

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidatka:
Tjaša Škabar

Geostatična analiza gradbene jame za hotel Rimske Toplice

Diplomska naloga št.: 3185

Mentor:
prof. dr. Bojan Majes

Somentor:
asist. dr. Boštjan Pulko

Ljubljana, 4. 7. 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **TJAŠA ŠKABAR** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
»GEOSTATIČNA ANALIZA GRADBENE JAME ZA HOTEL RIMSKE TOPLICE«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Tjaša Škabar

Ljubljana, 04.07.2011

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDC: 622.83+624.162.6:640.412(497.4RimskeToplice)(043.2)
Avtor: Tjaša Škabar
Mentor: prof. dr. Bojan Majes
Somentor: asist. dr.Boštjan Pulko
Naslov: Geostatična analiza gradbene jame za hotel Rimske Toplice
Obseg in oprema: 74 str., 33 pregl., 38 sl., 8 en., 19 prilog
Ključne besede: gradbena jama, Rimske Toplice, geostatična analiza, Evrokod 7

Izvleček

V diplomski nalogi sem obravnavala gradbeno jamo hotela Rimske Toplice, ki se nahaja v bližini Celja. Globina jame je približno 21 m. Pri izkopu gradbene jame je prišlo do večjih pomikov na južnem delu, zaradi katerih je prišlo do poškodb na konstrukciji. Potrebna je bila sanacija, v okviru te pa analiza obstoječega stanja in ukrepi za zagotovitev stabilnosti.

Numerične izračune sem naredila s programoma Rocscience Slide 5.0 po lamelni metodi Spencerja in Morgenstern/Price-a ter Plaxis 8.2 po metodi končnih elementov. Obravnavala sem dva geološka profila na južni steni gradbene jame. Profil P7 je na sredini stene, profil P10 pa na robu jame.

Po poružitvi gradbene jame so bile izvedene dodatne geotehnične preiskave. Najprej sem s povratno stabilnostno analizo potrdila stanje na terenu, ustreznost geološko geotehničnih profilov, izmerjenih nivojev vode in mehanske karakteristike zemljin. Stabilizacija zaledja je bila dosežena z zasutjem gradbene jame. Ta ukrep je izkazal zadostno varnost za nadaljnje sanacije. Nato sem preverila dve možni rešitvi:

- izvedba nove sidrne podporne konstrukcije,
- zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž.

Obe možnosti sem izvedla tako, da sta dosegli predpisano varnost.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 622.83+624.162.6:640.412(497.4RimskeToplice)(043.2)
Author: Tjaša Škabar
Supervisor: Prof. Bojan Majes, Ph. D.
Co-supervisor: Assist. Boštjan Pulko, Ph. D.
Title: Geotechnical analysis of deep excavation for the hotel Rimske Toplice
Notes: 74 p., 33 tab., 38 fig., 8 eq., 19 attachments
Key words: deep excavation, Rimske Toplice, geotechnical analysis, Eurocode 7

Abstract

In my thesis I researched the Rimske Toplice excavation, which is located near Celje. The excavation pit depth is approximately 21 m. During excavation large displacements were observed in the southern part of the excavation, which damaged the construction. An analysis of existing situation was needed, then taking appropriate measures and finally remediation.

Numerical calculations were done with Rocscience Slide 5.0, using lamel method by Spencer and Morgenstern/Price and with Plaxis 8.2, using the arc length control method. I chose two geological profiles on the southern wall of the excavation. Profile P7 is located in the centre of the wall and P10 at the edge of the excavation.

Using the back stability analysis in the first part of my thesis, I confirmed the site situation, suitability of geological geotechnical profiles, measured water levels and mechanical characteristics of soils. The situation was checked again after filling up the pit, which was the first measure for stabilizing the excavation. When I confirmed that adequate safety was achieved, next measures were taken using two possible remediations:

- implementation of additional anchored retaining wall,
- filling up the pit for two garage stories.

Both options were considered to achieve the adequate safety.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem somentorju asist. dr. B. Pulku ter mentorju prof. dr. B. Majesu.

