

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Oblak, A., 2014. Načrt sanacije zemeljskega plazu Planina pod Golico. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Kuder, S.): 34 str.

Datum arhiviranja: 10-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Oblak, A., 2014. Načrt sanacije zemeljskega plazu Planina pod Golico. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Kuder, S.): 34 pp.

Archiving Date: 10-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

Diplomska naloga št.: 128/B-GR

Graduation thesis No.: 128/B-GR

**Mentor:**

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**

Ljubljana, 16. 09. 2014

### **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Aleš Oblak izjavljam, da sem avtor diplomske naloge »Načrt sanacije plazu Planina pod Golico«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Dovje, 05. 09. 2014

---

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK****UDK:** 624.131.4(497.4)(043.2)**Avtor:** Aleš Oblak**Mentor:**izr. prof. dr. Janko Logar**Somentor:** asist. mag. Sebastjan Kuder**Naslov:** Načrt sanacije zemeljskega plazu Planina pod Golico**Obseg in oprema:** 34 str., 21 sl., 16 pregl.**Ključne besede:** sanacija plazu, sidrana pilotna stena, AB zid**Izвлеček**

Diplomsko delo vsebuje obravnavo plazu v vasi Planina pod Golico v občini Jesenice. Nestabilno pobočje je močno poškodovalo lokalno cesto na odseku dolžine cca. 45 metrov, ki je v zimskih mesecih edina povezava z Jesenicami. V začetku diplomskega dela je predstavljena lokacija, poškodbe cestišča, osnovne dimenzije plazu ter začasna sanacija cestnega odseka, zgrajena pred 8 leti.

Na podlagi geotehničnih raziskav iz štirih sondažnih vrtin so v nadaljevanju diplomskega dela predstavljene materialne lastnosti zemljin in kamnin ter nivo podzemne vode na tem območju. Pridobljeni podatki jeder vrtin so služili kot osnova za povratno analizo, kjer smo iskali natančnejše vzroke splazitve. Analiza je vsebovala dve možni varianti, za sprožitev plazu in sicer: nizek nivo podzemne vode in slabe materialne karakteristike ter visok nivo podzemne vode in boljše materialne karakteristike. Pomagali smo si s sodobno programsko opremo – programom Slide 6.0. Iz ugotovitev povratne analize in geodetskega načrta se je izdelalo predlagani sanacijski načrt, na zgornji strani ceste armiranobetonski oporni zid, na spodnji pa sidrana pilotna stena, ki bo zagotavljala globalno stabilnost pobočju. Izračuni dimenzij so izvedeni skladno s standardom Evrokod 7.

Na koncu je prikazana še globalna varnost območja po sanaciji, kjer pa so naštetih tudi dodatni ukrepi za izboljšanje stabilnosti. Med le-te spada ureditev odvoda zaledne vode in ponovna pogozditev prizadetega območja.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	<b>624.131.4(497.4)(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Aleš Oblak</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>assoc. prof. Janko Logar, Ph.D</b>
<b>Cosupervisor:</b>	<b>asist. Sebastjan Kuder, M.sc</b>
<b>Title:</b>	<b>Remediation of Planina pod Golico landslide</b>
<b>Notes:</b>	<b>34 p., 21 pic., 16 tab.</b>
<b>Key words:</b>	<b>reinforced concrete supporting wall, anchored pile wall, remediation of the landslide</b>

### **Abstract:**

The main intention of this diploma work was to present the remediation of the landslide in the Planina pod Golico village, located within Jesenice community.. Unstable slope heavily damaged approx. 45 metres long part of the local road which is the only connection to Jesenice in winter months. There are location, road damage, basic dimensions of the landslide and temporary rehabilitation of the road, built 8 years ago, presented in the beginning of the thesis.

In the continuation of this thesis the material properties of soils and rocks are described, based on geotechnical studies of four probe holes, . What is more, there is also information about the level of groundwater in this particular area. The acquired data from probe holes were used as the basis for feedback analysis, through which we were searching for more exact reasons for the landslide. The analysis contains two possible variants to trigger an avalanche. First one is: a low level of groundwater and poor material properties followed by a high level of groundwater and improved material properties. modern software-program Slide 6.0 was used for research. From the results of the feedback analysis and the geodetic plan, the proposed recovery plan was made. It suggests reinforced concrete retaining wall on the upper side of the road and an anchored pile wall on the lower side in order to provide global stability of the slope. Calculated dimensions were carried out in accordance with the standards of Eurocode 7.

In conclusion, there is a description of global security of this area after redevelopment and what is more, the thesis also suggests some additional measures to improve its stability. Among these measures belong also draining of the water and reforestation of the affected area.

## ZAHVALA

Zahvala za izdelavo diplomske naloge gre predvsem mentorju izr. prof. dr. J. Logarju in somentorju asist. mag. S. Kudru s posredovanjem svojega strokovnega znanja ter D. Peček, ki mi je pripravila večino potrebne literature od geotehničnega poročila do geodetskega načrta.

Poleg omenjenih bi se rad zahvalil še svojim staršem in ostalim najbližjim, ker so mi pomagali tako ali drugače in nudili vsakodnevni nasmeh in toplino ob pisanju diplomske naloge. Hvala vam.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Opis problema .....	1
1.2	Namen in cilj diplomske naloge.....	3
1.3	Programska oprema kot sodobna pomoč .....	3
1.4	Osnovne dimenzije plazu.....	3
1.5	Terenski ogled.....	4
<b>2</b>	<b>POVZETEK RAZISKAV TAL</b> .....	<b>6</b>
2.1	Geotehniške raziskave .....	6
2.2	Sestava tal.....	7
2.3	Mehanske lastnosti materialov.....	8
2.4	Podzemna voda.....	11
<b>3</b>	<b>POVRATNA ANALIZA</b> .....	<b>13</b>
3.1	Osnovni model in namen povratne analize .....	13
3.2	Varianta I: Slabše karakteristike materiala in nizek vodostaj .....	13
3.3	Varianta II: Boljše karakteristike materiala in visok vodostaj .....	14
3.4	Predstavitev rezultatov povratne analize in dodatne ugotovitve .....	15
<b>4</b>	<b>IZBOR MOŽNIH SANACIJ</b> .....	<b>17</b>
4.1	Jekleni most.....	17
4.2	Konzolna podporna konstrukcija.....	17
4.3	Sidrana podporna konstrukcija.....	18
<b>5</b>	<b>NAČRT SANACIJSKEGA UKREPA</b> .....	<b>20</b>
5.1	Uvodne besede za načrtovanje ukrepov .....	20
5.2	Opis numeričnih modelov in dimenzije konstrukcij .....	21
5.2.1	Armiranobetonski oporni zid .....	21
5.2.2	Sidrana pilotna stena .....	25
5.2.2.1	Računska analiza sidrane pilotne stene: Varianta I .....	27
5.2.2.2	Računska analiza sidrane pilotne stene: Varianta II .....	28

5.2.3	Komentar rezultatov sidrane pilotne stene in dokaz nosilnosti konstrukcijskih elementov .....	29
5.3	Globalna stabilnostna analiza .....	31
5.3.1	Globalna stabilnost - Varianta I .....	31
5.3.2	Globalna stabilnost - Varianta II .....	32
5.3.3	Komentar stabilnostnih analiz .....	32
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>33</b>
<b>VIRI</b>	.....	<b>34</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lokacije vrtin V-1 do V-4 (Peček, 2013, str. 8) [1].....	6
Preglednica 2: Rezultati SPT preiskave (Peček, 2013, str. 10) [1].....	11
Preglednica 3: Rezultati meritve nivoja podzemne vode (Peček, 2013, str. 9) [1].....	12
Preglednica 4: Primerjava izbranih materialnih karakteristik s povratne analize. ....	16
Preglednica 5: Primerjava konzolne in sidrane konstrukcije. ....	19
Preglednica 6: Vpliv karakterističnih sil zaradi zemeljskih pritiskov. ....	23
Preglednica 7: Sile, zaradi teže zidu in zasipa po segmentih. ....	24
Preglednica 8: Kontrola proti zdrsu brez pasivnih pritiskov.....	24
Preglednica 9: Kontrola prevrnitve. ....	25
Preglednica 10: Kontrola nosilnosti temeljnih tal. ....	25
Preglednica 11: Rezultante zemeljskih pritiskov in sidrna sila – varianta I.....	28
Preglednica 12: Rezultante zemeljskih pritiskov in sidrna sila – varianta II.....	28
Preglednica 13: Dimenzije armature v pilotih. ....	30
Preglednica 14: Nosilnost načrtovanih pilotov. ....	31
Preglednica 15: Materialne karakteristike - varianta I.....	31
Preglednica 16: Materialne karakteristike - varianta II.....	32

**KAZALO SLIK**

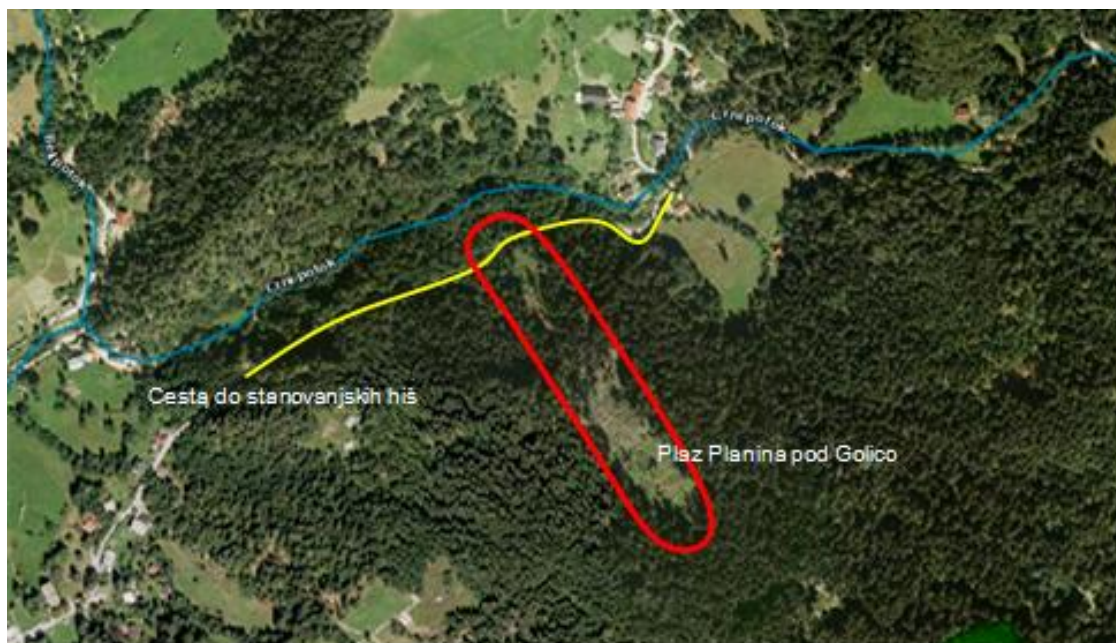
Slika 1: Pogled situacije z vrha [2].....	2
Slika 2: Zabijanje začasnih jeklenih profilov (Oblak, S.) .....	2
Slika 3: Pogled na plaz z zgornjega odlomnega robu (Oblak, A.).....	4
Slika 4: Počen jekleni profil (Oblak, A.) .....	5
Slika 5: Lokacije vrtin [4]. .....	6
Slika 6: Vzorci vrtin (Primer vrtine V-2) (Peček, D.) .....	8
Slika 7: Model prečnega prereza plazu po padnici .....	13
Slika 8: Stabilnostna analiza po metodi Bishop - varianta I. ....	14
Slika 9: (a) Stabilnostna analiza po metodi Bishop - varianta II in (b) nivo podzemne vode v varianti II v bližini cestnega odseka .....	15
Slika 10: Stroj za gradnjo pilotov (Oblak, A.) .....	18
Slika 11: Napenjanje geotehničnega sidra (kontrolno sidro [8]).....	19
Slika 12: Predlagana trasa nove ceste - rumena barva (vijolična – zemljiški kataster,.....	20
Slika 13: Izkop – modra črta (levo) in končno stanje opornega zidu (desno). ....	22
Slika 14: Dimenzije AB opornega zidu – končni sloji. ....	23
Slika 15: Prečni prerez - debeline slojev. ....	26
Slika 16: Vzdolžni prerez preko sidrane stene - sloji. ....	27
Slika 17: Pilotna sidrana stena v situaciji [4].....	29
Slika 18: Izbrani model z obtežbo zemljine posameznega sloja. ....	30
Slika 19: Dimenzije pilota in armature (v centimetrih).....	30
Slika 20: Globalna stabilnost po metodi Bishop - varianta I (modra elipsa – lokacija ceste). 31	
Slika 21: Globalna stabilnost po metodi Bishop - varianta II (modra elipsa – lokacija ceste).32	

## 1 UVOD

### 1.1 Opis problema

Občina Jesenice leži v severozahodnem delu Slovenije in je zaradi stičišča z Alpami zelo višinsko raznolika. Vasi, kot je Planina pod Golico, dosegajo nadmorsko višino okoli 950 metrov, s posameznimi hišami nad 1000 metrov. Zato so inženirski ter stanovanjski objekti zgrajeni na pobočju z relativno velikimi nakloni in so nemalokrat ogroženi z različnimi pobočnimi procesi, npr. plazenjem. Glavni povzročitelj neravnovesja v kamnini ali zemljini, ki privede do plazov, je lahko splet neugodnih vremenskih vplivov, različni antropogeni posegi ter drugi manj verjetni dejavniki (potres).

