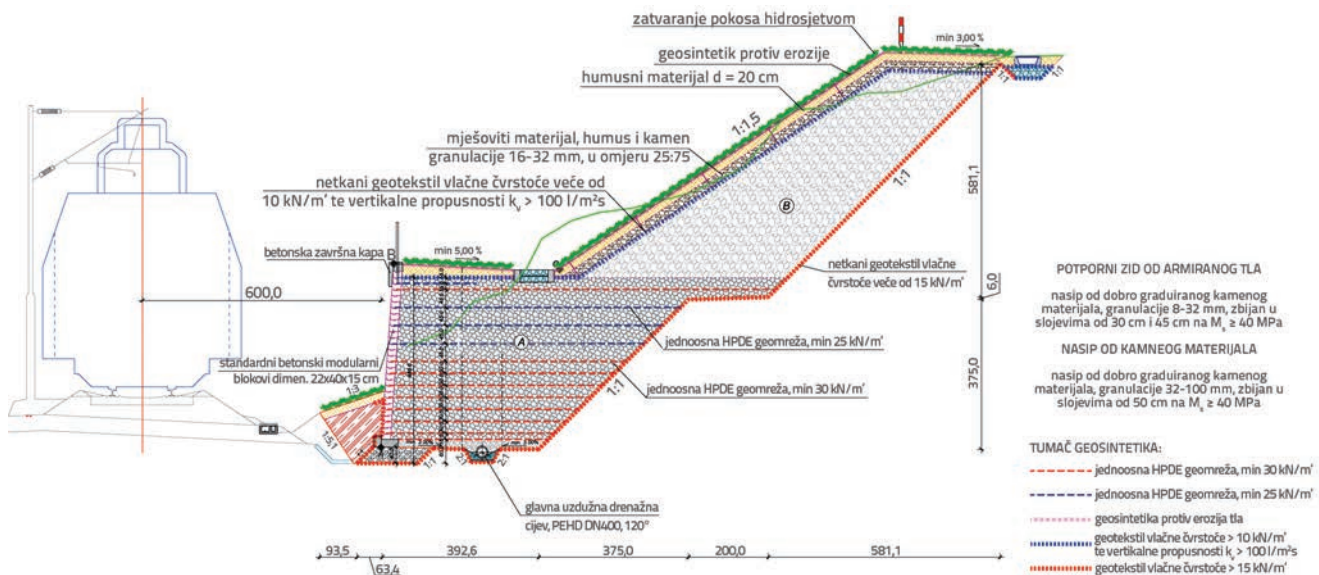
S obzirom na faznost zahvata, navedene kontrole su obavljene za svaku pojedinu fazu izvedbe, i to:

- iskop za pristupnu cestu
- iskop za armirani zid
- izvedba armiranog zida
- izvedba kamenog nasipa
- izvedba pasivnog klina ispred armiranog zida
- denivelacija tla ispred armiranog zida (zbog rekonstrukcije pruge u dogledno vrijeme, odnosno izvedbe novog odvodnog kanala).

Provedene su analize za statičko stanje za svaku pojedinu fazu izvedbe te za konačnu fazu analiza utjecaja potresa na stabilnost armiranog zida (dinamička analiza). U analizama je također uzeto u obzir i odgovarajuće prometno opterećenje od mehanizacije (povremeno, nepovoljno), od stambenih objekata



Slika 5. Rezultati analize stabilnosti nakon izvedbe armiranog tla i kamenog nasipa ( $F_s = 1.53 > F_{s,min} = 1.00$ )