Zahvalila bi se tudi svoji družini ter fantu, ki so mi stali ob strani skozi vsa leta študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Splošno o gradbeni jami	1
1.2	Splošno o uporabljenih konstrukcijskih elementih	3
1.2.1	Piloti	3
1.2.2	Geotehnična sidra	4
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA	6
2.1	Opis teoretičnega ozadja	6
2.2	Osnove geotehničnega projektiranja	6
2.2.1	Projektne zahteve.....	6
2.2.2	Projektiranje z računskimi analizami.....	7
2.2.3	Mejno stanje nosilnosti.....	9
2.2.4	Mejno stanje uporabnosti	10
2.3	Podporne konstrukcije – vpete stene	11
2.4	Sidra.....	13
2.5	Globalna stabilnost.....	14
2.6	Numerično reševanje nelinearnih problemov po metodi končnih elementov.....	15
2.7	Povratna stabilnostna analiza	16
3	GRADBENA JAMA RIMSKE TOPLICE	17
3.1	Opis gradbene jame.....	17
3.2	Geologija in geotehnični podatki	17
3.3	Zasnova izvedene varovalne konstrukcije	21
3.4	Stanje na terenu 25.01.2008.....	22
3.5	Opis obravnavanih profilov.....	24
3.5.1	Geološko geotehnični profil P7	24
3.5.2	Geološki prečni profil P10.....	29
3.6	Povratna stabilnostna analiza	33
3.6.1	Stanje ob poružitvi – izkop do kote 256 m.....	33
3.7	Zasutje gradbene jame.....	45
3.8	Predlog sanacijskih ukrepov	52
3.8.1	Rezultati geostatičnih analiz sanacijskih ukrepov	53
3.8.1.1	Izvedba nove sidrne podporne konstrukcije	53

3.8.1.2	Zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž.....	62
3.9	Dimenzioniranje.....	69
3.9.1	Izvedba nove sidrne podporne konstrukcije.....	69
3.9.2	Zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž.....	70
4	ZAKLJUČEK.....	71
4.1	Splošne ugotovitve.....	71
4.2	Ugotovitve o konkretni gradbeni jami	71
VIRI.....		73
PRILOGE		74

KAZALO TABEL

Preglednica 1: Priporočene vrednosti delnih faktorjev za projektiranje podpornih konstrukcij skladno z dodatkom A k Evrokodu 7-1	10
Preglednica 2: Zemljine P7	26
Preglednica 3: Sidra P7	26
Preglednica 4: Karakteristike sider P7.....	27
Preglednica 5: Karakteristike pilotov P7	27
Preglednica 6: Računski koraki P7	28
Preglednica 7: Zemljine P10	30
Preglednica 8: Sidra P10	31
Preglednica 9: Karakteristike sider P10.....	31
Preglednica 10: Karakteristike pilotov P10.....	31
Preglednica 11: Računski koraki P10.....	32
Preglednica 12: Rezultati povratne analize s programom Slide	33
Preglednica 13: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 14.....	37
Preglednica 14: Sile v sidrih, faza 14	38
Preglednica 15: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 5.....	41
Preglednica 16: Sidrne sile, faza 5	41
Preglednica 17: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 6.....	43
Preglednica 18: Sidrne sile, faza 6	43
Preglednica 19: Rezultati po zasutju s programom Slide	45
Preglednica 20: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 16.....	49
Preglednica 21: Sidrne sile, faza 16	49
Preglednica 22: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 7	51
Preglednica 23: Sidrne sile, faza 7	51
Preglednica 24: Rezultati prve sanacijske možnosti s programom Slide	53
Preglednica 25: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 23.....	57
Preglednica 26: Sidrne sile, faza 23	57
Preglednica 27: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 17.....	61
Preglednica 28: Sidrne sile, faza 17	61
Preglednica 29: Rezultati druge sanacijske možnosti s programom Slide	62
Preglednica 30: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 36.....	65

Preglednica 31: Sidrne sile, faza 36	65
Preglednica 32: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 22	68
Preglednica 33: Sidrne sile, faza 22	68