Plaz v Planini pod Golico (na sliki 1) se je sprožil že pred petnajstimi leti v smeri JV-SZ, kot posledica prekomernih padavin. Na plazovitem območju je bila izvedena tudi obsežna poseka smrekovega gozda, ki je oslabila zgornjo humusno plast. Voda je tako lažje in v večji količini, saj ni bilo več prestreženih padavin, prodirala skozi potencialno nevarne materiale. Do leta 2006, ko je bila cesta še makadamska, je bil plaz prebivalcem neopazen, saj se je pomikal z zanemarljivo hitrostjo, deformacije na cesti pa so pripisovali vozilom. Sprotno popraviljanje voziščne plasti je nenamerno skrivalo plazeče območje. Cesto, ki je v zimskih mesecih edina poveza med Jesenicami in 30 hišami vasi, so leta 2006 asfaltirali. Od tedaj naprej pa so se deformacije zaradi plazenja pokazale kot razpoke na asfaltni površini in podpornem kamnitem zidu. Plaz je do sedaj cestni odsek na dolžini približno 45 metrov premaknil za cca. 90 centimetrov nižje in za dober meter bočno v smeri lezenja pobočja. Odlomni rob plazov se nahaja na nadmorski višini cca. 1100 metrov, kar pomeni, da je povprečni naklon brežine okoli 21 stopinj, saj se do ceste nadmorska višina spusti za več kot 130 metrov. Čelo plazov se premika proti grapi Črnega potoka in bi ob najslabšem dogodku povzročil zajezitev potoka ter v nadaljevanju še velike posledice za prebivalce v nižje ležečem območju [1]. Zatorej so kakovostni ukrepi na problematičnem območju sila potrebni v bližnji prihodnosti.



Slika 1: Pogled situacije z vrha [2].

Začasno so pomikanje cestnega odseka omejili z zabitjem jeklenih profilov (slika 2) pod podporno konstrukcijo ceste, ki zagotavljajo prevoznost ceste za okoliške prebivalce v službo in šolo.



Slika 2: Zabijanje začasnih jeklenih profilov (Oblak, S.).

## 1.2 Namen in cilj diplomske naloge

V prvi fazi diplomske naloge je namen določiti in analizirati pogoje, ki so sprožili neravnovesje v pobočju. Pomagali si bomo s podatki pridobljenimi iz štirih vrtin, ki definirajo lastnosti in sestavo tal ter z rezultati meritev pomikov. Informacije iz vrtin bodo služile za pripravo osnovnega matematičnega modela geološkega profila, na podlagi katerega bodo ugotovljeni vzroki nastanka plazu in kasneje podane ustrezne rešitve sanacije. Vzroki za nastanek plazu bodo podrobneje predstavljeni v poglavju povratne analize.

Osnovni cilj diplomske naloge je predstaviti možni načrt sanacije plazu Planina pod Golico. Na podlagi različnih primerjav (tveganje, poraba materiala, izvedljivost, socialna pomembnost,...) se bo izbralo najprimernejšo rešitev ter se jo tudi predstavilo v diplomskem delu. S tem se bo tamkajšnjim prebivalcem omogočilo nemoteno prometno povezanost z Jesenicami in varno pot od doma do službe in nazaj.

## 1.3 Programska oprema kot sodobna pomoč

Pri iskanju vzrokov za nastanek plazenja in pri dokazovanju ustreznih načrtov sanacij smo si pomagali z geotehničkim programom SLIDE 6.0 (v nadaljevanju Slide). Sprva smo ga potrebovali za ugotavljanje pogojev, ki so sprožili zemeljski plaz. Za pridobitev teh rezultatov je bilo potrebno v program vnesti karakteristike zemljin, zrisati ustrezen geotehniški profil in raven podtalnice. V pomoč so bile tudi meritve pomikov terena z inklinometri, ki so omogočale nedvoumne interpretacije globine drsine. Ker v začetnih fazah diplomskega dela nismo imeli na voljo geološkega poročila, tudi nismo poznali vzroka nastanka plazu, zato smo s programsko opremo obdelali dva kritična scenarija in iskali možen izvor plazenja. Ob poznani drsini smo v prvem primeru predpostavili slabše strižne karakteristike zemljine in nizek vodostaj, v drugem pa boljše strižne karakteristike in visok vodostaj ter iskali morebitne vzroke neravnovesja (več v poglavju Povratna analiza). Program Slide za iskanje drsin oz. rešitev uporablja več metod različnih avtorjev, ki se razlikujejo glede na upoštevanje sil in momentov delujočih na posamezne lamele. Na podlagi rezultatov kritičnih pogojev s programom Slide smo izbrali merodajno situacijo in jo uporabili za načrtovanje sanacijskih ukrepov. Vrednost varnostnega faktorja, ki ima v trenutku zdrsa vrednost malo pod 1, je v zaključku projekta, na račun ustreznega načrta sanacije plazu, znašala nad 1,25, kot to zahteva Evrokod 7 (EC7). S pomočjo sodobne programske opreme bomo lažje in hitreje načrtovali sanacijski ukrep in plazovina bo mirovala v krajšem času ter cesta bo ponovno funkcionalno služila svojemu namenu.

## 1.4 Osnovne dimenzije plazu

Zemeljski plaz Planina pod Golico po svojih razsežnostih spada med t.i. globoke plazove [3]. Na sredini plazečega telesa je plazovina dosegla globino do 11,6 metra. Prečni prerez je glede na podatke iz vrtin zelo simetrične konkavne oblike. Dolžina plazu je več kot 400 metrov in kot smo že omenili, se zgornji odlomni rob nahaja na nadmorski višini približno 1100 metrov. Po širini pa na nekaterih območjih dosega do 65 metrov. Oceno prostornine plazečega materiala, ki obremenjuje cestni odsek, je nemogoče določiti, saj se plaz zaradi svojih materialnih in geometrijskih lastnosti na nekaterih delih sam zaklinja. Manjši stranski lokalni odlomni robovi se odlamljajo tudi v smeri SV-JZ ter tako onemogočajo nadaljnje

drsenje proti cesti. Ocenjena vrednost prostornine bi se lahko od dejanskega stanja razlikovala za večkratnik, kar pa ne bi predstavljalo uporabne informacije za nadaljnja dela [1].

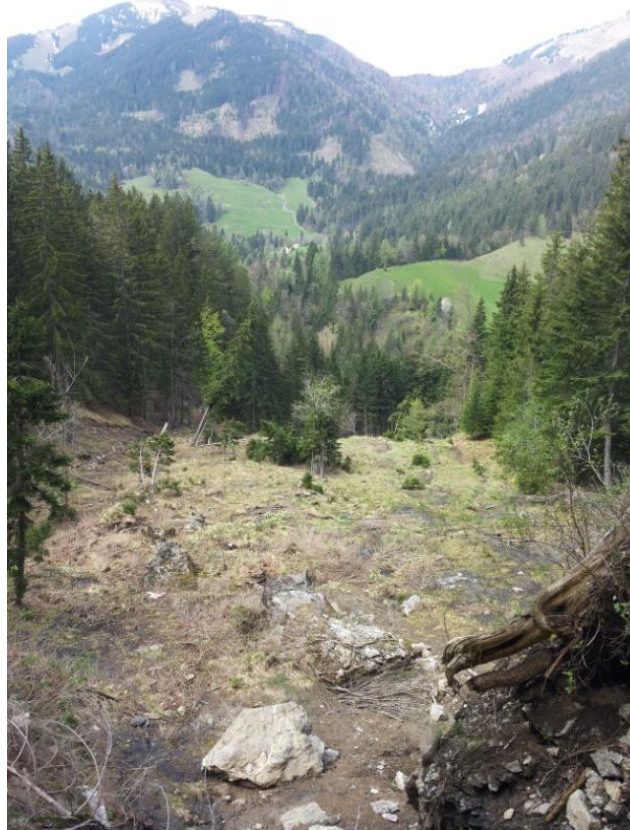
## 1.5 Terenski ogled

V času pisanja diplomskega dela smo se večkrat tudi odpravili na plazeče območje. S tem smo pridobili dodatne informacije, ki so sila pomembne za sestavljanje celotne zgodbe od nastanka plazu do načrta sanacije.

Na ogledih se je ugotovilo sledeče:

Datum ogleda: 5. 4. 2014

- Zgornja plast zemljine, kjer prevladuje travnata ruša in humusna prst (slika 3), je zelo razmočena (tudi v daljšem suhem vremenu). Tla postopoma postanejo bolj trdna in manj namočena v bližini ohranjenega gozda.
- 70–90 metrov nad cesto je še vedno ohranjen smrekov gozd in v tem delu površinska voda teče po strugi na levi strani plazu do zbiralnika (gledano v smeri drsenja plaz), tla pa so trdna.



Slika 3: Pogled na plaz z zgornjega odlomnega robu (Oblak, A.).

Datum ogleda: 25. 4. 2014

- Eden od začasno zabitih jeklenih profilov je že počil (slika 4).



Slika 4: Počen jekleni profil (Oblak, A.).

- Sedanji odvod vode je neurejen. Voda z zaledja teče po ceveh pod voziščno konstrukcijo ter na zunanjem robu začasne improvizirane berlinske stene slapi na plazovito ogroženo pobočje.
- Odvodni elementi (kanalete) so dotrajani in pod cesto ležijo vsepovprek.

Razpoki na kamnito-betonskem zidu, ki se nahajata na obeh straneh ogroženega cestnega odseka, sta razprti že za več kot 15 centimetrov.

Datum ogleda: 29. 7. 2014

- Po močnejših padavinah v preteklem tednu, nas je zanimalo stanje na plazju. Ugotovili smo, da razpoke in drenažne cevi na kamniti zložbi zasipa vrhnja plast plazju ter onemogoča boljši odvod vode.
- Med razpoke na cestišču pa odteka voda, kar dodatno slabi material pod cestiščem in dodatno obremenjuje sedanjo podporno konstrukcijo.
- Velike apnenčaste skale pod cesto umirijo plaz in ščitijo zasutje Črnega potoka.

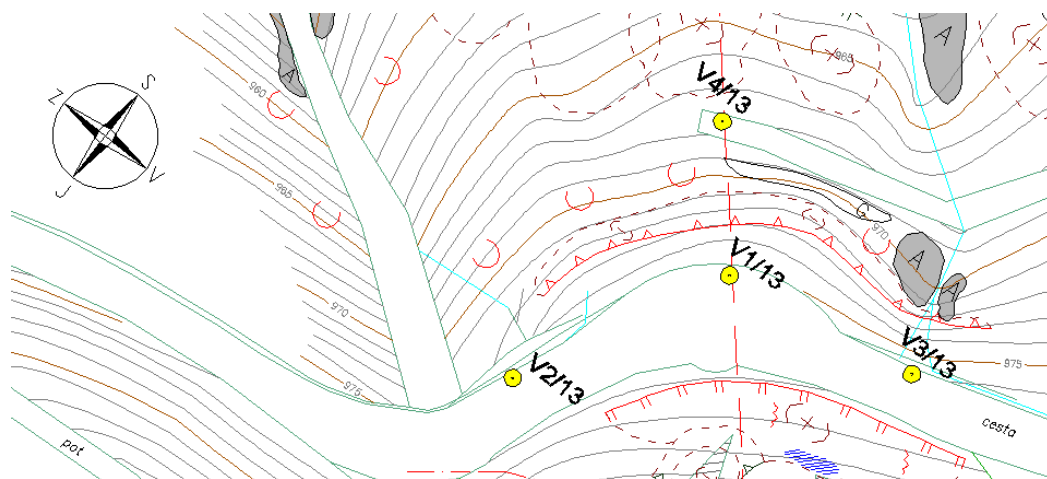
## 2 POVZETEK RAZISKAV TAL

### 2.1 Geotehniške raziskave

Na plazovitem območju so bile izvedene geotehnične raziskave, ki so obsegale vrtanje štirih sondažnih vrtin V-1 do V-4 (slika 5), vgradnjo inklinacijskih cevi v vse štiri vrtine, meritve pomikov in spremljanje nivojev podzemne vode, inženirsko geološko kartiranje terena ter laboratorijske preiskave vzorcev iz vrtin. Vrtine so bile locirane na različnih lokacijah vzdolž odseka plazeče krajevne ceste v vasi Planina pod Golico in izvrtane do globin med 10 in 15 metrov (preglednica 1) [1].

Preglednica 1: Lokacije vrtin V-1 do V-4 (Peček, 2013, str. 8) [1].