Slika 6. Karakteristični poprečni presjek sanacije na dionici A

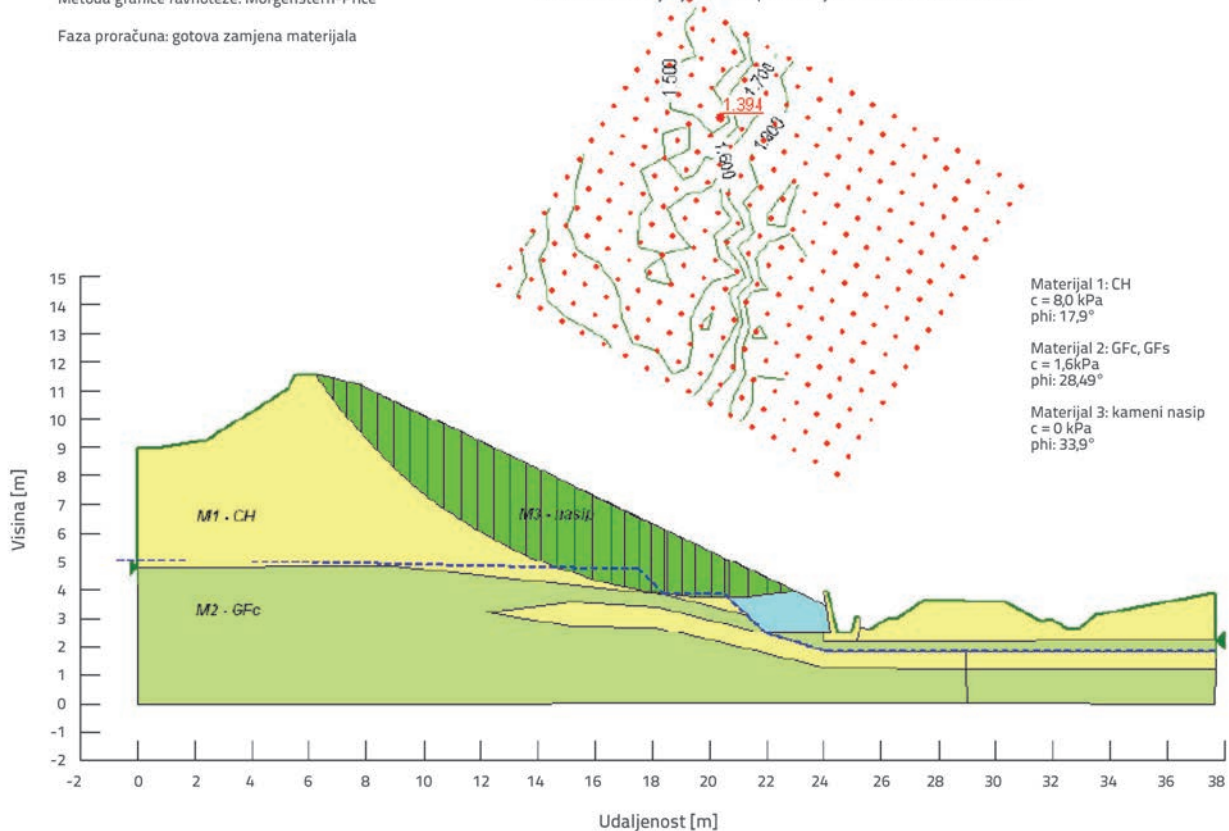
koji se nalaze na gornjem platou pokosa (trajno, nepovoljno) te privremenog objekta (trajno, nepovoljno). Za armiranje zida od armiranog tla su projektom predviđene jednoaksijalne geomreže, i to dva razreda čvrstoće. Za prvi razred (gornji dio zida) zahtijevala se karakteristična proračunska otpornost od minimalno 25 kN/m<sup>2</sup>, dok se za drugi razred (donji dio zida) zahtijevala karakteristična otpornost od minimalno 30

kN/m<sup>2</sup>. Materijal armiranog tla i kamenog nasipa je predviđenih karakterističnih parametara čvrstoće  $c = 0$  kPa i  $\phi = 40^\circ$ . Sve analize su zadovoljavale minimalni faktor sigurnosti od 1.0, a na slici 5. je prikazan jedan od rezultata proračuna (globalna analiza stabilnosti nakon izvedbe zida od armiranog tla i kamenog nasipa). Na slici 6. je prikazan odabrani karakteristični poprečni presjek sanacije na dionici C.