KAZALO SLIK

Slika 1: Gradbena jama Rimske Toplice	17
Slika 2: Jedra vrtine	17
Slika 3: Plasti zemljine	18
Slika 4: Sidrana pilotna stena na južnem delu gradbene jame	22
Slika 5: Razpoka na konstrukciji	22
Slika 6: Drsna ploskev pred konstrukcijo.....	23
Slika 7: Prikaz geoloških profilov	24
Slika 8: Prečni profil P7	25
Slika 9: Razporeditev sider P7.....	25
Slika 10: Mreža končnih elementov P7	27
Slika 11: Vodni pritiski P7	27
Slika 12: Prečni profil P10	29
Slika 13: Razporeditev sider P10.....	30
Slika 14: Mreža končnih elementov P10.....	31
Slika 15: Vodni pritiski P10	32
Slika 16: Deformirana mreža - korak 183 - faza 14	35
Slika 17: Pomiki - korak 183 - faza 14.....	35
Slika 18: Deformirana mreža - korak 72 - faza 5	39
Slika 19: Pomiki - korak 72 - faza 5	40
Slika 20: Deformirana mreža - korak 1298 - faza 6	42
Slika 21: Pomiki - korak 1298 - faza 6.....	42
Slika 22: Pomik vrha gornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - porušitev	44
Slika 23: Zasutje gradbene jame.....	45
Slika 24: Deformirana mreža - korak 285 - faza 16	46
Slika 25: Pomiki - korak 285 - faza 16.....	47
Slika 26: Deformirana mreža - korak 107 - faza 7	50
Slika 27: Pomiki - korak 107 - faza 7	50
Slika 28: Pomiki gornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - zasutje	52
Slika 29: Deformirana mreža - korak 452 - faza 23	54
Slika 30: Pomiki - korak 452 - faza 23	55
Slika 31: Deformirana mreža - korak 371 - faza 17	58

Slika 32: Pomiki - korak 371 - faza 17	58
Slika 33: Pomik zgornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - nova pilotna stena	61
Slika 34: Deformirana mreža - korak 782 - faza 36.....	63
Slika 35: Pomiki - korak 782 - faza 36	63
Slika 36: Deformirana mreža - korak 145 - faza 22.....	66
Slika 37: Pomiki - korak 145 - faza 22	67
Slika 38: Pomik zgornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - zasutje dveh etaž.	68

1 UVOD

1.1 Splošno o gradbeni jami

Pri gradnji objektov je potrebno najprej izkopati gradbeno jamo za gradnjo temeljev ali temeljne plošče. Izkopana mora biti pravilno in kakovostno, v nasprotnem primeru se lahko poruši ali poškoduje, kar podaljša čas gradnje in poveča stroške. Ob poružitvi gradbene jame lahko pride tudi do poškodb že obstoječih objektov v bližnji okolici.

Izvedba gradbene jame je odvisna od:

- globine temeljenja objekta,
- globine talne vode,
- vrste temeljnih tal,
- lokacije gradbenega objekta.

V temeljnih tleh je vedno prisotna talna voda. Nivo talne vode je lahko blizu površja tal ali v veliki globini, nižje od dna gradbene jame. Glede na pojav talne vode ločimo:

- suho gradbeno jamo,
- gradbeno jamo pod gladino podtalnice in
- gradbeno jamo v vodi (reki, morju).

Pri načrtovanju gradbene jame je pomembno v kakšni vrsti tal bo izvedena. Z vidika gradbeništva so dobra zemljišča tista, pri katerih se temeljna tla ne bodo toliko posedla ali zdrsnila, da bi zato prišlo do prevelikih ali neenakomernih posedkov ali celo poružitve zgradbe. To so predvsem kompaktne kamenine (skala), gramoz, pesek, glina in ilovica pri katerih ne prihaja do izpiranja ali drsenja plasti. Pomembne so vse tri karakteristične lastnosti tal: prepustnost, deformabilnost in trdnost zemljin.

Gradbeno jamo lahko izvedemo s prostimi brežinami ali z brežinami varovanimi z gradbenimi konstrukcijami. Pri prostih brežinah moramo naklone brežin dokazati z ustreznimi stabilnostnimi analizami. Poleg globalne stabilnosti je potrebno zagotoviti tudi površinsko stabilnost brežin:

- obrizgi (cementni, bitumenski, brizgan beton),
- zaščite brežin z mrežami (pocinkane žice, naravni materiali – kokos, juta, konoplja, umetni materiali – geotekstil, geomreže),
- vegetativna zaščita.