Vrtina	Koordinate (m)			Globina (m)	Lokacija
	X	Y	Z		
V-1	147 752,52	427 992,17	974,79	15	Zunanji rob ceste - sredina
V-2	147 734,52	427 983,27	974,88	12	Zunanji rob – proti Jesenicam
V-3	147 755,56	428 009,26	975,68	10	Zunanji rob – proti gostišču Betel
V-4	147 762,24	427 983,70	967,53	15	Pod cesto - sredina



Slika 5: Lokacije vrtin [4].

Na podlagi izvrtanega jedra se je interpretiralo geološki profil terena ter pridobilo ustrezne informacije o trdnosti, prostorninski teži, vlažnosti in drugih karakteristikah posameznega materiala. Ker so bile vrtine izvrtane v sušnem mesecu juniju, so bile na terenu izvedene še štiri meritve globine podtalne vode in sicer v začetku julija in avgusta ter v sredini septembra in novembra, saj so padavine v jesenskih mesecih bolj pogoste (preglednica 3) [1].



Terenske in laboratorijske raziskave je izvajalo podjetje GEOCENTER DP, MEHANIKA TAL, Danica Peček s.p. Izvide raziskav so skupaj z geološkim poročilom poslali na občino Jesenice. S strani občine Jesenice smo prejeli vsa potrebna poročila o sestavi tal, rezultate meritev vodostajev in rezultate meritev pomikov. Iz meritev pomikov je jasno razvidno, da se drsna ploskev nahaja na stičišču preperine permokarbona (sloj 2) s slojem preperelega apnenca (sloj 3). V nadaljevanju pa smo prejeli še celotno geotehnično poročilo s strani podjetja, ki je izvajalo raziskave. S pomočjo vseh podatkov je bilo mogoče razbrati potencialne poteke najverjetnejših drsin plazzu. Na podlagi teh informacij smo sestavili model za ugotavljanje prvotnih vzrokov nastanka plazzu (več v poglavju Povratna analiza) [1].

Na terenu je bil izveden standardni penetracijski test (v nadaljevanju SPT), ki je namenjen predvsem za peske, delno tudi za gramoze in redko za melje in gline. S pomočjo SPT se je ugotavljalo deformabilnostne in trdnostne karakteristike nekoherentnih zemljin ter konsistenčno stanje koherentnih zemljin. V laboratoriju ali na terenu so uporabili tudi žepni penetrometer, s katerim so dobili hitro oceno enoosne tlačne trdnosti materiala [1].

## 2.2 Sestava tal

S pomočjo osnovne geološke karte L 33–53 Celovec smo lahko površinsko podrobneje zrisali geološki profil plazovine. Plaz namreč leži na permskih skladih apnenca. Sloj apnenca je rjavo sive ter sivo bele barve in izdaja tudi na površje kakšnih 40 metrov nad zgornjim odlomnim robom plazzu. Nahaja se na globini okoli 15–20 metrov pod površjem, pod cesto pa se debelina drugih slojev zmanjša in apnenčasto podlago zasledimo od globine 12 metrov naprej. Obvodni del brežine na spodnji strani ceste je nastajal zaradi spiranja preperine po pobočju in strugi navzdol ter z nalaganjem materiala ob strugi vodotoka. Takšen nanošen material imenujemo deluvij. Bistvena kamenina oz. preperina na območju plazzu, ki pokriva skoraj 75 % prostornine plazovine, pa je sestavljena iz karbonskih (permokarbonskih) plasti glinastega skrilavca in meljevca z vložki apnenca ter breče. Sloj je značilno grafitno temno sive barve z raznimi rjavimi odtenki, zaradi zaglinjenega grušča [1,5].

Iz natančne analize jeder sondažnih vrtin je bilo mogoče razbrati, da so tla sestavljena iz štirih slojev. Zgornji sloj (sloj 1) je zmes starega nasipnega materiala, humusa, korenin, raztresenih zaglinjenih kosov apnenca s premerom do 5 cm in koščki skrilavca. Med vsemi je najbolj reprezentativen sloj (sloj 2), ki vsebuje velike količine skrilavca, zaglinjenega grušča do peščene gline (GC-CL) ter tudi peščene do mastne gline (CL-CH). Debelina omenjenega sloja variira od enega do osem metrov in je zaradi svojih materialnih karakteristik potencialno najbolj ogrožen sloj za nastanek drsine. Pod njim se nahaja preperina apnenca z vložki peščene gline trdne konsistence. Vse skupaj leži na stabilnem apnencu [1].

Vse vrtine (razen vrtine V-4) so bile izvrtane skozi vse plasti voziščne konstrukcije. Zato je v vrtinah V-1, V-2 in V-3 lahko opaziti plasti asfalta ter tamponski drobljenec frakcij 0/22 do globine 1,5 metra. Sicer pa so rezultati vrtin V-1, V-2 in V-4 predstavljali enovito sliko geološkega profila, le v vrtini V-3 je bila plast meljne gline in grušča skrilavca veliko tanjša in se je apnenčasta podlaga nahajala že na globini 4,5 metra [1].

Vlažnost zemljin (tip CL, CL-CH, CL-GC) se je v vrtinah V-1 in V-2 gibala med 13 in 17 %. Nato pa je nastopil kakšen daljši poletni deževni naliv in vlažnost v vrtinah V-3 in V-4 (izvrtani tri oz. štiri dni kasneje) se je v enakem tipu zemljine povišala za 4 do 5 % [1]. Vzorci vrtine V-2 so prikazani na sliki 6.



Slika 6: Vzorci vrtin (Primer vrtine V-2) (Peček, D.).

### 2.3 Mehanske lastnosti materialov

Vzorci iz vrtin so bili preiskani v laboratoriju, kjer so se izmerile tudi mehanske karakteristike zemljin in kamenin. Kot smo že omenili je območje plazu sestavljeno iz štirih karakterističnih slojev. Med njimi izstopa drugi sloj, ker je sestavljen iz materiala peščene glinice z gruščem skrilavca in je ob povišanju vodostaja potencialno najbolj reprezentativen, da v njem nastanejo nove kritične drsine. V pomoč pri določitvi lastnosti materialov so bile tudi meritve s terena (SPT in žepni penetrometer) [1].

#### Sloj 1 – *Nasip*:

To je plast tamponskega drobljenca in proda z gruščem apnenca (s samicami do 10 cm), ki vsebuje peščeno, meljno in glinasto vezivo. Sloj je v rahlem do srednje gostem stanju ter se nahaja do globine 3,6 metra. V vrtini V-4 (vrtina izven asfaltnege dela ceste) ni bilo zaznati tamponskega drobljenca [1].

Dobljene vrednosti materialnih lastnosti iz preiskav:

- Klasifikacija: GM, GM-GC, CL, GP, GC-GP, GP-GM
- Prostorninska teža: 20–23 kN/m<sup>3</sup>
- Strižni kot: 18°–24°
- Kohezija: /

- Enosna tlačna trdnost: /

### Sloj 2 – Preperina permokarbona:

Ta je značilno grafitno temno sive barve, večinoma peščena glina CL z gruščem skrilavca, lahko tudi peščena do mastna glina CL-CH ali zaglinjen grušč do peščena glina GC-CL z gruščem skrilavca. Debelina v vrtini V-1 in V-4 doseže do 8 metrov, medtem ko sta debelini v vrtinah V-2 in V-3 od 2 do 3 metre. Globine dna sloja 2 v posamezni vrtini potrjujejo ugotovitev, da se drsina tvori na stičišču sloja 2 in 3. Enake rezultate za lego slojev smo dobili tudi z meritvami pomikov, saj se globina drsine in menjava slojev popolnoma ujemata [1].

Dobljene vrednosti materialnih lastnosti iz preiskav:

- Klasifikacija: CL, CL-CH, GC-CL z gruščem skrilavca
  - Konsistenca gline lahkognetna do poltrdna.
  - Grušč zelo rahel do srednje gost.
- Prostorninska teža: 20–22 kN/m<sup>3</sup>
- Strižni kot: 18°–24°
- Kohezija: 0,2–7,4 kPa
- Enosna tlačna trdnost:
  - 25–150 kPa (žepni penetrometer)
  - 75–260 kPa (laboratorij)

### Sloj 3 – Preperina apnenca:

To je grušč apnenca značilno rjavo sive barve, brez vložkov skrilavca, ponekod peščena glina CL trdne konsistence z gruščem apnenca ali zameljen do zaglinjen grušč GM-GC s samicami apnenca. Materialne karakteristike sloja 3 so boljše kot pri sloju 2 in to je tudi eden od razlogov, zakaj se je drsina izoblikovala ravno na stiku obeh slojev. Debeline v posameznih vrtinah so zelo podobne in variirajo od 3 do 4,5 metra [1].

Dobljene vrednosti materialnih lastnosti iz preiskav:

- Klasifikacija: CL, CL-ML, CL-GC, CL-CH z gruščem apnenca, grušč apnenca GM, GM-GC s samicami apnenca do 80 cm in več.
  - Konsistenca gline pretežno trdna
  - Grušč srednje gost do zelo gost – penetrabilen
- Prostorninska teža: 22–24 kN/m<sup>3</sup>

- Strižni kot: 34°–42°
- Kohezija: /
- Enoosna tlačna trdnost: 75–240 kPa (žepni penetrometer)

#### Sloj 4 – Apnenec:

Sloj apnenca je sivo bele barve, bele in temno sive barve. Razpoke so zapolnjene z gruščem apnenca GM-GC rjavo sive in rjave barve. Zadnji sloj tvori t.i. skalno osnovo ali matično podlago. Pri konstruiranju sanacijskih ukrepov bomo sloj apnenca smatrali za nepremično podlago, temeljenje konstrukcije bo segalo do oz. v trden apnenec. V vrtinah V-2 in V-3 se pojavi že na globini 9 metrov, medtem ko v V-1 in V-4 od globine 14,5 oz. 13,7 metra naprej [1].

Dobljene vrednosti materialnih lastnosti iz preiskav:

- Klasifikacija: Apnenec, ponekod tektonsko pretrt (prelom).
- Prostorninska teža: 24–26 kN/m<sup>3</sup>
- Strižni kot: > 42° [1]
- Kohezija: 200 kPa
- Enoosna tlačna trdnost: 50–100 MPa [6].

Terenske preiskave (SPT) vseh štirih vrtin so zbrane v preglednici 2:

Preglednica 2: Rezultati SPT preiskave (Peček, 2013, str. 10) [1].

Vrtina	Globina sloja (m)	Klasifikacija	$(N_1)_{60}$	Gostotno stanje	Konsistenčno stanje
V-1	2,5–3,6	Cestni nasip-grušč	15	Srednje gosto $\varphi = 39,2^\circ$	
	6,2–6,6	CL-CH s koščki skrilavca do 1 cm	9		Težkognetno, na meji s srednjegnetnim
	8,8–11,6	CL-CH s koščki skrilavca do 1 cm	11		Težkognetno (drsina 11,6 m)
	11,6–13,5	CL s koščki apn. In lesa	P = 8 cm/60ud.		
V-2	3,0–4,1	CL s koščki grušč in skrilavca	2		Lahkognetno
	6,0–6,5	CL z drobcu apnenca	13		Težkognetno (drsina 6 m)
	9,0–9,5	Apnenec	P = 22, 9cm/60ud.		
V-3	2,9–3,8	CL s koščki lesa, GC-CL	5		Srednjegnetno (drsina 3 m)
	4,5–7,0	Apnenec (možno samica)	P=7cm/60ud.		
	8,9–9,3	GM (razpoka v apnencu)	44	Zelo gosto $\varphi = 39,7^\circ$	
V-4	3,0–3,9	CL s koščki skrilavca do 1 cm in prodniki	3		Lahkognetno
	3,9–7,4	CL-CH s koščki skrilavca in samicami apnenca	P = 5, 5cm/60ud.		Težkognetno
	8,0–10,2	CL z gruščem in samicami apnenca	17	Srednje gosto $\varphi = 35^\circ$	Težkognetno do poltrdno (drsina 8 m)
	10,2–13,7	Grušč apnenca GM-GC s samicami	39	Gosto $\varphi = 38,9^\circ$	

## 2.4 Podzemna voda

Voda je bila v času vrtnja vrtin V-1, V-2, V-3 in V-4 zaznana zgolj v vrtinah V-1 in V-2. Podzemna voda se je v vrtini V-1 pojavila že na globini 3,5 metra, zaznani pa so bili tudi posamezni dotoki vode na globini 2,9, 6,2 in 8,8 metrov. V vrtini V-2 se je podzemno vodo zabeležilo na globini 5 metrov. Na tej lokaciji ni bilo odkritih nobenih posameznih podzemnih dotokov vode [1].

Za boljše razumevanje področja so odgovorni izvedli še dodatne raziskave, pri katerih so odčitavali zgolj nivo podzemne vode. Terenski ogledi so potekali v začetku julija in avgusta ter v sredini meseca septembra in novembra. Nivo podzemne vode je v jesenskih mesecih narasel v vrtini V-1 in V-2, v drugih dveh vrtinah pa je miroval. V vrtini V-1, ki je locirana v samem temenu prečnega prereza plazu, se je vodostaj dvignil za dobrih 12 metrov, kar bi lahko povzročilo nadaljnje plazenje [1].

