

## Primjer praćenja izvođenja zaštite usjeka na AC Krapina – Macelj

### Example of monitoring of the cut protection works at the Krapina-Macelj motorway

N. Popović, B. Stanić & V. Gjetvaj  
*IGH, Zagreb*

**SAŽETAK:** Na primjeru je prikazan pristup praćenju izvođenja zaštite usjeka sa stajališta projektanta, te dodatnog projektiranja uslijed odstupanja od projektnih kriterija. Čavljano tlo bilo je predviđeno projektom kao tip zaštite pokosa usjeka. Glavnim projektom su određeni projektni kriteriji i dozvoljena odstupanja. Tijekom i nakon iskopa i zaštite svake vertikalne kampade kontrolirani su postavljeni projektni kriteriji. Kontrolirani su tako da su provedena mjerenja pomaka tla i nivoa podzemne vode, napravljena je geološka prospekcija i izvedena su dodatna laboratorijska ispitivanja. Na temelju interpretacije provedenih mjerenja, te dodatnih provjera proračuna stabilnosti uočena je potreba za dodatnim mjerama na zaštiti pokosa.

**Ključne riječi:** zaštita pokosa, projektni kriterij, čavljano tlo, geotehnička mjerenja

**ABSTRACT:** The approach to the follow-up of slope protection construction is presented on the example, from the designer's perspective, and additional designing due to the deviations from design values. The type of slope protection foreseen by the design was soil nailing. The main design defined design values and allowed deviations. During and after excavation, and after each vertical section protection, design values were controlled. They were controlled by measurement of soil displacement and ground water levels, and through geological survey on site as well as additional laboratory tests. After interpretation of field measurements and additional stability control calculation, the necessity for additional slope protection measures was determined.

**Key words:** slope protection, design value, soil nailing, geotechnical measurements

## 1 UVOD

Na AC Krapina-Macelj projektirane su zaštite pokosa usjeka na četrnaest lokacija (Stanić, Gjetvaj 2004/2005). U ovom radu biti će prikazana jedna lokacija (L13) na kojoj će se opisati dodatne mjere zaštite pokosa koje su proizašle na temelju kontrolnih proračuna stabilnosti. Kontrolni proračuni stabilnosti provedeni su uvažavajući interpretaciju rezultata geotehničkih mjerenja tijekom radova na iskopu i zaštiti pokosa.

Lokacija 13 se nalazi u čvoru Đurmanec - krak 1 od stac. km 0+137 do km 0+240 – desna strana. Izvedbenim projektom je za zaštitu pokosa bilo predviđeno čavljano tlo i ugradnja drenova u dnu najniže etaže. Tako projektirani tip zaštite na dijelovima pokosa se tijekom radova uz mjerenje nivoa podzemne vode pokazao nedostatan, te se pristupilo dodatnim mjerama.

Čavljano tlo podrazumijeva sidrenje samobušivim IBO sidrima R32/22 (L=4, 6, 8m, nosivosti 220kN) rastera 3x2m, uz površinsku zaštitu nosivim mrežama s trodimenzionalnom vlaknastom strukturom (MACMAT RB – PP + WIRE MESH). Za postizanje globalne stabilnost usjeka zbog izrazito nepovoljnog režima podzemnih voda projektirani su samobušivi drenovi sustava ALWAG (AT CASING SYSTEM).