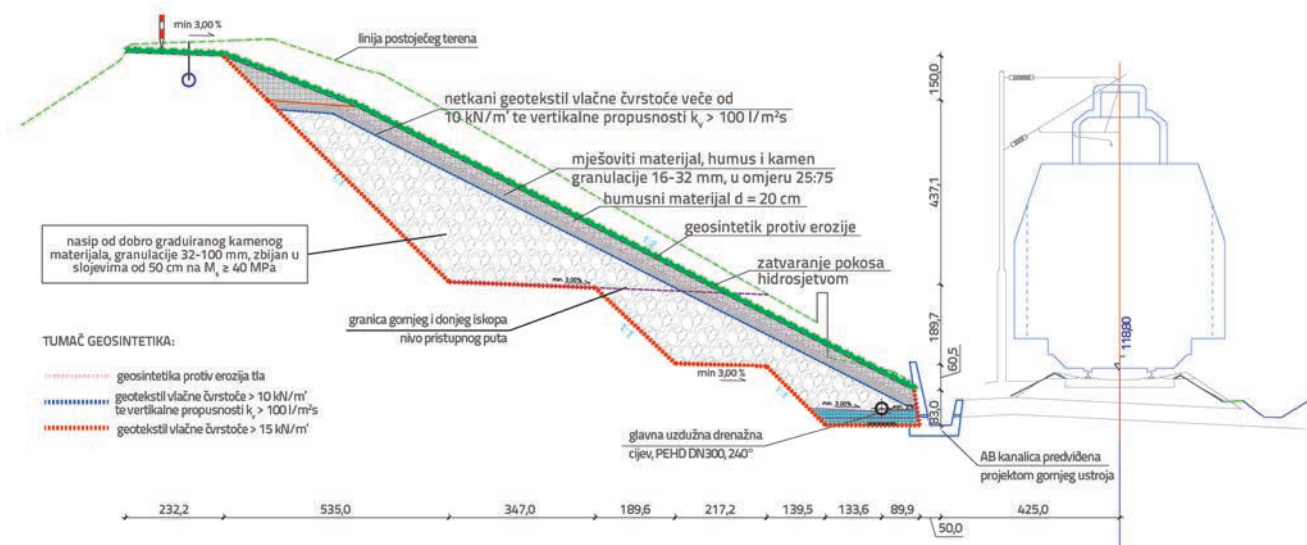


Tip analize: Statička analiza  
Metoda granice ravnoteže: Morgenstern-Price  
Faza proračuna: gotova zamjena materijala

Naziv zahvata: sanacija klizišta u usjecima pruge M202 Zagreb GK - Rijeka  
Dio zahvata: Sanacija lijeve strane pokosa usjeka od km 479+863 do 479+931



Slika 7. Rezultati analize stabilnosti nakon izvedbe kamenog nasipa ( $F_s = 1.39 > F_{s, \min} = 1.00$ )



Slika 8. Karakteristični poprečni presjek sanacije na dionici D

### 3.2. Projektiranje sanacije zamjenom materijala

Zamjena materijala je planirana na dionicama B, D, E i F. S obzirom na faznost zahvata, navedene kontrole su obavljene za svaku pojedinu fazu izvedbe, i to:

1. iskop za pristupnu cestu
2. iskop donjeg dijela pokosa
3. izvedba kamenog nasipa na donjem dijelu zamjene materijala (ispod nivoa pristupnog puta)
4. iskop gornjeg dijela pokosa

5. izvedba kamenog nasipa na gornjem dijelu zamjene materijala (iznad nivoa pristupnog puta)

Provedene su analize statičkog stanja za svaku pojedinu fazu izvedbe te za konačnu fazu analiza utjecaja potresa na stabilnost novoformiranog pokosa. Sve analize su zadovoljavale minimalni faktor sigurnosti od 1.0, a na slici 7. je prikazan jedan od rezultata proračuna (nakon izvedbe kamenog nasipa u gornjem dijelu zamjene materijala). Na slici 8. je prikazan odabrani karakteristični poprečni presjek sanacije na dionici D.

#### 4. Izvedba sanacije klizišta

Ovisno o odabranom rješenju sanacije, projektom su definirane i faze izvedbe. Svi navedeni radovi su i izvedeni u skladu s projektnom dokumentacijom, a faze izvedbe su prikazane u sljedećim potpoglavljima.

##### 4.1. Sanacija klizišta izvedbom zida od armiranog tla sa zamjenom materijala

Faze izvođenja, na stacionažama A i C, s desne strane pruge, bile su sljedeće :

1. pripremni radovi
2. geodetsko iskolčenje pristupne ceste
3. iskop za pristupnu cestu
4. izvedba platoa pristupne ceste
5. geodetsko iskolčenje iskopa za armirani zid
6. iskop za armirani zid
7. strojno zbijanje temeljnog tla
8. polaganje geotekstila
9. izvedba cementiranog kamenog materijala, kao temelja armiranog zida
10. izvedba drenažnog sustava
11. ugradnja revizijskog okna
12. izvedba temeljne stope armiranog zida
13. izvedba armiranog zida
14. izvedba kamenog nasipa
15. polaganje geotekstila
16. izvedba površinskog drena
17. ugradnja mješovitog materijala
18. ugradnja humusa
19. polaganje geosintetika protiv erozije
20. obavljanje hidrosjetve
21. zatrpavanje ispred zida materijalom iz iskopa
22. izrada obodnog odvodnog sustava.