Natančni rezultati so podani v preglednici 3:

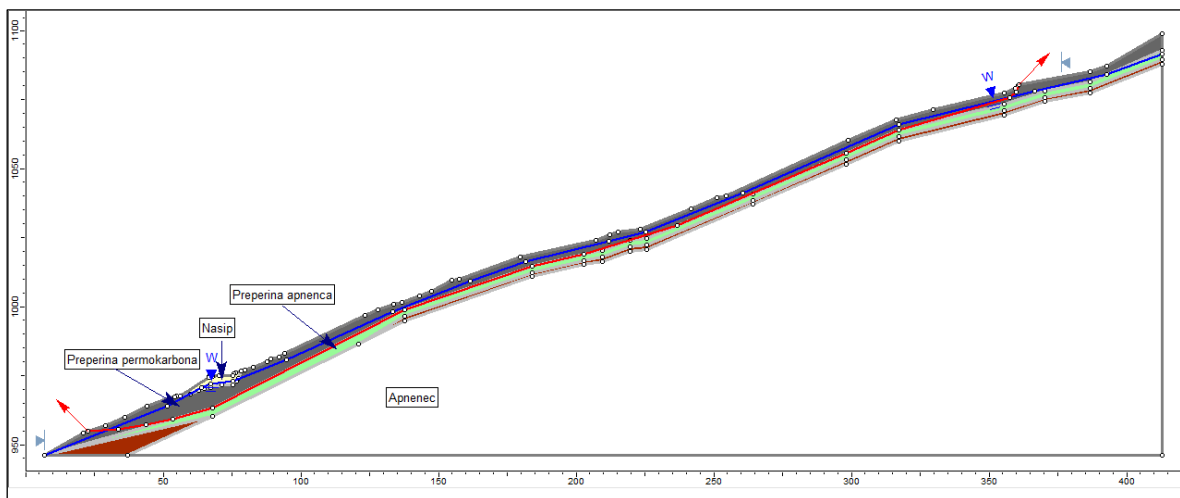
Preglednica 3: Rezultati meritev nivoja podzemne vode (Peček, 2013, str. 9) [1].

Vrtina	Pojav podzemne vode ali povečane vlage med vrtanjem (m)			
	19. 6. 2013 20. 6. 2013	21. 6. 2013	22. 6. 2013	23. 6. 2013
V-1	-3,5 Dotoki -6,2 / -7,0 / -8,8 / -9,7	-10,53		
V-2		-5,0	-6,1	
V-3			-3,0 (vlažno)	Suha
V-4				-2,9-3,5 (vlažno) -7,0-8,0 (vlažno) -14,3 (voda)
Nivo podzemne vode ob meritvah pomikov (m)				
	5. 7. 2013	6. 8. 2013	13. 9. 2013	16. 11. 2013
V-1	Suha	Suha	-2,91	-2,65
V-2	-8,17	-8,67	-5,94	-5,97
V-3	-9,59	-9,77	-9,57	-9,59
V-4	-14,42	-14,43	-14,36	-14,3

### 3 POVRATNA ANALIZA

#### 3.1 Osnovni model in namen povratne analize

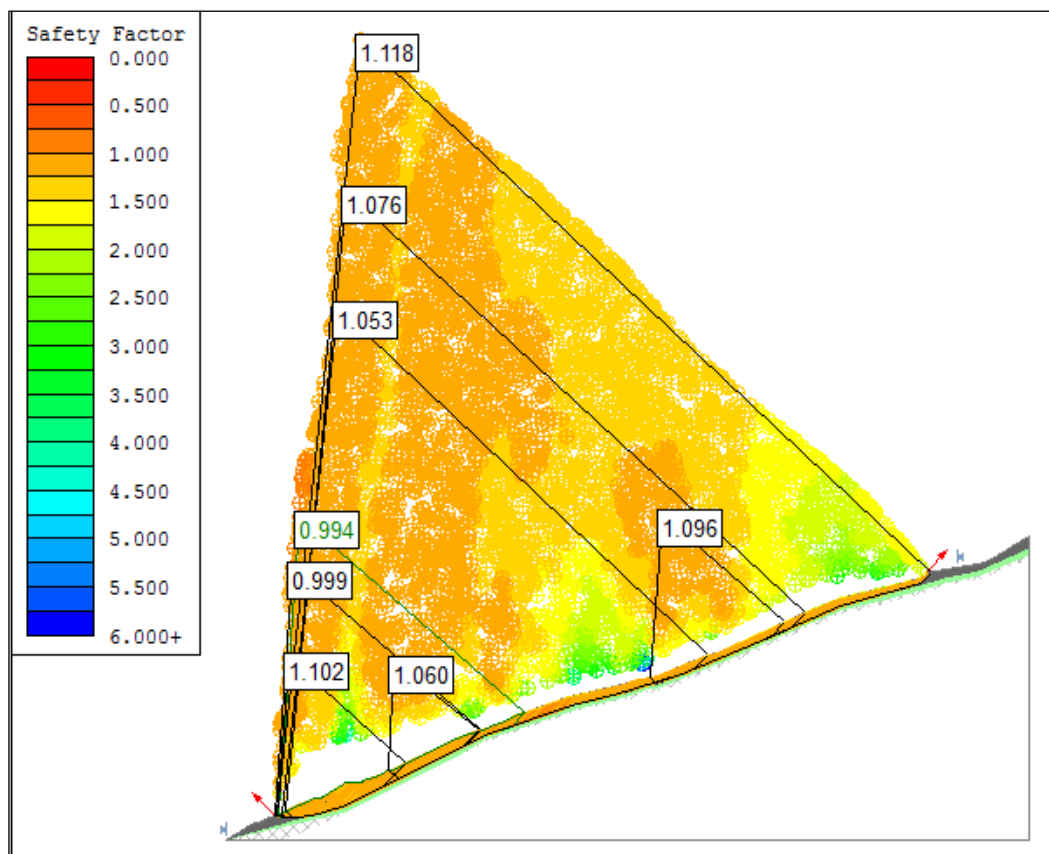
Za boljše razumevanje plazovitega območja smo izvedli povratno analizo, pri čemer smo ugotavljali pglavitne vzroke za nastanek plaz. S pomočjo informacij, pridobljenih iz vrtin, geološke karte in terenskega ogleda, smo izdelali numerični model v programu Slide (slika 7). Definirali smo koordinate oz. plasti posameznega sloja ter označili potencialne drsine, nato pa spreminjali nivo podzemne vode in karakteristike materiala. Modelu nismo predpisali nobene dodatne obtežbe na površju, saj je bila v preteklosti izvedena poseka smrekovega gozda in je površina povečini prekrita s travnato rušo. Ker so meritve na terenu pokazale različne situacije, kjer je nivo podtalne vode zelo visok oz. zelo nizek smo v Slide-u analizirali dve kritični situaciji. V varianti I smo predpostavili nizek vodostaj in slabše strižne karakteristike materiala, medtem ko smo v varianti II predpostavili visok vodostaj in boljše strižne karakteristike posameznih slojev (preglednica 4). Na podlagi rezultatov obeh variant bomo ocenili glavni vzrok za nastalo neravnovesje v pobočju hriba Na pečeh. Povratna analiza nam je pomagala izbrati karakteristične vrednosti materialnih lastnosti posameznih slojev tal.



Slika 7: Model prečnega prereza plazju po padnici.

#### 3.2 Varianta I: Slabše karakteristike materiala in nizek vodostaj

V varianti I smo na podlagi terenskih raziskav, kjer se je merilo nivo podzemne vode, določili nivo vode zgolj v strugi Črnega potoka. V omenjenih raziskavah je bila namreč v poletnem obdobju voda zaznana le na skrajnem dnu vrtin oz. so bile vrtine suhe. Zemljinam smo pripisali slabše mehanske karakteristike, da smo dobili iskani varnostni faktor blizu 1. Le-ta je znašal 0,994. Spremenjene materialne karakteristike so prikazane v preglednici 4, varnostni faktorji za posamezne drsine pa na sliki 8.

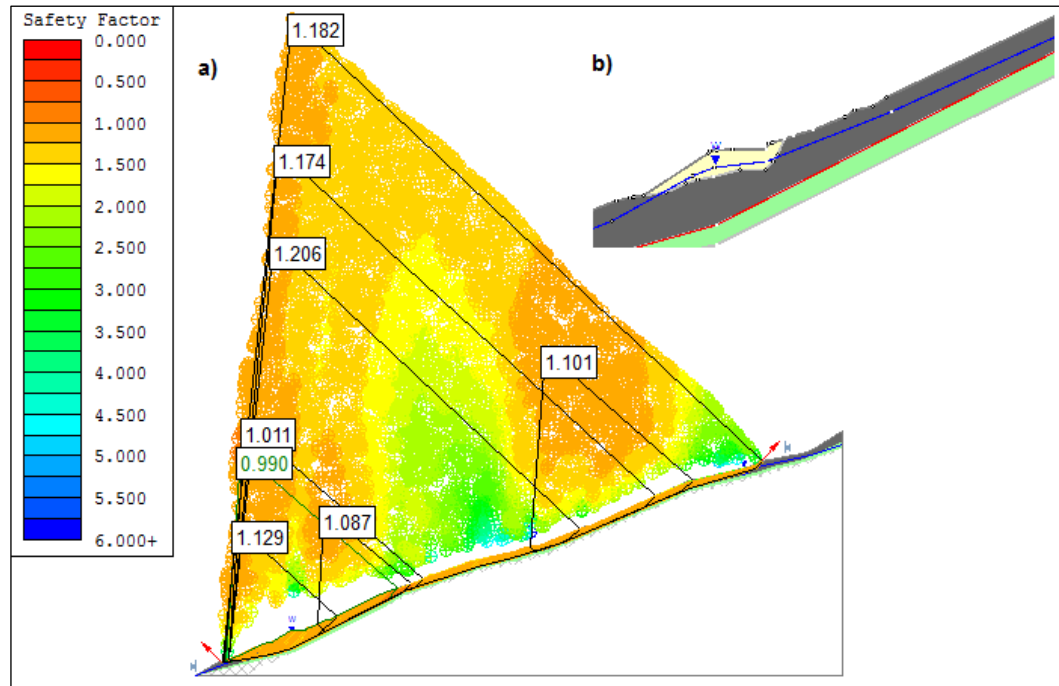


Slika 8: Stabilnostna analiza po metodi Bishop - varianta I.

### 3.3 Varianta II: Boljše karakteristike materiala in visok vodostaj

Varianta II je zajemala boljše mehanske karakteristike materiala in višji nivo podzemne vode. Ker so drsine plazu poznane, smo vodostaj spreminjali do takšne mere, da je bil varnostni faktor blizu 1 (0,990) (slika 9). Dobljeni rezultati podajajo kritične pogoje za nastanek neravnovesja. V času meritev vodostajev je gladina podzemne vode v vrtini V-1 nihala tudi za več kot 12 metrov. Na podlagi teh informacij je varianta II v realnosti z veliko verjetnostjo poglavitni vzrok nastanka plazu. Predpostavljen nivo podzemne vode v modelu je ob upoštevanju dobrih materialnih lastnosti znašal -2 metra. Iz merjenih rezultatov s preglednice 3 je razvidno, da je takšno stanje v naravi povsem mogoče.





Slika 9: (a) Stabilnostna analiza po metodi Bishop - varianta II in (b) nivo podzemne vode v varianti II v bližini cestnega odseka.

### 3.4 Predstavitev rezultatov povratne analize in dodatne ugotovitve

Rezultati obeh variant kažejo, da se je drsina lahko sprožila v pogojih variante I ali variante II. Oba primera, z vidika nivoja podzemne vode, se lahko z zadostno verjetnostjo v realnosti tudi pojavita, saj se iz pridobljenih rezultatov terenskih raziskav to enolično opazi. Zavedati se moramo, da se je v resnici plaz sprožil zaradi pogojev, ki so nekakšna mešanica obeh variant, saj so tudi mehanske karakteristike materialov različne od lokacije do lokacije ter v povprečju nekje na sredini obeh skrajnih vrednosti. Iz stabilnostnih analiz v programu Slide je bilo ugotovljeno tudi, da so nekatere manjše krožne lokalne in plitvejšje drsine še bolj ogrožene. Posledično smo prišli do sklepa, da se je plaz sprožil postopoma. Močno deževje je oslabilo material v zgornjih plasteh in le-ta je počasi začel polzeti, ker pa je to zmanjšalo odpornost spodnjih plasti se je globalna drsina izoblikovala na stičišču plasti permokarbonske preperine in plasti preperine apnenca.

V vsaki stabilnostni analizi smo preverili varnostne faktorje šestih drsin, katerih odlomne robove poznamo s terenskih ogledov in geodetskega načrta. Varnostni faktorji teh šestih drsin so prikazani na sliki 8 in 9. Za nadaljnje izračune podpornih konstrukcij so merodajne prve tri drsine z odlomni robovi oddaljenimi 16 m, 50 m in 79 m od notranjega robu ceste. Ostale tri drsine, ki so od ceste oddaljene 175 m in več, se zaradi geološkega stanja na nekaterih mestih same zaklinjajo v teren. Varnostni faktorji oddaljenejših drsin so torej večji, kot jih je izračunal Slide.