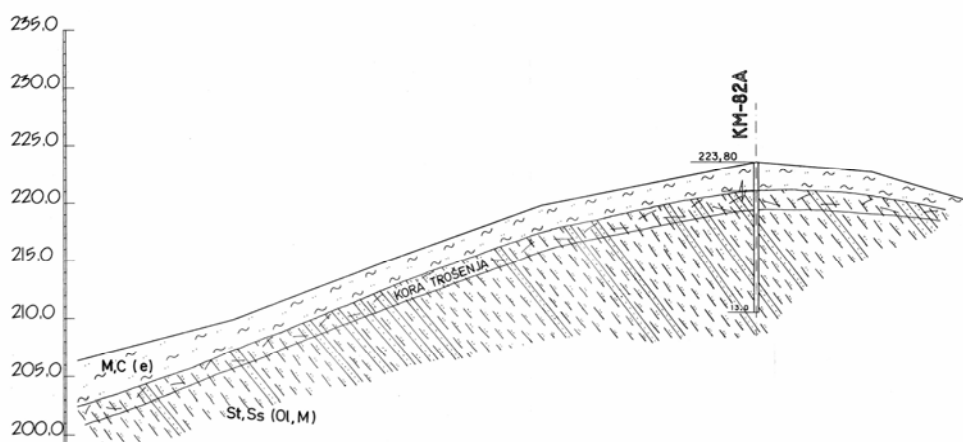
Postavljeni projektni kriteriji odnosili su se na dozvoljene pomake, porne pritiske, minimalne posmične čvrstoće tla, dozvoljena odstupanja od prognoziranog strukturnog sklopa i nosivost sidara.

Tijekom izvođenja provedena su mjerenja pomaka tla u vertikalnom inklinometru i horizontalnim deformatru, te mjerenje nivoa podzemne vode. Kontinuirano je vršena geološka prospekcija usjeka i laboratorijska ispitivanja uzoraka tla. Radovi su se izvodili u vertikalnim i horizontalnim kampadama, a kontrola projektnih kriterija provedena je nakon svake vertikalne kampade.

Treba napomenuti da je u trenutku pisanja ovog rada iskop za L13 završen i da se sistematski dalje prate pomaci tla i nivoi podzemne vode.

## 2 RAČUN STABILNOSTI

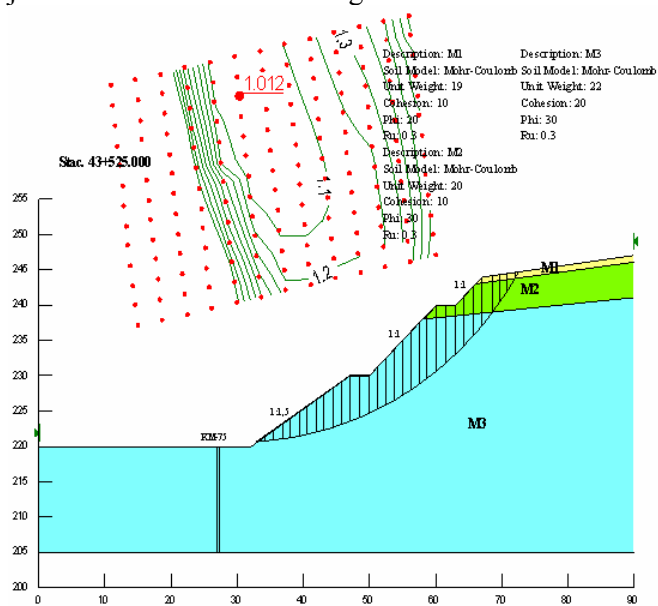
Prema prognoznom geotehničkom profilu u glavnom geotehničkom projektu (Stanić, 2000.) padina je izrađena od tankog pokrovnog sloja gline (2-3 m), niske plastičnosti srednje do teško gnječive konzistencije i pijesaka zaglinjenih, a podloga su oligomiocenske naslage predstavljena glincima, siltitima i pješčenjacima. Prognozni geotehnički profil napravljen je u km 0+198.58.



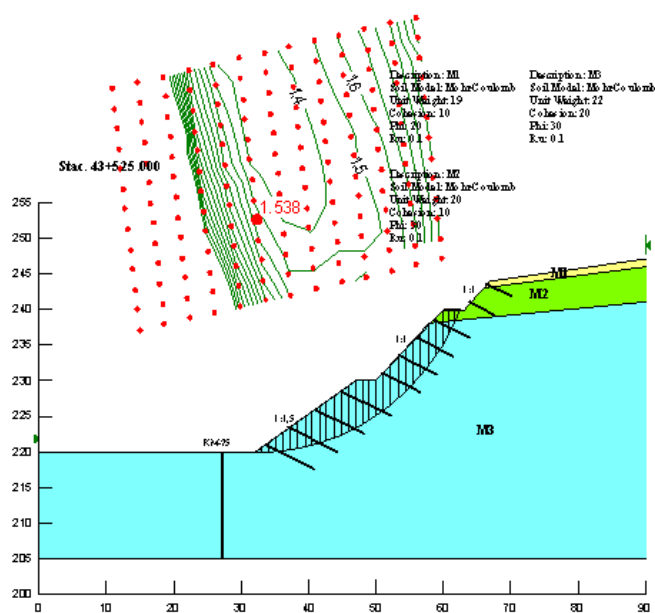
slika 1. Prognozni geotehnički profil u km 0+198.58