Poskrbeti je potrebno tudi za odvodnjavanje brežin in gradbene jame. Izvedba gradbene jame s prostimi brežinami je najcenejša, saj za varovanje brežin ni potrebna nobena začasna ali trajna podporna konstrukcija. Če je naklon gradbene jame večji od kota notranjega trenja pri katerem zemljina še ostane stabilna, je potrebna zaščita. Varovalne gradbene konstrukcije je potrebno ustrezno dimenzionirati. Za zaščito lahko uporabimo:

- oblogo z armiranim brizganim betonom,
- armiranobetonske konstrukcije,
- jeklene konstrukcije.

Podporne konstrukcije so lahko tudi sidrane.

Glede na značaj podporne konstrukcije ločimo:

- začasne,
- trajne.

Začasne podporne konstrukcije so lahko vse vrste podpornih konstrukcij. Lahko so narejene tako, da izkopano zemljino na mestu podporne konstrukcije nadomestimo z armiranim betonom, zemljino lahko na mestu podporne konstrukcije injektiramo (npr. jet grouting koli) ali pa elemente podporne konstrukcije v tla uvrstimo (jekleni profili) ali zabijemo (zagatnice). Po zgraditvi objekta le te nimajo več podporne funkcije. Zemeljski pritiski okolice se prenesejo na zasuti objekt.

Trajne podporne konstrukcije so običajno armiranobetonske konstrukcije (pilotne stene, diafragme, jet grouting koli).

Glede na razpoložljivi prostor v gradbeni jami lahko gradbeno jamo varujemo na dva načina. Pri ozkih gradbenih jamah je izkop možno varovati z razpiranjem, pri širokih pa s sidranjem v zaledni podzemni prostor.

Ko z izkopom posežemo v naravno brežino, spremenimo:

- geometrijo terena: nove brežine so strmejše od prvotnih,
- statične razmere, ki jih poslabšamo: odstranitev materiala in s tem podpore za preostali material,
- tok podtalnice,
- materiali na vkopnih brežinah so bili pred izkopom skriti globoko pod površjem, nenadoma pa so izpostavljeni velikim razbremenitvam in atmosferskim vplivom: padavinam, zmrzali, eroziji, kar vse pospešuje preperevanje materiala in s tem spreminjanje njegovih mehanskih lastnosti.

1.2 Splošno o uporabljenih konstrukcijskih elementih

1.2.1 Piloti

Piloti okroglega in različno velikega prereza (od 30 do 150 cm) sestavljajo upogibno podporno konstrukcijo – pilotno steno. Uporablja se za varovanje globokih gradbenih jam ter v primerih, ko je zaradi potencialne nestabilnosti terena potrebno v tla najprej vgraditi nek konstrukcijski element in šele nato izvršiti izkop. Piloti so lahko nameščeni eden zraven drugega ali pa so razmaknjeni. Vmesni prostor med piloti lahko ostane po izkopu nezapolnjen ali pa se ga zapolni z betonom ali brizganim betonom – torkretom. Pilotne stene se po potrebi tudi sidra, kar je odvisno od globine izkopa. Največja tehnična slabost takih konstrukcij je slaba izkoriščenost armature v okroglem prerezu. Zaradi izvedbe in morebitnih kasnejših dodatnih sider se priporoča simetrično armiranje pilotov. Če so koli nameščeni na medosni

razdalji manjši od trikratnega premera pilotov, računamo tako steno kot kontinuirno (kot npr. diafragmo).

Ločimo:

- pilotne stene s prekrivajočimi se koli,
- pilotne stene z dotikajočimi se koli,
- pilotne stene z razmaknjenimi koli.

1.2.2 Geotehnična sidra

Evrokod 7-1 obravnava geotehnična sidra za zagotavljanje:

- varnosti podpornih konstrukcij,
- stabilnosti pobočij, vkopov in predorov,
- odpornosti glede na navzgor delujoče sile na konstrukcijo (npr. vzgon).

Glede na predvideno življenjsko dobo in pogoje vgradnje ločimo:

- trajna,
- začasna sidra.

Kot trajna, ki morajo svojo funkcijo opravljati celotno predvideno življenjsko dobo sidranega objekta, imenujemo sidra, ki so:

- vgrajena v agresivno okolje,
- izpostavljena blodečemu toku,
- predvidena na življenjsko dobo več kot dve leti.