Na obje dionice (A i C) na kojima se izvodio zid od armiranog tla trebalo je nužno najprije izraditi privremeni pristupni put. S obzirom na to da se očekivala velika vlažnost temeljnog tla, na pristupni je put položen geotekstil te 30 cm kamenog materijala radi osiguranja kvalitetnog planuma za promet mehanizacije. Nakon iskopa za armirani zid, provedeno je zbijanje temeljnog tla radi postizanja povoljnijih fizikalno-mehaničkih karakteristika, te se na

takvo zbijeno tlo postavio netkani geotekstil vlačne čvrstoće od 15 kN/m'. Geotekstil u svojoj ravnini ima drenažnu funkciju, tj. provodi procjednu vodu do perforirane cijevi u dnu zida od armiranog tla. Slijedila je izrada temeljne stope od kamenog materijala i cementa, te drenažnog rova u koji se ugradila perforirana cijev PEHD DN400, 120°. Nakon toga je slijedila izvedba armiranog zida, odnosno polaganje geomreža, nasipanje kamenog materijala u visini od 30 cm uz zbijanje na krutost od 40 MPa. Armirani zid se sastoji od modularnih betonskih blokova (koji nemaju nosivu funkciju), polimernih konektora i geomreža. Na očišćene blokove je položena geomreža preko utora u bloku, a svaki kraj geomreže je spojen s konektorom čime se osigurala veza između geomreža i modularnih betonskih blokova. Na vrhu zida (zadnja dva modularna bloka) ugrađene su geomreže duljine 2 m kako bi se osigurala stabilnost krune zida. Na vrh zadnjeg modularnog bloka izvedena je betonska kapa, te je ankerom fiksirana za modularne blokove. Korištene geomreže su od proizvođača Tema Xgrid 60/30 kN/m'. Zahvat je obavljen u kampadama širine 20 m.

Na vrhu zida izrađen je površinski dren, čija se stabilnost osigurala obodnim kanalom s poprečnim gredama. Posebno se pazilo na ugradnju revizijskih okana koja se nalaze unutar tijela armiranog zida, kao i na polaganje geomreža oko revizijskih okana. Nakon izgradnje zida, slijedila je izvedba kamenog nasipa, i to u slojevima od 50 cm, uz zbijanje na krutost od 40 MPa, nakon čega se polagao geotekstil vlačne čvrstoće od 10 kN/m' i vertikalne propusnosti od 100 l/m<sup>2</sup>s. Zatim se ugradio mješoviti materijal od kamena i humusa, debljine 25 cm, uz zbijanje na krutost od 30 MPa, humus u debljini od 20 cm, geosintetik protiv erozije KMat, te se obavila hidrosjetva pokosa. Na vrhu pokosa je izvedena obodna odvodnja betonskim kanalicama. S obzirom na to da su se postojeći kabeli nalazili oko 1,5 m od osi kanalice, te na dubini od 90 cm, posebno se pazilo na iskop pri vrhu pokosa. Na slici 9. prikazane su pojedine faze izvedbe sanacije na dionici A.

Izvedba dionice C sastojala se od istih elementata kao izvedba dionice A, samo što se u drenažni rov ugradila perforirana cijev PEHD DN250, 240° i to na početku zahvata (odnosno do nadvožnjaka) u duljini od 44 m, nakon čega je slijedila ugradnja perforirane cijevi PEHD DN300, 120°, u duljini od 42 m te ugradnja obične PEHD DN300 cijevi u duljini od približno 146 m.

Kvaliteta radova, odnosno kvaliteta zbijenosti (krutosti) slojeva zida od armiranog tla i kamenog nasipa, kontrolirana je kružnom pločom (tekuća ispitivanja) i primjenom SASW metode analize površinskih valova (kontrolna ispitivanja), gdje se iz brzine posmičnih valova pojedinog sloja određuje modul elastičnosti pri malim deformacijama. Sva ispitivanja su pokazala da su krutosti tražene projektom uspješno postignute izvedbom. Dodatno, kao mjera kontrole uporabivosti konstrukcije od armiranog tla, kontinuirano su obavljana mjerenja deformacija unutar tijela zida horizontalnim deformatrima duljine 7 m, mjerenja prostornih pomaka ušća cijevi deformatra (na modularnim blokovima) i krune zida geodetskim reperima tijekom i nakon izvedbe zida. Ova kontrolna ispitivanja su provedena na 6 profila na dionici A i 3 profila na dionici C. Također su na kruni gornjeg pokosa ugrađena tri bloka dimenzija 20×20×10 cm, koja su poslužila kao fiksna točka