Projektni kriteriji za dimenzioniranje tipa zaštite pokosa moraju uvažiti sve moguće modele lomova, te imati odgovarajuće faktore sigurnosti za svaki od tih modela. Osnovni modeli lomova odnose se na: globalna stabilnost, stabilnost u zonama površinske saturacije, eroziona stabilnost. Ovi projektni kriteriji određeni su u glavnom geotehničkom projektu (Stanić, 2000.).

Na slikama 2. i 3. prikazani su računi globalne stabilnosti za pokos bez zaštite i za pokos koji je zaštićen čavlanim tлом s ugrađenim bušenim drenovima za drenažiranje podzemnih voda.



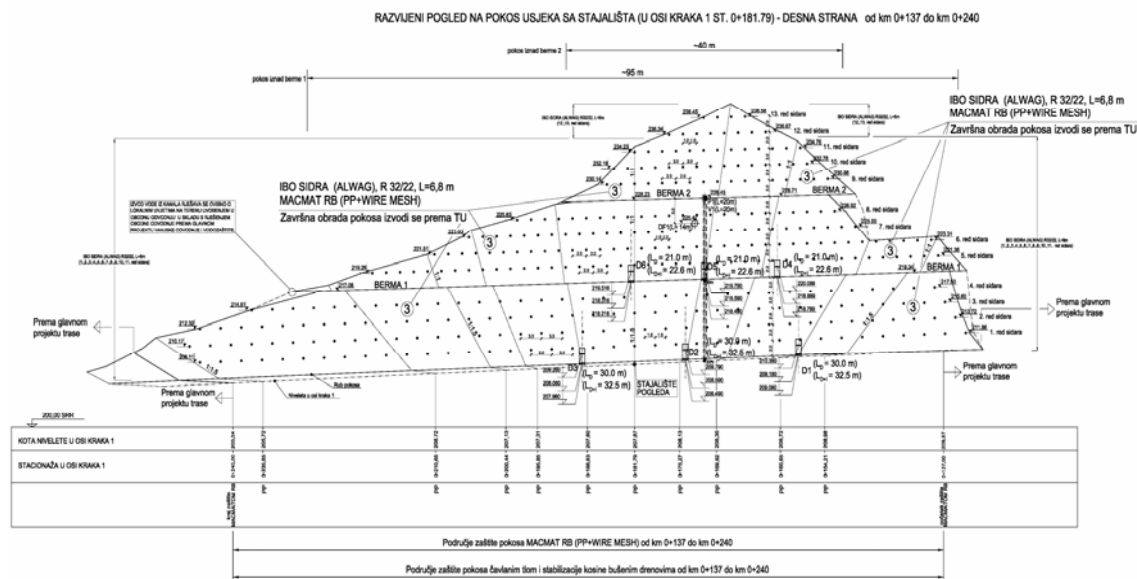
slika 2. Računi globalne stabilnosti za pokos bez zaštite



slika 3. Računi globalne stabilnosti za pokos zaštićen čavlanim tлом i ugrađenim drenovima

Proračuni u glavnom geotehničkom projektu definirali su geometriju stabilnog usjeka kako slijedi: nagib pokosa 1:1.5, visina 10m od nivelete, berma širine 3m – donja etaža; dalje nagib pokosa 1:1, visine do 10m, berma širine 3m - srednja i gornja etaža. Čavlasto tlo kao tip zaštite i drenažiranje horizontalnim drenovima u nožici usjeka i nožici srednje etaže odabrani su kao primjereni tip zaštite.