Spodnja preglednica (preglednica 4) navaja uporabljene mehanske karakteristike v obeh variantah povratne analize.

Preglednica 4: Primerjava izbranih materialnih karakteristik s povratne analize.

	Material	Nasip	Preperina permokarbona	Preperina apnenca	Apnenec
Varianta I	Prostorninska teža ( $\gamma$ ) v [kN/m <sup>3</sup> ]	23	20	22	25
	Strižni kot ( $\varphi'$ ) v [°]	35	21	34	48
	Kohezija ( $c'$ ) v [kPa]	0	0	0	200
Varianta II	Prostorninska teža ( $\gamma$ ) v [kN/m <sup>3</sup> ]	23	20	22	25
	Strižni kot ( $\varphi'$ ) v [°]	38	24	40	48
	Kohezija ( $c'$ ) v [kPa]	0	5	5	200

## 4 IZBOR MOŽNIH SANACIJ

### 4.1 Jekleni most

Tekom izdelave diplomske naloge smo prišli do ideje jeklenega mostu preko plazu. Z njim bi rešili problem prevoznosti ljudi na relaciji Jesenice–gostišče Betel ter izognili bi se obremenitvi plazu na konstrukcijo. Vendar s tem ukrepom ne bi zagotovili globalne stabilnosti območja. Plaz bi nemoteno plazil pod konstrukcijo proti strugi Črnega potoka, ki bi jo v prihodnosti lahko zasul in povzročil še več novih problemov. Nemoteno plazenje pobočja bi lahko povzročilo širjenje plazu in v skrajnih primerih bi plaz začel ogrožati podpornike mostu.

Za realizacijo takšne ideje bi morali vložiti mnogo več denarja v raziskave in tudi druge pasivne ukrepe, da bi se plazeče območje stabiliziralo. Z dodatnimi raziskavami, bi iskali predvsem uporabna temeljna tla za mostne podpornike. Poleg tega pa je tovrstna gradnja neprimerna za lokalno cesto, kjer je trasa ceste speljana skozi S krivino ter tudi povprečna gostota prometa v sezoni manjša od 200 vozil/dan. Zahtevna gradnja, dodatne raziskave, veliki stroški in večji poseg v naravo so ključni razlogi, da smo idejo o jekleni premostitvi opustili.

### 4.2 Konzolna podporna konstrukcija

Cesto preko plazu Planina pod Golico bi lahko podprli s konzolno pilotno steno, ki bi bila primerno vpeta v skalno osnovo iz apnenca. Konzolna konstrukcija je zgrajena iz pilotov, ki so medsebojno na vrhu povezani z gredo. Stena zgolj s svojo vpetostjo v tla in upogibno odpornostjo podpira brežino. Ker ima konzolna stena bistveno manjšo upogibno togost, kot sorodna podporna sidrana stena (sidro prevzame velik del obtežbe in tako se stena bistveno manj deformira), bi bile potrebne dimenzije tlorisnega prereza konzolne stene bistveno večje. Velikost momenta (cca. 3570,4 kNm) na največji globini (11,5 m) drsne ploskve plazu (stik sloja 2 in 3 v vrtini V-1) bi povzročal zelo veliko obremenitev na konzolno steno. Največji moment v konzolni konstrukciji ob vpetju pa bi znašal skoraj 6200 kNm. Dimenzije prečnega prereza konstrukcije bi bile na račun takšne obremenitve močno povečane. Tudi višina oz. globina takšne stene bi bila za cca. 5–6 metrov globlja, kar pa bi pomenilo dodatne izkope v trden apnenec, večjo obrabo strojev in daljši delovni čas izgradnje. Vsi ti razlogi posledično povečajo stroške izgradnje.

Na podlagi teh argumentov in geotehniških raziskav smo se v konkretnem primeru plazenja v območju vasi Planina pod Golico odločili izločiti tudi to varianto.



Slika 10: Stroj za gradnjo pilotov (Oblak, A.).

### 4.3 Sidrana podporna konstrukcija

Plazeče območje v Planini pod Golico bi lahko stabilizirali z izgradnjo sidrane podporne konstrukcije. Le-ta je zgrajena iz pilotov premera od 80 do 150 cm, ki so med seboj na vrhu povezani z gredo. Ker greda predstavlja viden del konstrukcije, jo je smiselno lepo oblikovati (posneti robovi, kvaliteten beton in opaž). Poleg omenjenega pa takšne konstrukcije vsebujejo še geotehnična sidra, ki delujejo kot natezna vez. Veliko pozornosti je potrebno posvetiti pri vgradnji sider, saj predstavljajo pomemben člen konstrukcije in so kakršnekoli poškodbe nedopustne. V vlažnih tleh jih je potrebno ustrezno zaščititi pred korozijo. Sidro prevzame pomemben del obremenitve stene in tako razbremeni armiranobetonsko pilotno steno. Posledično so takšne konstrukcije, zaradi manjših notranjih sil v pilotih, lahko tanjše in plitveje vpete v podlago. Za razliko od konzolnih sten tu dodaten strošek predstavljajo sidra, vendar so na račun manjšega izkopa in manjše porabe materiala (beton, armatura) stroški konstrukcije dokaj enakovredni. Poleg stroja za izgradnjo pilotov (na sliki 10) pa potrebujemo še opremo za vgradnjo in napenjanje geotehničnih sider (slika 11) [7].

Aktivni plaz Planina pod Golico povzroča veliko obremenitev na konstrukcijo, zato je za stabilizacijo terena najbolj primerna izvedba sidrane pilotne stene. Okvirna ocena velikosti momenta (cca. 1229,6 kNm), ki obremenjuje sidrano konstrukcijo na globini 11,5 metra (stik sloja 2 in 3), je do trikrat manjša kot pri konzolni konstrukciji.



Slika 11: Napenjanje geotehničnega sidra (kontrolno sidro [8]).

Na plazu Planina pod Golico je poleg manjše obremenitve pilotov zaradi geotehničnih sider ključni razlog za izbiro sidrane konstrukcije izločitev globokega vrtnja v trden apnenec, ki lahko močno oteži delo. V spodnji preglednici si lahko ogledate primerjavo konzolne in sidrane konstrukcije.

Preglednica 5: Primerjava konzolne in sidrane konstrukcije.

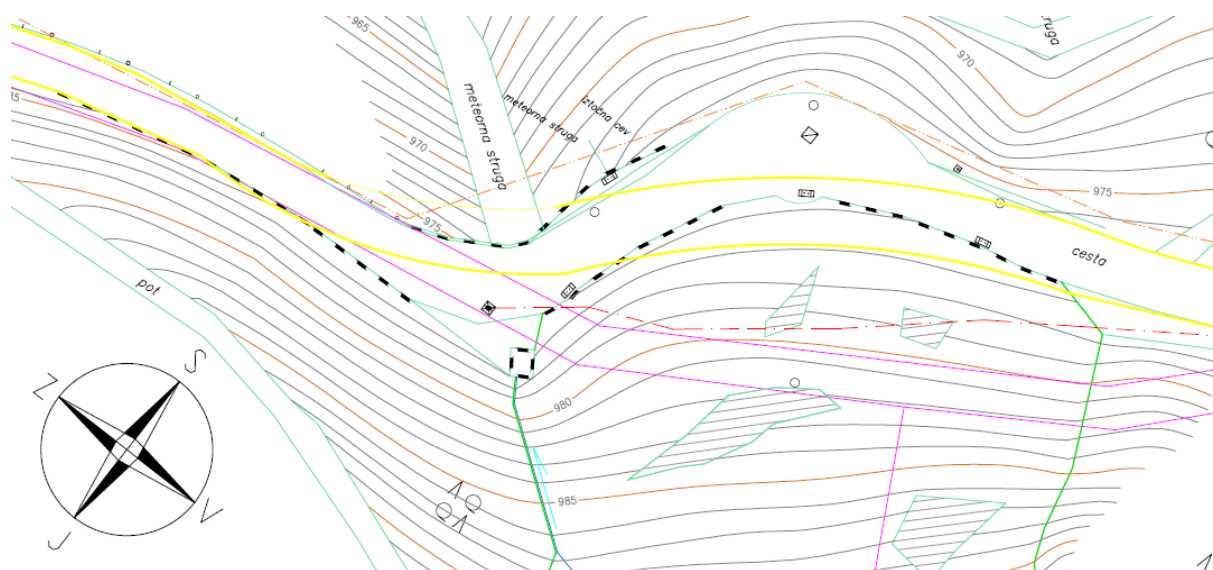
<b>Konzolna konstrukcija</b>	<b><i>Sidrana konstrukcija</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Večje dimenzije na račun večjih obremenitev pilotov</li> <li>- Globlje vpetje v podlago</li> <li>- Večje dimenzije pomenijo tudi večjo porabo materiala – armiranega betona</li> <li>- Poseg konstrukcije v naravo zgolj v vertikalni smeri</li> <li>- Potrebujemo stroj za izgradnjo pilotov</li> <li>- Večja obraba strojev zaradi globljega vrtnja v trden apnenec</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manjše dimenzije na račun manjših obremenitev pilotov</li> <li>- Manjša poraba armiranega betona</li> <li>- Dodatne stroške predstavljajo geotehnična sidra</li> <li>- Tveganje odpovedi sidra zaradi korozije oz. drugih poškodb pri vgradnji</li> <li>- Poseg konstrukcije v naravo v vertikalni smeri, dodaten tujek predstavljajo horizontalna (oz. poševna) geotehnična sidra</li> <li>- Za izgradnjo potrebujemo več strojne opreme (gradnja pilotov, vgradnja sider)</li> </ul>

## 5 NAČRT SANACIJSKEGA UKREPA

### 5.1 Uvodne besede za načrtovanje ukrepov

Tekom izdelave diplomske naloge smo se večkrat tudi sestali z odgovornimi v samostojnem podjetju, ki je opravilo raziskave tal na območju plazu. Skupne ugotovitve in primerjave možnih sanacij, predvsem pa izračuni obremenitev plazu na konstrukcijo so nas privedli do izbire sidrane podporne konstrukcije (več v poglavju Izbor možnih sanacij).

Pred izračunom potrebnih sil v sidru in dimenzij pilotne stene bomo nekaj besed namenili izbiri poteka ceste. Po primerjavi zemljiškega katastra in geodetskega načrta, ki je bil izdelan 3. 7. 2013, je opazno, da se je notranji rob ceste premaknil za 15 metrov proti grapi Črnega potoka. Predlagamo, da se cesto na tem mestu na novo trasira ter premakne za cca. 7–8 metrov proti pobočju. S tem omogočimo, da promet med gradnjo poteka po trenutni obstoječi trasi. Večji ukrepi premikanja ceste niso potrebni, saj se tako izognemo električnim napeljavam ter tudi višinske kote nivelete so primerne za izgradnjo nove trase. Za natančne dimenzije prečnega profila ceste bi bilo potrebno v pogovor vključiti tudi strokovnjaka na tem področju, sicer pa bi 5 metrov široka cesta glede na strukturo, gostoto in časovno porazdelitev prometa ter topografijo terena, prometno pomembnost in hitrost vožnje na tem odseku že zadostovala (vozni pas + širina bankine = 2 x 2,00 m + 2 x 0,50 m). S predlagano linijo ceste (slika 12), bi izboljšali tudi preglednost in varnost v prometu.



Slika 12: Predlagana trasa nove ceste - rumena barva (vijolična – zemljiški kataster, zelena – meja plazu, rdeča – električna napeljava visoke napetosti) [4].

Model in izračune sidrane pilotne stene in AB opornega zidu smo prilagodili predlaganemu poteku nove ceste, ki poteka v S krivini.