Ostala sidra, ki svojo funkcijo opravljajo le omejen čas (do dve leti), so lahko oblikovana kot začasna sidra. Za obe vrsti sider veljajo enake zahteve glede nosilnosti. Razlikujejo pa se zahteve pri oblikovanju protikorozijske zaščite.

Ločimo:

- pasivna sidra,
- prednapeta sidra.

Pasivna sidra največkrat uporabljamo pri izgradnji začasnih objektov. Najpreprostejše pasivno sidro je rebrasta armaturna palica vtisnjena v predhodno izvrtano in z injekcijsko maso zapolnjeno vrtino. Pri nestabilnih vrtinah uporabljamo IBO sidra, ki imajo lastno vrtno krono in so votla, da omogočajo naknadno injektiranje. Za takojšen učinek pa uporabimo Swellex sidra iz tanjše pločevine, ki se po vstavitvi s tlakom vode napne tako, da ima dober trenjski stik s kamnino.

Prednapeta sidra se prednapnejo in takoj po zaklinjenju preprečujejo pomik sidranega bloka. Sidro je sestavljeno iz sidrne glave, ki drži kabel napet in prenaša vzpostavljeno silo s pramenov na zasidrani gradbeni objekt, prostega dela sidra, ki služi za prenos sile, ter veznega dela sidra preko katerega se natezna sila prenese v temeljna tla.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Opis teoretičnega ozadja

Področje geotehničnega projektiranja je pokrito z Evrokodom 7. Vsebuje tri dokumente:

- SIST EN 1997-1:2005 – Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila,
- SIST EN 1997-1:2005/A101:2006 – Evrokod 7 - Geotehnično projektiranje - 1. del: Splošna pravila – Nacionalni dodatek,
- SIST EN 1997-2:2007 – Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 2. del: Preiskovanje in preskušanje tal.

2.2 Osnove geotehničnega projektiranja

2.2.1 Projektne zahteve

Namen projektiranja je, da ni prekoračeno mejno stanje. Imamo dve mejni stanji:

- mejno stanje nosilnosti (MSN),
- mejno stanje uporabnosti (MSU).

Mejno stanje nosilnosti je povezano s porušitvijo, nestabilnostjo ali katerokoli drugo napako, ki lahko ogrozi varnost ljudi. Mejno stanje uporabnosti predstavlja prekoračitev kriterijev vezanih na uporabnost konstrukcije. Ti kriteriji so lahko:

- deformacije,
- razpoke,
- vibracije,
- poškodbe nekonstruktivnih elementov.

Preveriti moramo, da ne pride do mejnih stanj, ki so posledica odpovedi:

- tal,
- konstrukcije,
- kombinacije konstrukcije in tal.

Evrokod 7-1 omogoča preverjanje mejnih stanj na naslednje načine:

- na osnovi računskih analiz,
- z uporabo predpisanih ukrepov,
- na osnovi obremenilnih preizkušenj in eksperimentalnih modelov,
- po principu opazovalne metode,
- s kombinacijo navedenih metod.

Uvedene so tri geotehnične kategorije:

1. kategorija: Preprosti objekti zanemarljivega tveganja,
2. kategorija: Običajne vrste konstrukcij,
3. kategorija: Geotehnično zahtevni objekti in objekti velikega tveganja.

Objekte v geotehnično kategorijo razvrstimo glede na:

- geotehnične razmere,
- velikost in zasnovu objekta,
- obtežbe objekta,
- pomembnost objekta.

S kategorizacijo definiramo obseg raziskav, izberemo način projektiranja ter obseg nadzora.

2.2.2 Projektiranje z računskimi analizami

Projektiranje na osnovi računskih analiz je najbolj pogost način preverjanja mejnih stanj in vključuje:

- določitev vplivov (sil ali vsiljenih pomikov),
- določitev materialnih lastnosti tal in konstrukcij,
- izbiro mejnih vrednosti deformacij, širine razpok, vibracij,

- izbiro računskega modela za obravnavano mejno stanje, ki omogoča izračun učinka vpliva, odpornosti in deformacije tal ter upošteva različna projektna stanja,
- dokaz, da pojav mejnega stanja ni mogoč.