Izvedbenim projektom su određene pozicije ugradnje sidara, bušenih drenova, inklinometra, defometra i piezometra. Na slici 4. prikazan je pogled na L13 s svim predviđenim mjerama zaštite pokosa i geotehničkom opremom za mjerenje.



slika 4. Pogled na L13 s mjerama zaštite i pozicijama ugradnje geotehničke opreme

### 3 GEOTEHNIČKA MJERENJA

Tijekom izvođenja provedena su slijedeća mjerenja:

- probna čupanja sidara
- kontrolna čupanja sidara
- piezometarski pritisak
- pomaci tla (vertikalni inklinometar i horizontalni deformetar)

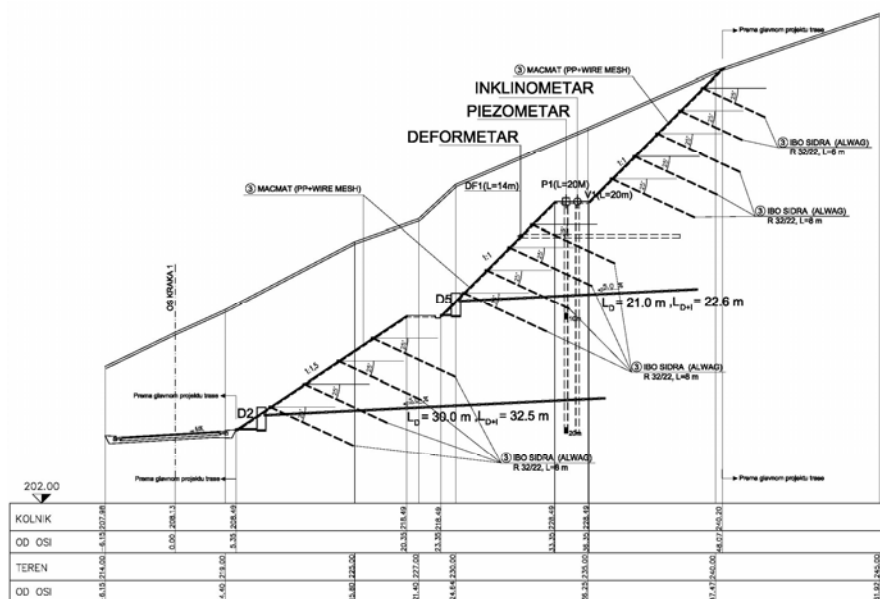
Mjerenje horizontalnih pomaka tla u vertikalno postavljenom inklinometru zasniva se na mjerenju relativnih kutova zaokreta u tlo ugrađenih PVC cijevi. Integriranjem kutova zaokreta dobivaju se pomaci inklinometarske cijevi. Prvo mjerenje uzima se kao referentno mjerenje a svako sljedeće mjerenje predstavlja horizontalne pomake tla. Zbog dva para vodilica mjerenje se može izvoditi u dva međusobno okomita smjera. Inklinometar, kakav je korišten na L13, ima ugrađena dva senzora koji istovremeno mjere kutove zaokreta u dva međusobno okomita smjera te ne zahtijevaju dva para vodilica.

Mjerenja linijskih deformacija i pomaka tla po dubini deformetrom, zasniva se na mjerenju relativnih deformacija u tlo ugrađenih specijalnih PVC cijevi. Povlačenjem mikrometra aktivira se mjerni senzor kojim se mjeri razmak između spojnica. Nakon očitavanja mikrometar se zakreće u klizni položaj i pomjera do slijedećeg para spojnica. Na taj način očitavaju se razmaci između svih ugrađenih spojnica. Prvo mjerenje ujedno je i referentno mjerenje. Deformacijom tla mijenjaju se međusobni razmaci spojnica. Ponovno mjerenje razmaka spojnica rezultira relativnim deformacijama mjerne cijevi na metar dužine. Integriranjem relativnih deformacija izračunavaju se pomaci tla.

Mjerenje tlaka vode u tlu te nivoa podzemne vode izvodi se električnim piezometrima ugrađenim u vertikalne bušotine.