## 5.2 Opis numeričnih modelov in dimenzije konstrukcij

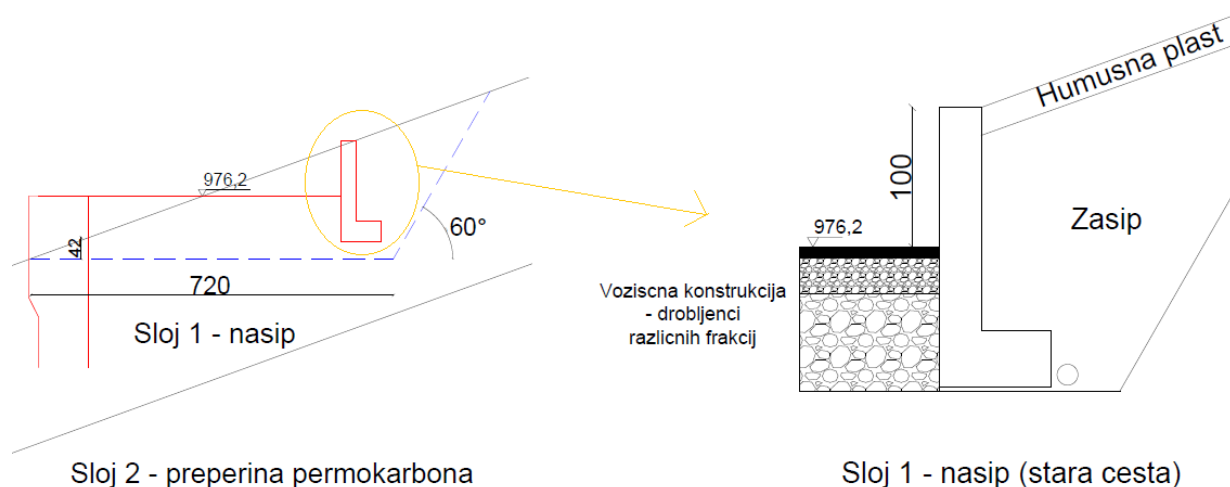
Na zgornjem robu ceste smo predvideli plitvo temeljeni armiranobetonski oporni zid, za stabilizacijo plazzu pa bo izvedena sidrana pilotna stena na spodnjem robu cestnega odseka. Obe konstrukciji bosta zgrajeni iz betona C25/30 in armirani z jeklom kvalitete S500. Pilotno steno smo preračunali tako na pogoje variante I (nizek vodostaj, slabše materialne karakteristike), kot tudi variante II (visok vodostaj, boljše materialne karakteristike), medtem ko smo AB zid preverili le na pogoje variante I, saj so slabše materialne karakteristike merodajne, kajti visok nivo podzemne vode iz variante II ne obremenjuje AB opornega zidu.

*Opomba:* Debeline slojev v računih se razlikujejo od izmerjenih debelin v vrtnah V-1 do V-4, zaradi predpostavljene trase nove ceste. Izmerili smo jih v Slide-u, kjer smo zaradi pomanjkanja vrtnin v višje ležečem območju plazovine predpostavili, da plasti potekajo vzporedno s pobočjem.

### 5.2.1 Armiranobetonski oporni zid

Predlagan potek nove trase bo na območju plazzu potekal v vkopu. Cestišče bomo pred nestabilno brežino na zgornjem robu zaščitili z armiranobetonskim (AB) opornim zidom. Za AB zid smo izbrali obliko L, ki ima svoj temelj orientiran proti zaledju (slika 13). Dobra lastnost takšne oblike je, da teža zasipnega materiala močno pripomore k stabilnosti konstrukcije. Izbira oblike, ki prinese večjo stabilnost pa privede do dodatnih stroškov na račun večjega izkopa zalednega materiala. V želji po razbremenitvi plazovine pod sedanjo cesto, smo načrtovali, da tamkajšnji nasipni material (zmes sloja 1 in sloja 2) izkopljemo in uporabimo za zasutje zaledja AB opornega zidu. Ker ima material pod cesto boljše materialne karakteristike, kot preperina permokarbonska, bomo s tem ukrepom povečali stabilnost opornega AB zidu na prevrnitev in zdrs ter poskrbeli za boljše odvodnjavanje. Ob dno temelja na zaledni strani, bi vgradili drenažno cev  $\Phi 150$  mm ter vodo kontrolirano vodili do zbiralnikov in pod cesto do urejenega odtoka in naprej do struge Črnega potoka. Vrhno plast zaledja, debeline 20–25 cm, bi se humusiralo in zatravilo v naklonu  $20^\circ$ .

Za izračun zemeljskih pritiskov smo uporabili slabše materialne karakteristike, kot smo jih predpisali za sloj 1 (nasip), saj smo s tem zajeli še neugoden vpliv aktivnega plazzu v zaledju ter smo z omenjeno poenostavitvijo dimenzioniranja na varni strani. V izračunih smo za humusni sloj predpostavili enake materialne karakteristike kot za zaledni material, saj smo s tem še bolj na varni strani. Izbrane karakteristične vrednosti materialnih lastnosti zasipnega materiala so  $\varphi = 30^\circ$ ,  $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 0 \text{ kPa}$ .



Slika 13: Izkop – modra črta (levo) in končno stanje opornega zidu (desno).

Kontroli mejnih stanj zdrsa temelja in nosilnosti tal smo preverjali po projektnem pristopu 2 (PP2) na dva načina. V prvem primeru upoštevamo, da lastna teža zidu, teža zasipa nad temeljem deluje ugodno (PP2 I), v drugem pa neugodno (PP2 II). Sile teže zidu in zasipnega materiala po PP2 I množimo z delnim faktorjem  $\gamma_e = 1,00$ , po PP2 II pa z delnim faktorjem  $\gamma_e = 1,35$ . Sile, ki nastopijo zaradi aktivnih zemeljskih pritiskov za konstrukcijo obravnavamo kot neugodne, zaradi pasivnih pritiskov pred konstrukcijo pa kot ugodne [9].

Omenimo, da sili, ki izhajata iz enakega vira, množimo z enakim delnim faktorjem, čeprav lahko ena deluje ugodno druga pa neugodno.

### REZULTATI :

Naklon zaledja ter koeficienta aktivnega zemeljskega pritiska zasipnega materiala po metodi Coulomb-a (karakteristične vrednosti):

$$K_a = 0,414$$

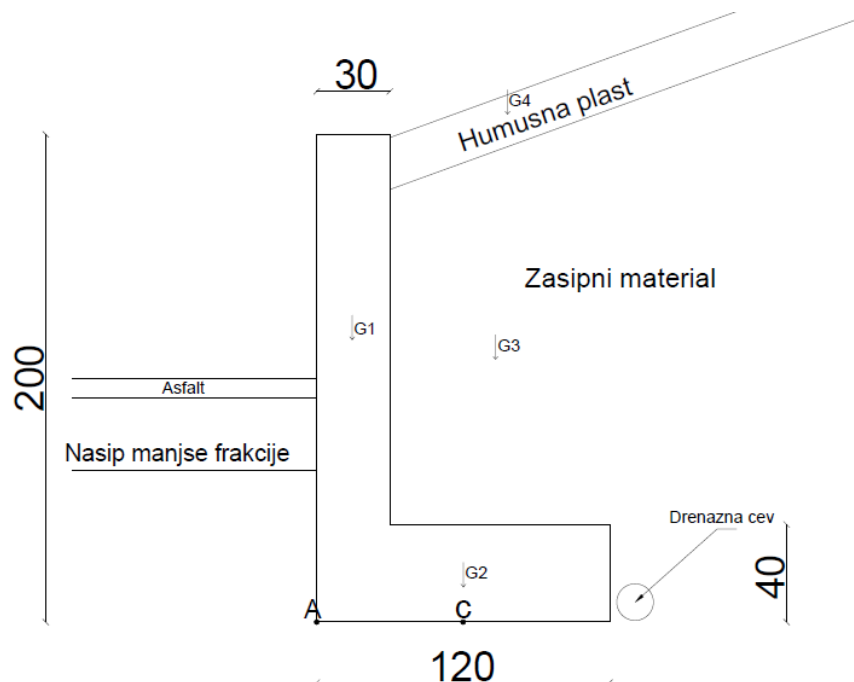
$$\beta = \delta = 20^\circ$$



Preglednica 6: Vpliv karakterističnih sil zaradi zemeljskih pritiskov.

Opis	Oznaka	Karakteristične vrednosti		
		Sila (kN/m)	Ročica C (m)	Ročica A (m)
Horizontalna komponenta sile aktivnega zemeljskega pritiska	$E_{ah,k}$	24,25	0,78	0,78
Vertikalna komponenta sile aktivnega zemeljskega pritiska	$E_{av,k}$	8,83	-0,60	-1,20

Dimenzije AB opornega zidu smo določili na podlagi izračunanih sil zaradi zemeljskih pritiskov. Rezultante zemeljskih pritiskov so zbrane v preglednici 6, sile teže zidu in zasipa nad temeljem pa v preglednici 7. Višino zidu smo načrtovali glede na višino nivelete notranjega robu ceste ter globine temeljenja. Niveleta novega poteka ceste bo cca. 1 meter pod sedanjim terenom, temelj pa bo, zaradi visoke nadmorske višine in lege naselja Planina pod Golico posledično bolj podvržen zmrzovanju, od nivelete dodatno nižji za 1 meter. Zaradi aktivnega plazanja smo v izračunih varnost zagotavljali brez upoštevanja materiala pred zidom, saj smo s tem na varni strani. Ostale dimenzije (slika 14) so pridobljene na račun izpolnjevanja zahtev Evrokoda 7 glede zdrsa, prevrnitve in nosilnost tal.



Slika 14: Dimenzije AB opornega zidu – končni sloji.

Pri izračunih smo predpostavili, da je temelj zidu pravokotnik, sicer pa bi zgornjo stranico pete temelja zgradili v rahlem naklonu ( $2^\circ$ ), da bi se zaledna voda stekala proti drenažni cevi. Pri poznanih dimenzijah zidu smo izračunali še sile, ki nastopijo zaradi teže zidu in zasipa.

Preglednica 7: Sile, zaradi teže zidu in zasipa po segmentih.

		Karakteristične vrednosti		
Opis	Oznaka	Sila (kN/m)	Ročica C (m)	Ročica A (m)
Vertikalen zid	G1,k	12,00	0,45	-0,15
Temelj zidu	G2,k	12,00	0,00	-0,60
Zasip □	G3,k	33,12	-0,15	-0,75
Zasip ◀	G4,k	3,39	-0,30	-0,90
Rezultirajoča	<i>sila</i>	60,51	-0,01	-0,61

(Op: Negativne vrednosti v preglednici 6 in 7 pomenijo dolžino ročice desno od točke vrtišča, pozitivne vrednosti pa levo od le-te.)

## KONTROLE:

### a. Zdrs

Zaradi aktivnega pobočja smo konstrukcijo dimenzionirali na stanje, ko prednjo še ni nasut drobljenec, ki služi za nosilnost voziščne konstrukcije. S tem smo izločili ugodne učinke pasivnih pritiskov ter odpornost ( $H_d < R_d = V_d \cdot \tan \delta_d / \gamma_{R,h}$ ) zidu proti zdrsni zagotovili zgolj s trenjsko komponento  $R_d$ , ki je odvisna od strižnega kota  $\delta_d$  in pravokotne komponente sile na temeljno ploskev  $V_d$ . Temelje bodo betonirali na mestu gradnje, torej velja  $\delta = \varphi$ . Zagotovili smo, da je sila aktivnega zemeljskega pritiska  $H_d$  manjša od odpornostnih sil (preglednica 8).

Preglednica 8: Kontrola proti zdrsni brez pasivnih pritiskov.

	$H_d$ (kN/m)	<	$R_d$ (kN/m)	
PP2 I	32,74	<	38,01	OK
PP2 II	32,74	<	49,13	OK

### b. Prevrnitev

Poleg zdrsne smo opravili tudi kontrolo proti prevrnitvi ( $M_{dstb} < M_{stb}$ ). Preverjali smo velikosti momentov na točko A (slika 14), pri čemer smo momente, ki povzročajo prevrnitev množili s faktorjem  $\gamma_{dstb} = 1,1$ , momente sil, ki zagotavljajo varnost pa z  $\gamma_{stb} = 0,9$  (preglednica 9).

Preglednica 9: Kontrola prevrnitve.

	$M_{dstb}$ (kNm/m)	<	$M_{stb}$ (kNm/m)	
brez Ep	20,70	<	32,41	OK

### c. Nosilnost temeljnih tal

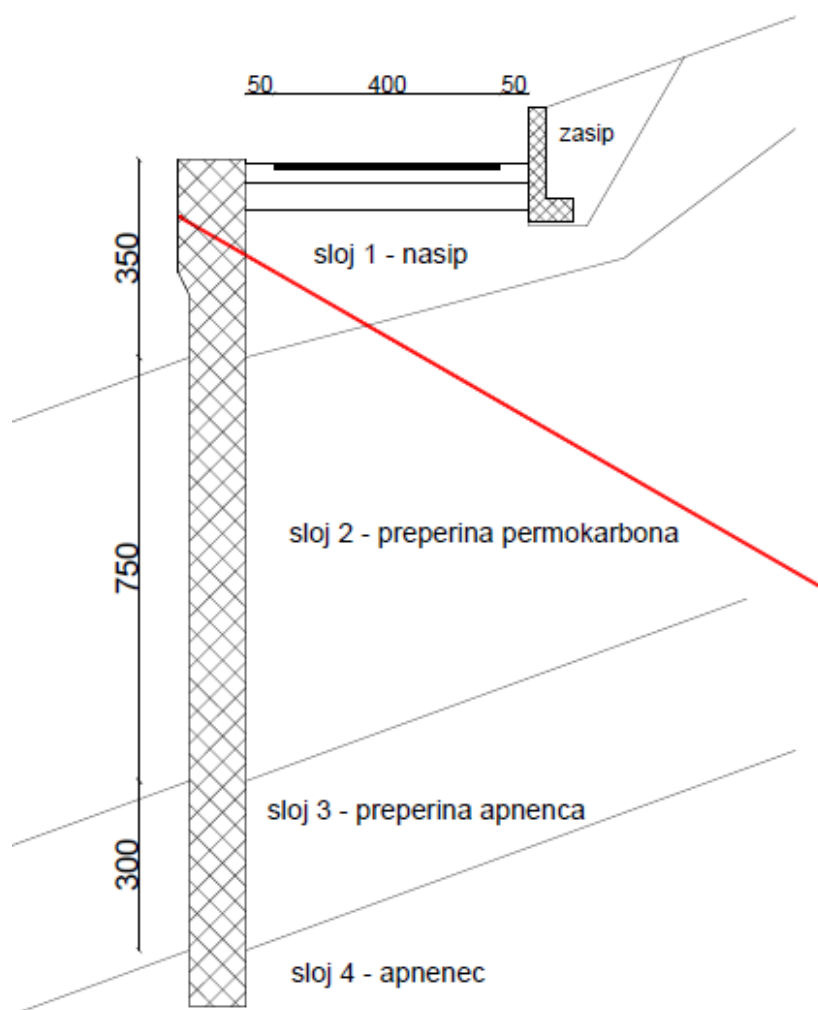
V konkretnem primeru plazu Planina pod Golico je AB oporni zid, ki bo podpiral zgolj majhen del zaledja zemljine, relativno malo obtežen v vertikalni smeri. Zemljina v zaledju pa povzroča relativno veliko horizontalno silo in posledično je za dimenzioniranje zidu merodajna kontrola nosilnosti tal ( $V_d < R_d$ ). Nosilnost temeljnih tal nasipnega materiala  $R_d$  mora biti v primerjavi z obtežbo  $V_d$  torej večja (preglednica 10).