Slika 9. Izvedba sanacije klizišta na dionici A

za praćenje vremenskih slijeganja kamenog nasipa. Mjerenja će se obavljati tijekom dvanaest mjeseci, i to svaki tjedan prvi mjesec dana od završetka izvedbe zida, a ostala mjerenja nakon trećeg, šestog i dvanaestog mjeseca. Dosadašnja mjerenja su pokazala da su slijeganja kamenog nasipa neznatna.

#### 4.2. Sanacija klizišta zamjenom materijala

Na dionicama B i D je sanacija pokosa provedena zamjenom materijala. Faze izvođenja su bile sljedeće:

1. pripremni radovi
2. geodetsko iskolčenje pristupne ceste
3. iskop za pristupnu cestu
4. izvedba platoa pristupne ceste
5. geodetsko iskolčenje donjeg dijela iskopa za zamjenu materijala
7. strojno zbijanje temeljnog tla
8. polaganje geotekstila na donjem dijelu iskopa
9. izvedba drenažnog sustava
10. izvedba kamenog nasipa na donjem dijelu iskopa
11. geodetsko iskolčenje gornjeg dijela iskopa za zamjenu materijala
12. gornji dio iskopa za zamjenu materijala
13. polaganje geotekstila na gornjem dijelu iskopa
14. izvedba kamenog nasipa na gornjem dijelu iskopa
15. ugradnja mješovitog materijala
16. ugradnja humusa
17. polaganje geosintetika protiv erozije
18. obavljanje hidrosjetve.

Kako su pristupni putovi dionica B i D prolazili u cijelosti kroz slojeve mekšeg koherentnog materijala, na planum puta je položen geotekstil te na njega 30 cm zbijenog kamenog materijala (granulacije iste kao za nasip). Pristupni put je u uzdužnom smjeru pratio nagib osi pruge, a u poprečnom je imao nagib 5 % prema pruzi. Os pristupnih putova se cijelom duljinom nalazila oko 2,05 m iznad osi pruge. Podjela zahvata na gornji i donji dio bila je nužna zbog ukupne visine zahvata i karakteristika tla. Zahvat je obavljen u kampadama širine 20 m, a na donjem dijelu pri iskopu kanalice izveden je pažljiv iskop uz maksimalnu kampadu od 5 m. Nakon punog iskopa na pojedinom dijelu, a prije izvedbe nasipa, postavljene su drenažne perforirane cijevi (PEHD DN300, 240°) na posteljicu od cementiranog kamenog materijala na geotekstilu, i priključene su potrebnim spojevima na novu betonsku kanalicu. Pad drenaže je izveden kao 0,5 %, od čega 0,3 % koje prati pad osi pruge (tj. pad osi kanalice) i još 0,2 % koji je izveden variranjem debljine podnožnog sloja ispod drenažne cijevi. Prije same izvedbe nasipa je cijelo lice iskopa prekriveno geotekstilom koji se položio na prethodno zbijeno temeljno tlo i koji ima funkciju provođenja procjedne vode do perforirane cijevi u nožici pokosa. Radovi na vrhu pokosa su, zbog blizine postojećih podzemnih kabela, izvedeni posebno pažljivo, a po potrebi i ručno. Nasip se izvodio od dobro graduiranog kamenog materijala granulacije 32-100 mm, nasipanog u slojevima visine od 50 cm,



Slika 10. Izvedba sanacije klizišta na dionici D

sa zbijanjem svakog sloja na modul krutosti  $M_s > 40$  MPa. Gotov pokos na cijeloj stacionaži zahvata je nagiba 1:2. Nakon izvedbe čitavog kamenog nasipa slijedilo je polaganje geotekstila vlačne čvrstoće od 10 kN/m' i vertikalne propusnosti od 100 l/m<sup>2</sup>s. Zatim je slijedila ugradnja mješovitog materijala od kamena i humusa debljine 25 cm, uz zbijanje na krutost od 30 MPa, nakon čega je ugrađen čisti humus u debljini od 20 cm, položen geosintetik protiv erozije, te je obavljena hidrosjetva pokosa. Na slici 10. prikazane su pojedine faze izvedbe sanacije na dionici D.