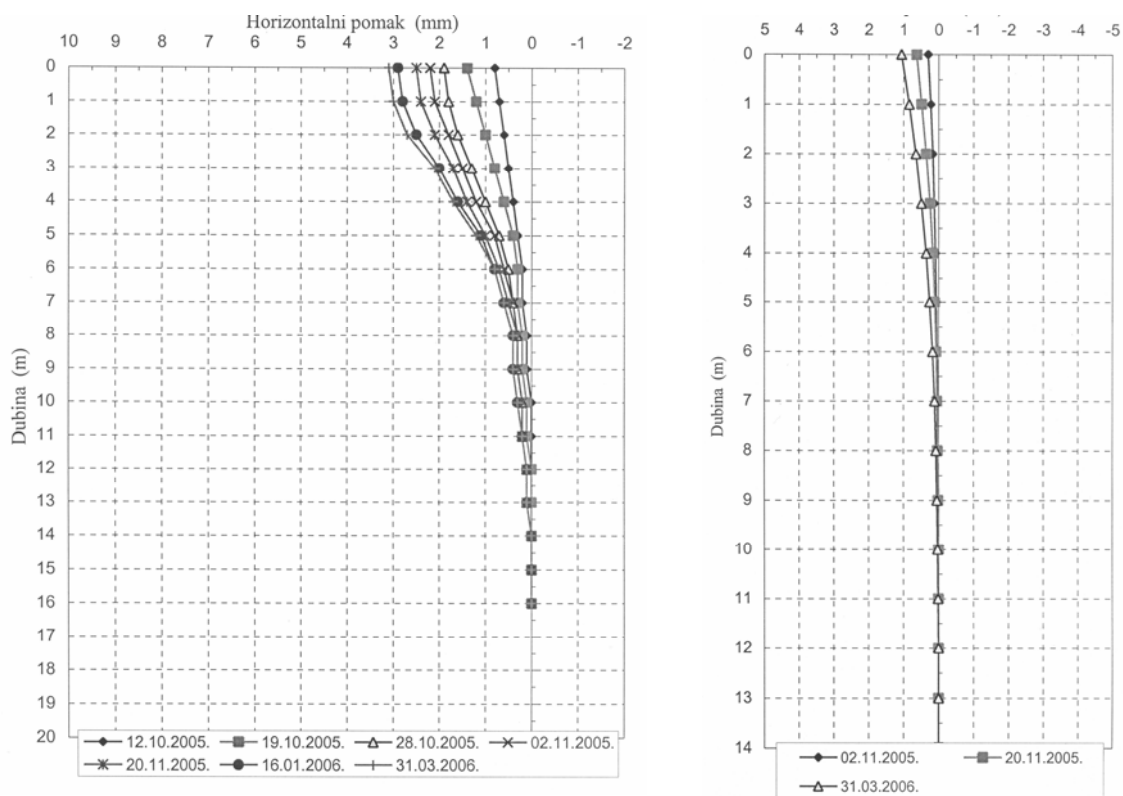
Osim geotehničkih mjerenja tijekom izvođenja provedeno je IG kartiranje usjeka (Izveštaj o geološkoj prospekciji usjeka, Ženko, 2006.) i laboratorijska ispitivanja. U svim elementima utvrđeno je da su projektni kriteriji zadovoljeni, osim u veličini mjernih pritisaka u piezometru.

Na L13 ugrađeni su po jedan inklinometar, deformetar i piezometar. Na slici 5. prikazan je poprečni profil s pozicijama ugradnje mjerne opreme.



slika 5. Mjerni profil s ucrtanom mjernom opremom

Rezultati mjerenja do 31.03.06. u inklinometaru, deformetaru i piezometaru su prikazani na slikama 6. i 7. Rezultati pomaka tla izmjereni inklinometrom i deformetrom su unutar dozvoljenih vrijednosti. U piezometru su mjereni piezometarski pritisci na 10 i 20 m. Izmjereni piezometarski pritisci na razini od 10m prekoračuju dozvoljene vrijednosti.