Računski modeli so lahko:

- analitični modeli,
- empirična ali semiempirična pravila,
- numerični modeli.

Najpogostejši so poenostavljeni analitični modeli. Po potrebi se rezultat korigira z modelnim faktorjem γ_{sd} , s čimer zajamemo odstopanja metode, morebitne systemske napake za katere vemo, da se pri analizi lahko pojavijo. S tem zagotovimo rezultat na varni strani. Izbira modelnega faktorja je za vsak posamezen primer prepuščena projektantu.

Vplivi so definirane količine, ki jih ne izračunamo iz računskega modela. To so sile ali pomiki konstrukcije.

Projektne vrednosti vplivov F_d izračunamo po enačbi:

$$F_d = F_k \times \gamma_F, \quad (1)$$

kjer je:

F_k ...karakteristična vrednost vpliva,

γ_F ...delni varnostni faktor na obtežbo.

Lastnosti tal dobimo iz geotehničnih preiskav ali povratnih analiz meritev posedkov ali poružitve. Karakteristično vrednost geotehničnega parametra izberemo kot varno oceno vrednosti, ki vpliva na pojav mejnega stanja. Izbira karakterističnih vrednosti geotehničnih parametrov mora temeljiti na dobljenih vrednostih iz laboratorijskih in terenskih preiskav, dopoljenih z uveljavljenimi izkušnjami in mora upoštevati:

- geološke in druge spremljajoče informacije, kot so podatki iz prejšnjih projektov,
- spremenljivost vrednosti merjene lastnosti in druge informacije, npr. iz obstoječega znanja,
- obsežnost terenskih in laboratorijskih preiskav,

- vrsto in število vzorcev,
- razsežnost območja tal, ki vpliva na obnašanje konstrukcije v obravnavanem mejnem stanju,
- zmožnost konstrukcije, da prenese obremenitev iz šibkih na trdnejša področja v tleh.

Postopek izbire karakteristične vrednosti sestavljata dva koraka:

1. Izmera vrednosti mehanske lastnosti.
2. Izbira karakteristične vrednosti kot varno oceno vrednosti, ki vpliva na obravnavano mejno stanje, vključujoč vse razpoložljive dodatne informacije.

Karakteristična vrednost je nižja od povprečne vrednosti. Njena izbira je eden najpomembnejših korakov v geotehničnem projektiranju. Poznavanje pogojev tal je odvisno od obsega in kakovosti geotehničnih raziskav.

Projektne vrednosti geotehničnih parametrov X_d izračunamo po enačbi:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (2)$$

kjer je:

X_k ...karakteristična vrednost parametra,

γ_M ...delni varnostni faktor za karakteristike materiala.

2.2.3 Mejno stanje nosilnosti

Preveriti je potrebno, da projektne vrednosti učinkov vplivov E_d nikoli ne presežejo projektnih nosilnosti oziroma projektnih vrednosti odpornosti R_d . Veljati mora:

$$E_d \leq R_d, \quad (3)$$

kjer je:

E_d ...projektna vrednost učinka vpliva, $E_d = E_k \times \gamma_E$,

R_d ...projektna vrednost odpornosti, $R_d = R_k \times \gamma_R$,

γ_E, γ_R ...delni faktorji varnosti.

Zaradi različnih možnosti uporabe delnih faktorjev varnosti Evrokod 7-1 omogoča tri različne metode za preverjanje geotehničnih mejnih stanj. Prikazani so v preglednici 1.

Preglednica 1: Priporočene vrednosti delnih faktorjev za projektiranje podpornih konstrukcij skladno z dodatkom A k Evrokodu 7-1

Projektni pristop		Vplivi ali učinki vplivov		Odpornost tal
		Iz konstrukcije	Iz tal	
DA1	komb. 1	$\gamma_G = 1,35; \gamma_{G,inf} = 1,00; \gamma_Q = 1,50$		$\gamma_\phi = \gamma_c = \gamma_{cu} = 1,00; \gamma_R = 1,00$
	komb. 2	$\gamma_G = 1,00; \gamma_Q = 1,30$	$\gamma_\phi = \gamma_c = 1,25; \gamma_{cu} = 1,40; \gamma_R = 1,00$	
DA 2		$\gamma_G = 1,35; \gamma_{G,inf} = 1,00; \gamma_Q = 1,50$		$\gamma_\phi = \gamma_c = \gamma_{cu} = 1,00;$ $\gamma_{R,e} = \gamma_{R,v} = 1,40; \gamma_{R,h} = 1,10$
DA3		$\gamma_G = 1,35; \gamma_{G,inf} = 1,00; \gamma_Q = 1,50$	$\gamma_\phi = \gamma_c = 1,25; \gamma_{cu} = 1,40; \gamma_R = 1,00$	