Kvaliteta radova, odnosno kvaliteta zbijenosti (krutosti) slojeva armiranog nasipa, je kontrolirana kružnom pločom (tekuća ispitivanja) i primjenom SASW metode analize površinskih valova (kontrolna ispitivanja), a sva ispitivanja su pokazala da su krutosti tražene projektom uspješno postignute izvedbom.

#### 4. Zaključak

Nedugo poslije izgradnje tri kilometra dionice željezničke pruge M202, Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka, između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje pojavila su se klizišta na pokosima usjeka. Tijekom vremena su na toj dionici izvedene razne lokalne mjere sanacije, međutim klizanja su se nastavila. S obzirom da su se uslijed djelovanja oborina znatno intezivirala klizanja, bilo je nužno hitno izraditi izvedbenu projektnu dokumentaciju sanacija klizišta.

Sanacijske mjere su na određenim dijelovima obuhvatile izradu zida od armiranog tla i zamjenu materijala, dok je na ostalim dijelovima primijenjena samo zamjena materijala pokosa. Različita rješenja su posljedica činjenice da se radovima sanacije nije smjelo zadirati u područje u kojem se nalaze podzemni kabeli i instalacije, da postoji ovisnost o blizini građevina na gornjem platou pokosa, kao i da se trebaju u fazi projektiranja zadovoljiti svi elementi definirani Eurokodom 7 [10, 11]. Rješenja su također prilagođena i budućem projektu obnavljanja gornjeg ustroja pruge "Nova dvokolosiječna željeznička pruga M202 za mješoviti promet Goljak – Karlovac – Skradnik". Rješenja sanacije su izvedena u potpunosti u skladu s projektnom dokumentacijom te predstavljaju trajno rješenje kojim se omogućila funkcionalnost i sigurnost navedene dionice pruge kao i građevina na platou iznad usjeka. Ovaj projekt sanacije je okarakteriziran visokim stupnjem suradnje između investitora, projektanta i izvođača, što je bilo prijeko potrebno s obzirom na nužnost hitnog i kvalitetnog rješenja.

#### Zahvala

Autori ovaj rad posvećuju kolegi Ivanu Igrecu, dipl.ing.građ., (1959.–2013.) koji je značajno doprinio u realizaciji projekta sanacije klizišta na željezničkoj pruzi između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje.



## LITERATURA

- [1] Geoekspert d.o.o.: Geotehnički elaborat, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, Klizište usjeka km 479+690- km 480+240, GT-07-11-2010, Zagreb, studeni 2010.
- [2] Geoekspert d.o.o.: Idejni projekt sanacije, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, Klizište usjeka km 479+690- km 480+240, GT-08-11-2010, Zagreb, studeni 2010.
- [3] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvedbeni projekt sanacije, sanacija desne strane pokosa usjeka od km 479+649 do km 479+856, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, IZP-110-004/2013, Zagreb, svibanj, 2013.
- [4] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvedbeni projekt sanacije, sanacija lijeve strane pokosa usjeka od km 479+727 do km 479+856, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, IZP-110-005/2013, Zagreb, srpanj, 2013.
- [5] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvedbeni projekt sanacije, sanacija desne strane pokosa usjeka od km 479+863 do km 479+955, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, IZP-110-006/2013, Zagreb, lipanj, 2013.
- [6] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvedbeni projekt sanacije, sanacija lijeve strane pokosa usjeka od km 479+863 do km 479+931, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, IZP-110-007/2013, Zagreb, srpanj, 2013.
- [7] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvedbeni projekt sanacije, sanacija desne strane pokosa usjeka od km 480+175 do km 480+345, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, IZP-110-008/2013, Zagreb, studeni, 2013.
- [8] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvedbeni projekt sanacije, sanacija lijeve strane pokosa usjeka od km 480+152 do km 480+390, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, IZP-110-009/2013, Zagreb, studeni, 2013.
- [9] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Izvještaj o geotehničkim istražnim radovima, Pruga M202 Zagreb GK-Rijeka, GIZ-110-031/2013, Zagreb, svibanj, 2013.
- [10] HRN EN 1997-1:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila
- [11] HRN EN 1997-1:2012/NA:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila - Nacionalni dodatak
- [12] GEO-SLOPE International Ltd.: Geostudio Slope/W 2007, Calgary, Kanada