Preglednica 10: Kontrola nosilnosti temeljnih tal.

	$V_d$ (kN/m)	<	$R_d$ (kN/m)	
PP2 I	72,43	<	78,93	OK
PP2 II	93,60	<	137,41	OK

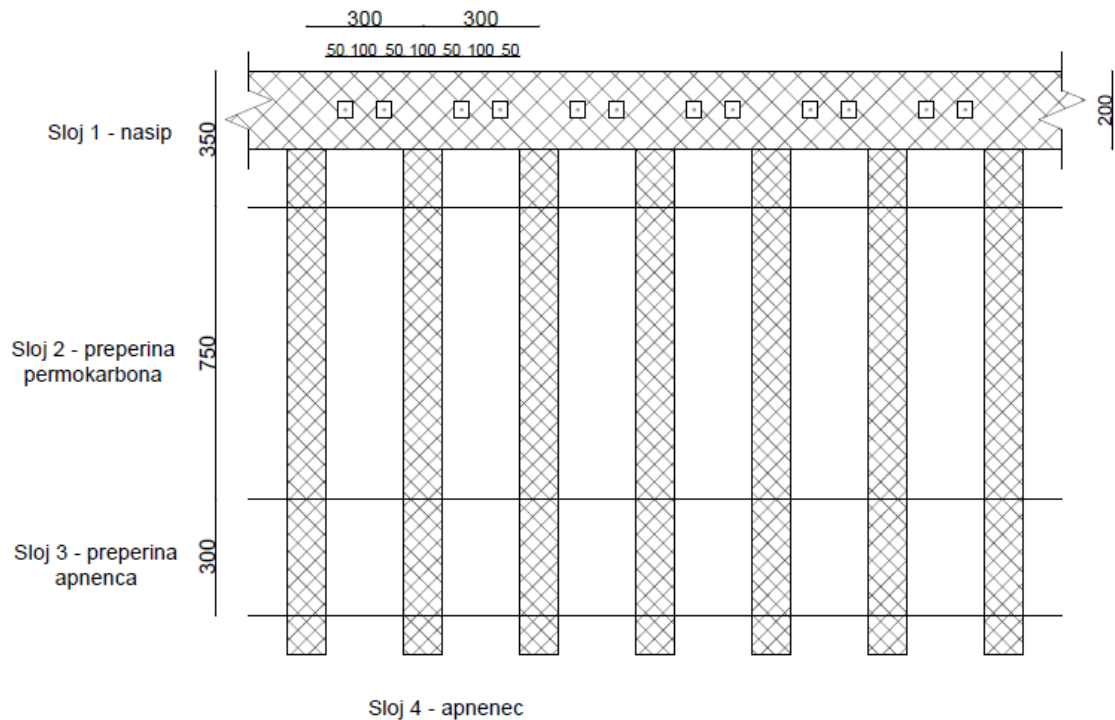
### 5.2.2 Sidrana pilotna stena

Sidrana pilotna stena bo zagotavljala globalno stabilnost območja plazu, ki ogroža cestni odsek. Premer pilotov bo znašal en meter, njihova globina pa bo variirala od 8 metrov na robovih sanacije do 15 metrov na sredini. Ker na spodnji strani stene star nasipni material obremenjuje pobočje, je načrtovano, da se ga odstrani in tako razbremeni spodnjo brežino. Konstrukcija bo na podlagi manjših pasivnih pritiskov zaradi odstranitve starega nasipa, bolj obremenjena in sidrna sila bo večja. Pri načrtovanju modela smo omenjeni ukrep upoštevali v obeh variantah. Debeline slojev so prikazane na sliki 15 in veljajo za obe varianti.



Slika 15: Prečni prerez - debeline slojev.

Piloti bodo grajeni na medsebojni medosni razdalji 3 metrov, v monolitno konstrukcijo pa bodo povezani z gredo. Sidra nosilnosti 977 kN ( $A_p = 750 \text{ mm}^2$ ) bodo vgrajena en meter pod vrhom stene. Med dvema pilotoma bosta dve geotehnični sidri. Vezni del sidra v trdem apnencu bo dolg 6 metrov, torej bo celotna sidrna dolžina variirala od 20 metrov na robovih do 28 metrov na sredini konstrukcije. Za načrtovano sidrano pilotno steno bo potrebnih 21 pilotov in 40 sider. Celotna dolžina sidrane stene bo znašala 61 metrov (slika 16, 17) [10].



Slika 16: Vzdolžni prerez preko sidrane stene - sloji.

### 5.2.2.1 Računska analiza sidrane pilotne stene: Varianta I

Materialne karakteristike so podane v preglednici 5, podzemne vode pa v tej varianti ni. Zaradi aktivnega plazenja smo v zaledju upoštevali mirne zemeljske pritiske, pred konstrukcijo pa reducirane pasivne pritiske. Le-te smo izračunali s pomočjo faktorja  $k_p$ , ki smo ga definirali z naslednjo formulo:

$$k_p = \frac{1}{k_o} \quad (1)$$

V enačbi (1)  $k_o$  predstavlja oznako za faktor mirnih zemeljskih pritiskov. S temi ukrepi smo povečali obremenitve v zaledju, pred konstrukcijo pa smo zmanjšali ugoden vpliv materiala preperine permokarbona in preperine apnenca. Dodatni varnejši ukrep, kot je uporaba faktorja aktivnih zemeljskih pritiskov, je nesmiseln, saj je material pod cesto stabilen v primeru zaustavitve plazu nad sidrano pilotno steno. Poleg tega se pod cesto nahajajo velike skale apnenca, ki dodatno stabilizirajo teren.

Rezultante zemeljskih pritiskov in sidrne sile so izračunane na meter dolžine sidrane pilotne stene ter so podane v preglednici 11.

Preglednica 11: Rezultante zemeljskih pritiskov in sidrna sila – varianta I.

Aktivno stanje					Pasivno stanje				
z	Eov (kN)	Eoh (kN)	e° (m)	M° (kNm)	z	Epv (kN)	Eph (kN)	e° (m)	M° (kNm)
0,0					0,0				
3,5	34,98	96,1	2,33	-224,24	3,5				
3,5					11,0	-149,96	412,02	8,5	3502,19
11,0	435,72	1197,13	7,85	-9400,95	11,0				
11,0					14,0	-213,05	585,34	12,59	7369,53
14,0	202,9	557,46	12,56	-7003,18	Apnenec				
Apnenec									
<b>SIDRNA SILA <math>F_s = 553,75</math> kN/m (<math>F_s = 830,63</math> kN/sidro)</b>									

### 5.2.2.2 Računska analiza sidrane pilotne stene: Varianta II

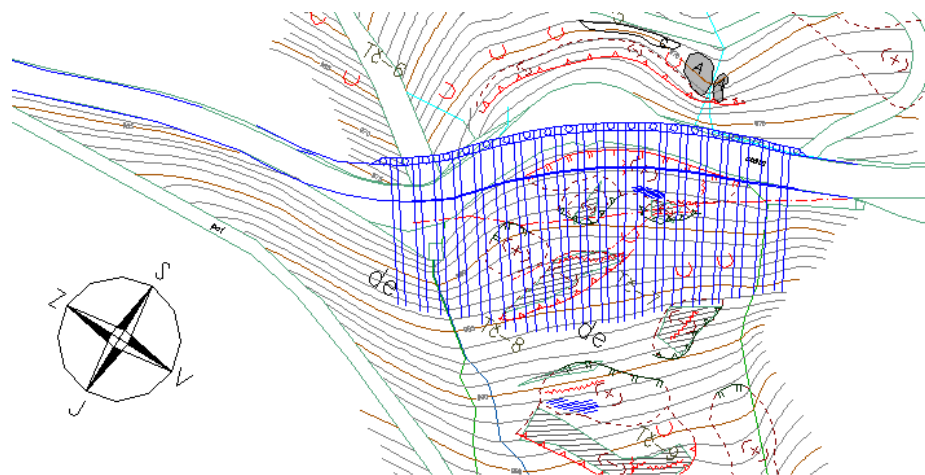
Nivo podtalnice smo v varianti II določili na globini 2,0 metra v zaledju in 0,5 metra pod površjem na spodnji strani, materialne karakteristike so vzete iz preglednice 5. V tej varianti smo uporabili enak pristop uporabe faktorjev zemeljskih pritiskov kot v varianti I.

Rezultante zemeljskih pritiskov in sidrne sile so izračunane na meter dolžine sidrane pilotne stene ter so podane v preglednici 12.

Preglednica 12: Rezultante zemeljskih pritiskov in sidrna sila – varianta II

Aktivno stanje					Pasivno stanje				
z	Eov (kN)	Eoh (kN)	e° (m)	M° (kNm)	z	Epv (kN)	Eph (kN)	e° (m)	M° (kNm)
0,0					0,0				
2,0	10,29	28,28	1,33	-37,71	3,5				
3,5	18,71	62,67	2,85	-177,4	4,0	-2,09	5,74	3,78	21,7
3,5					11,0	-109,99	547,2	8,42	4616,28
11,0	235,96	1042,03	7,94	-8239,98	11,0				
11,0					14,0	-151,38	670,9	12,59	8444,27
14,0	89,31	560,38	12,57	-7042,71	Apnenec				
Apnenec									
<b>SIDRNA SILA <math>F_s = 370,1</math> kN/m (<math>F_s = 555,16</math> kN/sidro)</b>									

V preglednici 11 in 12 so prikazane izračunane potrebne sidrne sile, vendar se bodo te od dejanskih sil v sidru po izgradnji stene močno razlikovale, saj smo načrtovali, da bomo konstrukcijo vpeli vsaj en meter v kompaktni apnenec. Izračunani globini vpetja sta veliko manjši in komaj dosežeta trden apnenec (14 – 23 cm). Z večjo vpetostjo v apnenec bomo poskrbeli za večjo robustnost konstrukcije v ne dovolj raziskanih tleh na predlagani lokaciji pilotne stene.



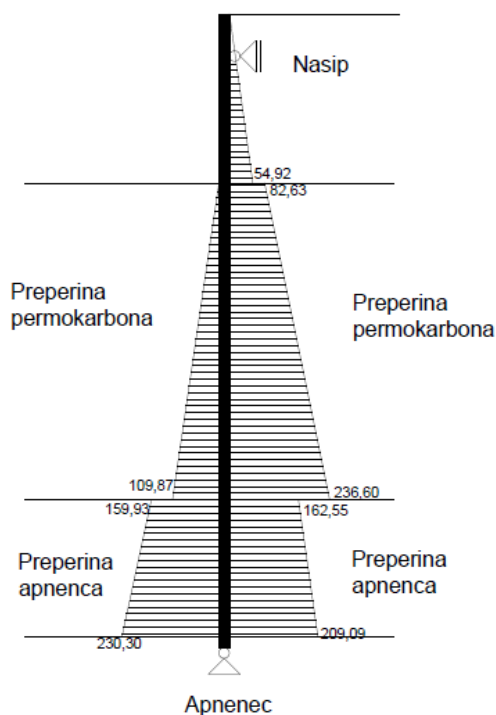
Slika 17: Pilotna sidrana stena v situaciji [4].