slika 6. Horizontalni pomaci tla u vertikalnom inklinometru i horizontalnom deformetru

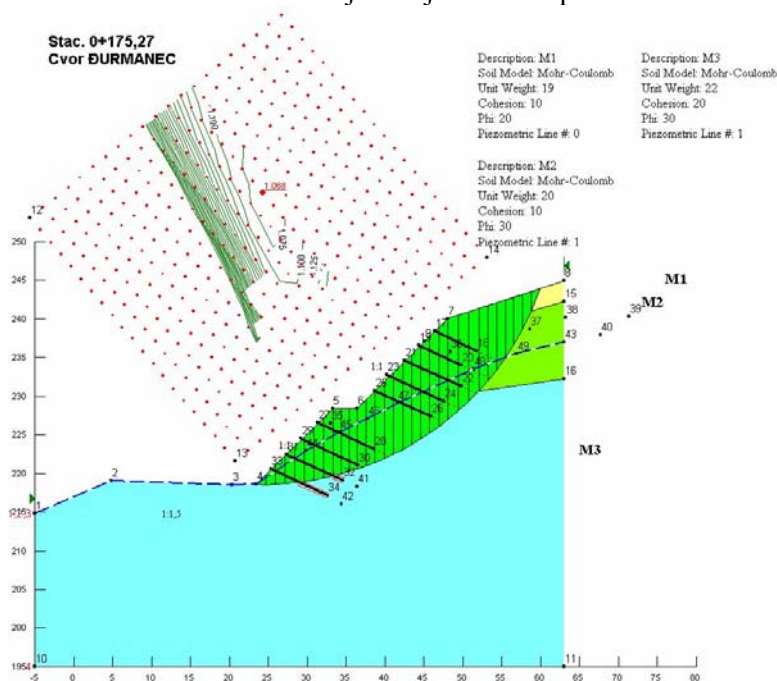
Datum mjerenja	razina vode (10 m)	razina vode (20 m)
28.10.2005.	0,62 m	5,51 m
02.11.2005.	0,65 m	5,35 m
20.11.2005.	0,79 m	5,48 m
16.01.2006.	0,55 m	4,42 m
31.03.2006.	0,22 m	3,59 m

*Napomena:* Razina vode iskazana je od površine tla

slika 7. Nivoi podzemnih voda u piezometru

#### 4 KONTROLNI RAČUNI STABILNOSTI

S obzirom da je tijekom izvođenja ustanovljeno odstupanje veličine mjerenih piezometarskih pritisaka od pretpostavljenih, napravljen je novi račun globalne stabilnosti. Provedeni kontrolni računi stabilnosti s izmjerenim piezometarskim pritiscima pokazali su nezadovoljavanje računskih stabilnosti za usvojene mjere zaštite pokosa.



slika 8. Kontrolni račun stabilnosti

Na slici 8 prikazan je kontrolni račun stabilnosti za kroz točku u nožici pokosa na nivou prve berme koji ima nezadovoljavajući koeficijent sigurnosti. Moguća su bila dva vida intervencije:

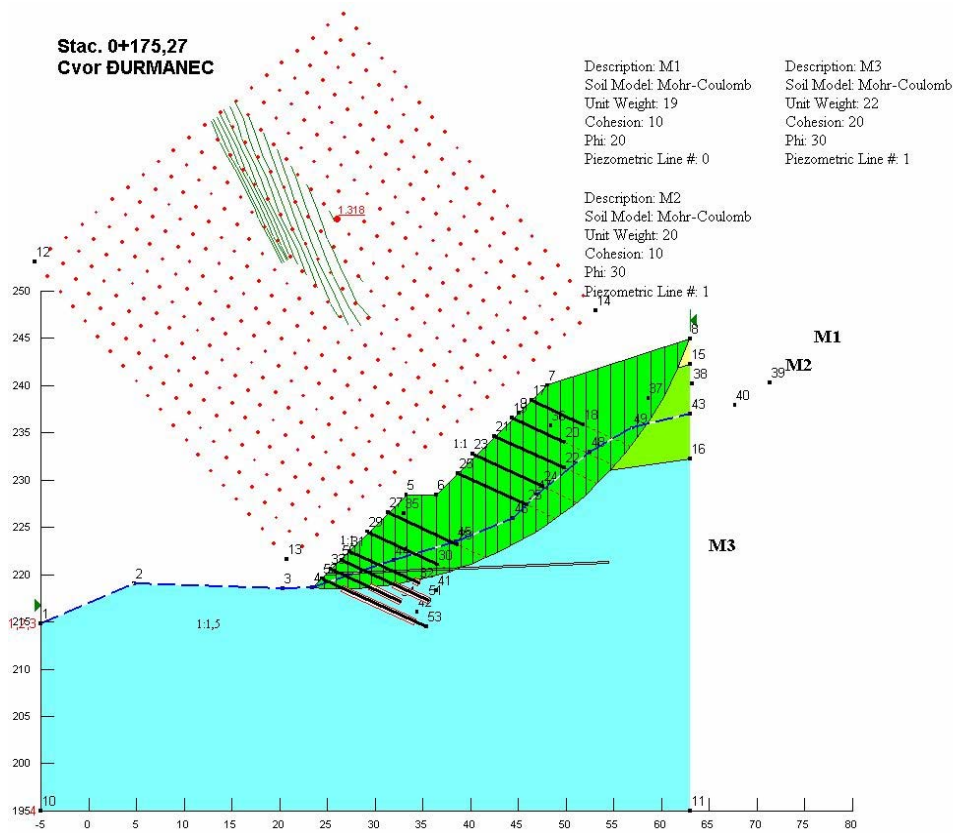
- dodatne mjere dreniranja i zaustavljanje daljnjih radova do sniženja piezometarskih pritisaka uslijed vremenskog djelovanja drenova
- dodatne mjere zaštite pokosa za utvrđeno stanje piezometarskih pritisaka.

Dinamika radova nije dozvoljavala zastoje u radu, te se prešlo na određivanje dodatnih mjera zaštite pokosa.

Račun stabilnosti za određivanje dodatnih mjera zaštite napravljen tako da je u obzir uzeto stvarno stanje na terenu i mogućnost izvođenja dodatnih mjera. Temeljem rezultata provedenih analiza određene su dodatne mjere za zaštitu pokosa. Na slici 9., prikazan je račun stabilnosti s dodatnim mjerama zaštite. Dodatne mjere zaštite pokosa predviđjele su slijedeće aktivnosti:

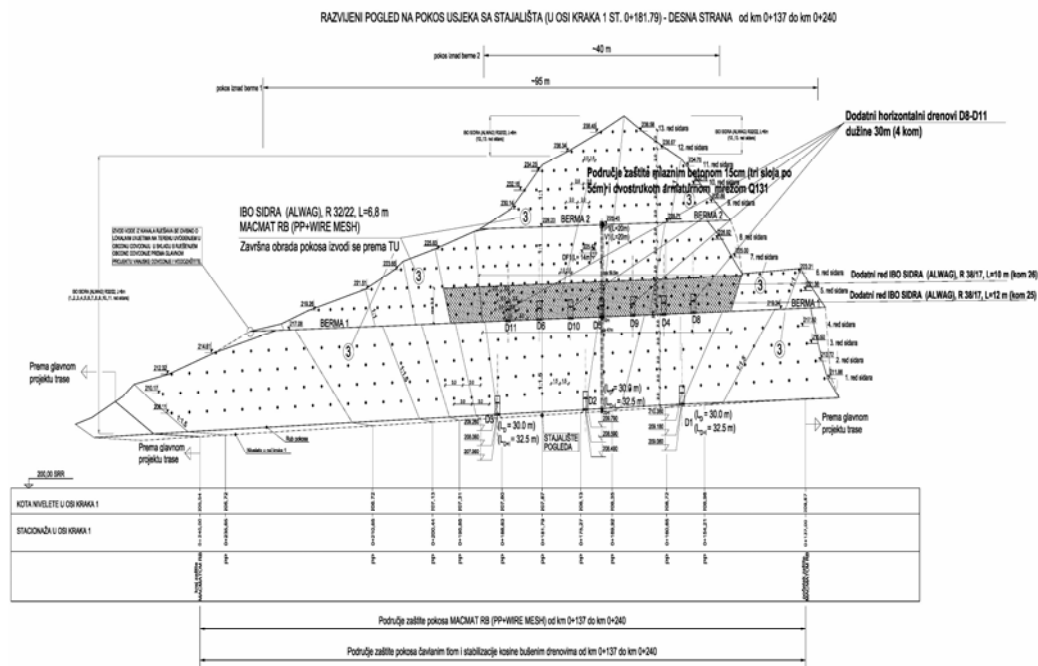
- zaštitu pokosa mlaznim betonom 15cm i dvije armaturne mreže Q131 od nivoa prve berme do 6. reda sidara