### 5.2.3 **Komentar rezultatov sidrane pilotne stene in dokaz nosilnosti konstrukcijskih elementov**

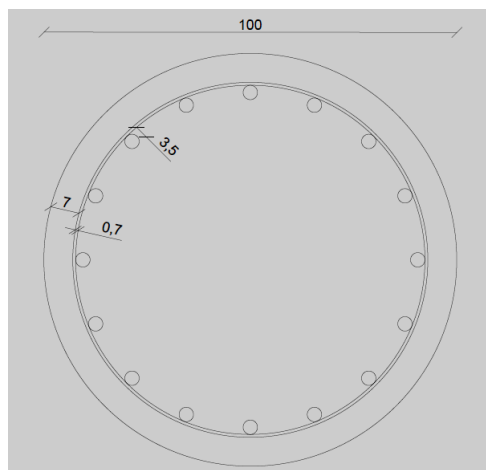
V primeru sidrane pilotne stene se izkaže, da je merodajna varianta I. V izračunu so bile ključnega pomena slabše materialne karakteristike, medtem ko je nivo podzemne vode imel manjši vpliv na konstrukcijo. Toda ne smemo spregledati dejstva, da je do splazitve v dejanskem okolju prišlo, zaradi obilnih padavin in dviga podzemne vode. Poleg večjega napetja sider po varianti I bo potrebno načrtovati tudi ustrezne elemente odvodnjavanja zaledne vode. V varianti II smo predpostavili, da nivo podzemne vode ostane enak, kot v povratni analizi, čeprav se voda ne bo zadrževala za pilotno steno, saj bomo z ustreznimi ukrepi vodo kontrolirano odvedli do struge Črnega potoka.

Dodatno varnost proti nadaljnjemu zdrs, ki je v povratni analizi in posledično v izračunih nismo upoštevali, nam nudi sama geometrija plazečega okolja, saj se plaz na določenih mestih sam zaklinja ter tako zavira gibanje celote. Ugoden vpliv na zaviranje imajo tudi samice apnenca, predvsem v spodnjem delu plaz, ki delujejo kot nekakšni razbijači moči.

Dimenzioniranje pilotov je bilo izvedeno na podlagi velikosti notranjih statičnih količin zaradi obremenitve z zemeljskih plazom. Notranje statične količine smo izračunali po modelu prostoležečega vertikalnega nosilca s previsnim robom (slika 18) in dobili sledeče rezultate: prečna sila doseže vrednost 472,2 kN, medtem ko je največji moment v steni enak 1899,8 kNm. Omenjene obremenitve prevzamemo z armiranimi piloti (slika 19). Dimenzije armature so podane v preglednici 13, nosilnosti pilotov pa v preglednici 14.



Slika 18: Izbrani model z obtežbo zemljine posameznega sloja.



Slika 19: Dimenzije pilota in armature (v centimetrih).

Preglednica 13: Dimenzije armature v pilotih.

	<b>Vzdolžna armatura</b>	<b>Prečna armatura - stremena</b>
<b>Premer [mm]</b>	35	14
<b>Št. palic</b>	16	/
<b>Razdalja med stremeni [mm]</b>	/	100



Preglednica 14: Nosilnost načrtovanih pilotov.

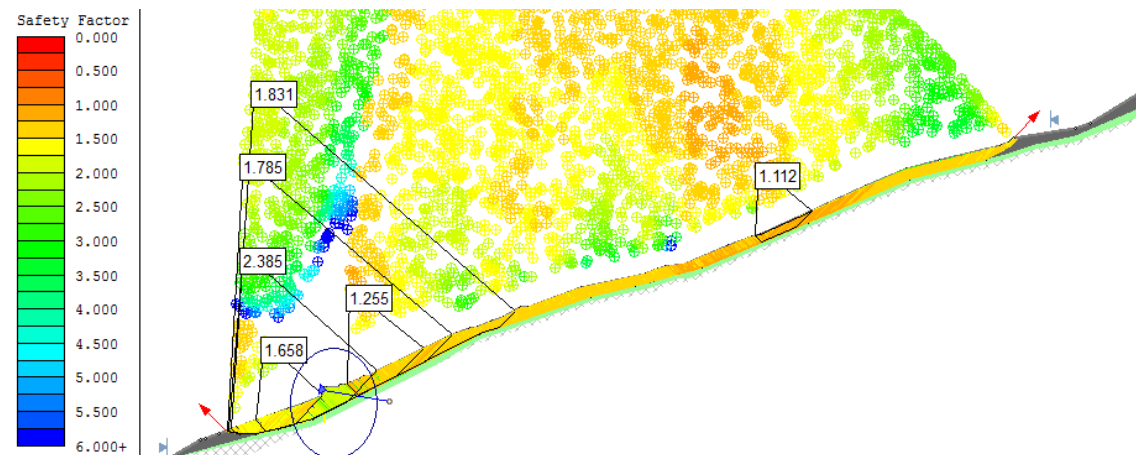
Upogibna nosilnost [kNm]	Strižna nosilnost [kN]
2282,0	518,3

### 5.3 Globalna stabilnostna analiza

#### 5.3.1 Globalna stabilnost - Varianta I

Varnostni faktorji po izgradnji konstrukcijskih ukrepov za varianto I so podani na sliki 18. Glede na izračunano sidrno silo po varianti I smo izbrali ustrezen prerez sidra, da bo pilotna stena zagotavljala stabilnost pobočja. V tem primeru, kjer z dodatnimi ukrepi (npr. znižanje nivoja podzemne vode – v varianti I ni vode) ne vplivamo na dogajanje nad konstrukcijo, smo morali s sidrano pilotno steno zagotoviti zadostno varnost tudi do 90 metrov nad cesto, saj bi se lahko tvorile plitvejše drsine in novi plaz bi ogrozil cesto.

Manjša varnost pobočja se pojavlja v zgornjem delu plazu (slika 20, preglednica 15), ki pa nima vpliva na poškodovan cestni odsek. Ob intenzivnem spreminjanju površja na tem območju plaz bi se načrtovalo nove rešitve, za katere pa menimo, da trenutno niso potrebne.



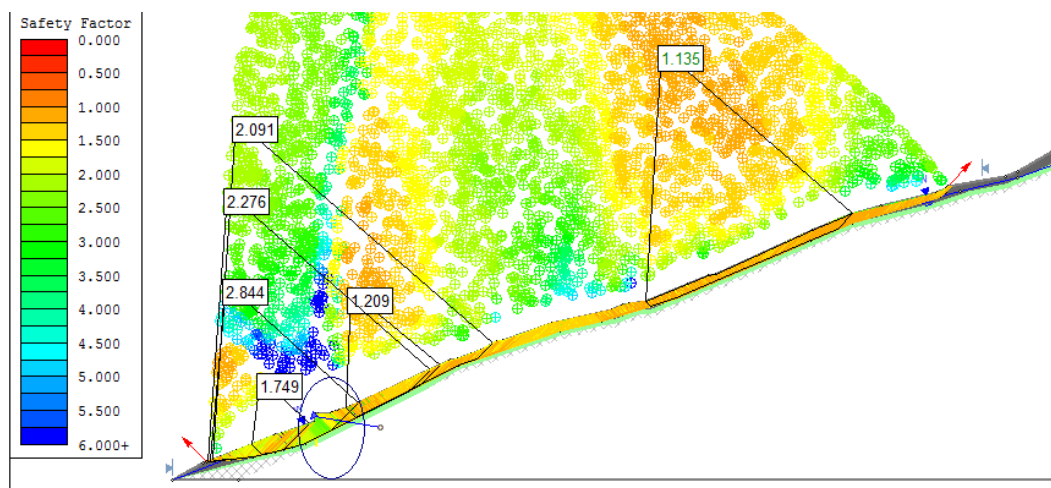
Slika 20: Globalna stabilnost po metodi Bishop - varianta I (modra elipsa – lokacija ceste).

Preglednica 15: Materialne karakteristike - varianta I

	Material	Nasip	Preperina permokarbona	Preperina apnenca	Apnenec
Varianta I	Prostorninska teža ( $\gamma$ ) v [kN/m <sup>3</sup> ]	23	20	22	25
	Strižni kot ( $\varphi$ ) v [°]	35	21	34	48
	Kohezija ( $c$ ) v [kPa]	0	0	0	200

### 5.3.2 Globalna stabilnost - Varianta II

Varnostni faktorji v globalni stabilnostni analizi za varianto II so prikazani na sliki 21. Dobljeni faktorji ustrezajo zahtevam Evrokoda, čeprav so pridobljeni ob manjši izračunani sidrni sili za varianto II (v primeru sidrne sile – varianta I bi bili le-ti še večji). V izračunih smo uporabili materialne karakteristike iz preglednice 16.



Slika 21: Globalna stabilnost po metodi Bishop - varianta II (modra elipsa – lokacija ceste).

Preglednica 16: Materialne karakteristike - varianta II

	Material	Nasip	Preperina permokarbena	Preperina apnenca	Apnenec
Varianta II	Prostorninska teža ( $\gamma$ ) v [kN/m <sup>3</sup> ]	23	20	22	25
	Strižni kot ( $\varphi$ ) v [°]	38	24	40	48
	Kohezija ( $c$ ) v [kPa]	0	5	5	200

### 5.3.3 Komentar stabilnostnih analiz

Večja varnost v dejanski situaciji plazu Planina pod Golico bo zagotovljena z dodatnimi ukrepi (odvod zaledne vode, ureditev brežine in bližnjega vodotoka), ki v modelu niso bili zajeti. Zaledna voda se ne bo zbirala za konstrukcijo, ampak bo po drenažnih ceveh in cevni prepustih odtekala na spodnjo stran ceste, ter se po urejenem vodotoku izlivala v strugo Črnega potoka.

Dodatni manjši ukrep bi bil ponovna pogozditev območja. Za ustrezno izbiro vrste dreves oz. grmovnic predlagamo posvet z inženirji gozdarstva, vsekakor pa predlagamo vrsto, ki ima globoke korenine in potrebuje dovolj vlage, saj bi se tako pobočje stabiliziralo in lokalno izsušilo.

## 6 ZAKLJUČEK

Tekom izdelave diplomske naloge smo prišli do odgovorov, ki smo si jih zadali v uvodnem poglavju – namen in cilji diplomske naloge.

V poglavju povratne analize smo modelirali dve različni varianti, ki sta potencialno možni za sprožitev plazzu. Na podlagi le-te smo v nadaljevanju dimenzionirali sanacijske ukrepe. Rezultate geotehničnih preiskav smo podkrepili z izbranimi robnimi pogoji obeh variant (nivo podzemne vode, materialne karakteristike).

Na podlagi izbranih numeričnih modelov smo načrtovali sanacijski ukrep, ki bi cesti Jesenice – gostišče Betel ponovno vrnil njeno funkcionalno vrednost in varnost. Za sanacijo plazzu predlagamo spremembo osi ceste preko plazzu, podporno konstrukcijo (sidrano pilotno steno) ter armiranobetonski oporni zid nad cesto. Pri tem smo AB zid načrtovali zgolj na merodajno varianto I, medtem ko smo sidrano pilotno steno, ki bo podpirala celotno cestno telo in plazeče območje, dimenzionirali na obe varianti. Kljub temu, da smo sidrano pilotno steno načrtovali na dve povsem različni situaciji robnih pogojev, smo v globalni stabilnostni analizi dokazali, da bo zgrajena konstrukcija nudila zadostno varnost proti nadaljnjemu plazenju v obeh primerih. Ob opisu rešitve za posamezno varianto smo dopisali še dodatne ukrepe, ki bi pripomogli k večji uspešnosti sanacije plazzu Planina pod Golico.

**VIRI**

- [1] Peček, D. 2013. Geotehnično poročilo: Geotehnično poročilo o rezultatih raziskav in pogojih sanacije plazu na Planini pod Golico, občina Jesenice. Ljubljana.
- [2] Občina Jesenice, Planina pod Golico, situacija plazu z vrha  
<http://gis.iobcina.si/gisapp/Default.aspx?a=Jesenice> (6. 4. 2014).
- [3] Klasifikacija plazu – globoki plaz  
[http://sl.wikipedia.org/wiki/Zemeljski\\_plaz](http://sl.wikipedia.org/wiki/Zemeljski_plaz) (12. 4. 2014).
- [4] GEOSFERA, prostorsko načrtovanje, geodetske meritve in svetovanje, d.o.o. in Peček, D. Geodetski načrt. Poslano za: Oblak, A. 14. maj. 2014. Osebna komunikacija.
- [5] Buser, S., Cajhen, J. 1975. Osnovna geološka karta L33-53 Celovec in tolmač. Beograd, Zvezni geološki zavod: 20-22, 25 str.
- [6] Vukadin, V. Modeliranje obnašanje mehkih kamnin in trdih zemljin: 46 str.  
<http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=m81UiU0TlxA%3D&tabid=123> (15. 7. 2014).
- [7] Korpar, L. Projektiranje in izvedba sidranih zidov in pilotnih sten  
<http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=bXXgN6UCtk4%3D&tabid=128> (15. 7. 2014)
- [8] Geotehnično sidro  
<http://www.geotechnicalplayground.co.nz/kawakawa-bay/> (15. 7. 2014)
- [9] Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 7-81 str.
- [10] Geotehnična sidra: str 2  
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR-UNI/F1/sidranje%20konstrukcij.pdf> (17. 7. 2014)