- ugradnju dodatnih dva reda sidara na 1 m i 3 m visine od nivoa prve berme (IBO R38/17, L=12,10 m, nosivosti 500kN)
- ugradnju dodatnih bušenih drenova (4 kom.) na nivou prve berme.



slika 9. Račun stabilnosti s dodatnim mjerama zaštite

Na slici 10. prikazan je pogled na L13 s prikazanim dodatnim mjerama zaštite.



slika 10. Pogled na L13 s dodatnim mjerama zaštite

Treba napomenuti da je u trenutku pisanja ovog rada iskop za L13 nedavno završen, te da se i dalje sustavno prate pomaci tla i nivoi podzemne vode.

## 5 ZAKLJUČAK

Na jednom primjeru prikazano je projektantsko praćenje izvođenja zaštite usjeka. Osim geotehničkih mjerenja (pomaci tla i piezometarski pritisci), provedeno je bilo IG kartiranje i laboratorijska ispitivanja za potvrdu projektnih pretpostavki.

Na temelju interpretacije rezultata mjerenja ustanovilo se da nisu svi projektni kriteriji zadovoljeni (dozvoljeni porni pritisci). Na osnovi toga saznanja promijenjen je prvotno projektirani tip zaštite, te je L13 uspješno izvedena.

Posebno treba istaći da je prilikom izvođenja usjeka važno pratiti u kojoj mjeri su projektne pretpostavke točno pretpostavljene, kao i zadovoljavanje projektnih kriterija putem geotehničkih mjerenja, IG kartiranjem i laboratorijskim ispitivanjem. Na temelju tih rezultata provode se kontrolne analize, te se verificiraju ili mijenjaju projektne mjere.



Slika 11. Pogled na lokaciju L13

## LITERATURA

Stanić, B., 2000. Autocesta: Zagreb – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, Geotehnički projekt, trasa od 41+668,15 do km 51+849,57, knjiga 6225/49/1.5 dio 1.5.1., IGH Zagreb, Zavod za geotehniku, studeni 2000.

Stanić, B., 2000. Autocesta: Zagreb – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, Geotehnički projekt, trasa od 41+668,15 do km 51+849,57, knjiga 6225/49/1.5 dio 1.5.2., IGH Zagreb, Zavod za geotehniku, studeni 2000.

Stanić, B., Gjetvaj, V., 2005. Autocesta: Zagreb – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, Stabilizacija desnog pokosa čavlanim tlom i dreniranjem u kraku 1 od st. km 0+137 do 0+240, Izvedbeni projekt br. U 0195/04, IGH Zagreb, Zavod za geotehniku, veljača 2005.

Stanić, B., Gjetvaj, V., 2005. Autocesta: Zagreb – Macelj, dionica: Krapina – Macelj, Stabilizacija desnog pokosa čavlanim tlom i dreniranjem u kraku 1 od st. km 0+137 do 0+240 – izmjena i dopuna 1, Izvedbeni projekt br. U 0195/04, IGH Zagreb, Zavod za geotehniku, veljača 2005.

Ženko, T., 2005. Izvještaj o geološkoj prospekciji zasjeke "LOKACIJA 13" stacionaža 0+137 do 0+240, I i II etaža, IGH Zagreb, studeni 2005.