γ_G ...delni faktor za neugodni stalni vpliv
 $\gamma_{G,inf}$...delni faktor za ugodni stalni vpliv
 γ_Q ...delni faktor za spremenljivi vpliv
 γ_ϕ ...delni faktor za trenje
 γ_c ...delni faktor za kohezijo
 γ_{cu} ...delni faktor za nedrenirano strižno trdnost
 $\gamma_{R,v}$...delni faktor za nosilnost tal
 $\gamma_{R,h}$...delni faktor za odpornost proti zdrsu
 $\gamma_{R,e}$...delni faktor za pasivni zemeljski pritisk (odpornost zemljine)

Varnost definiramo kot razmerje med razpoložljivo in aktivirano strižno trdnostjo:

$$\tau_d = \frac{\tau_k}{\gamma_\tau} = \frac{c' + \sigma' \tan \phi'}{\gamma_\tau}$$

$$\tau_d = \frac{c'}{\gamma_c} + \sigma' \frac{\tan \phi'}{\gamma_\phi} = c'_d + \sigma' \tan \phi'_d$$

$$\phi_d = \arctan \left(\frac{\tan \phi}{\gamma_\phi} \right)$$

$$c_d = \frac{c}{\gamma_c}$$

V Sloveniji se za geotehnično projektiranje uporablja projektni pristop 2 (DA 2), razen za preverjanje globalne stabilnosti, kjer se uporablja projektni pristop 3 (DA 3).

2.2.4 Mejno stanje uporabnosti

Preverimo z dokazom, da je učinek vseh vplivov manjši od sprejemljive velikosti iste količine (C_d):

$$E_d \leq C_d, \quad (4)$$

kjer je:

E_d ...projektna vrednost učinka vpliva (npr. pomik, zasuk),

C_d ...mejna projektna vrednost učinka vpliva (npr. mejni pomik, mejni zasuk).

Delni faktorji varnosti pri mejnem stanju uporabnosti so praviloma enaki 1,0.

2.3 Podporne konstrukcije – vpete stene

To so tanke stene iz jekla, armiranega betona ali lesa. Podprte so s sidri, oporniki ali pasivnim zemeljskim odporom.

Pri vpetih stenah lahko pride do spodaj naštetih mejnih stanj:

- izguba globalne stabilnosti,
- porušitev konstrukcijskega elementa kot je stena, sidro, razpora ali porušitev na stikih med elementi,
- kombinirana porušitev v zemljini in konstrukcijskemu elementu,
- porušitev zaradi hidravličnega dviga in notranje erozije talne vode,
- premik podporne konstrukcije, ki lahko povzroči porušitev ali vpliva na izgled ali učinkovito rabo konstrukcije ter z njo podprtih sosednjih zgradb in infrastrukture,
- nesprejemljivo puščanje skozi steno ali pod njo,
- nesprejemljiv transport delcev zemljine skozi steno ali pod njo,
- nesprejemljiva sprememba režima podtalnice,
- porušitev zaradi rotacije ali premika stene ali njegovega dela,
- porušitev zaradi pomanjkanja vertikalnega ravnotežja.

Pri analizah moramo upoštevati naslednje vplive na konstrukcijo:

- težo zalednega materiala,
- dodatne obremenitve,
- težo vode,
- sile zaradi valov in ledu,
- pronicanje,
- prečne opornike in sidra,
- sile trčenja,
- učinke temperature.

Pri načrtovanju podpornih konstrukcij moramo biti pozorni na:

- spreminjanje karakteristik zemljine, nivojev vode ter tlakov porne vode v prostoru,
- spreminjanje velikosti in kombinacije vplivov,
- izkope, zdrse ali erozijo pred podporno konstrukcijo,
- učinke komprimacije zemljine za podporno konstrukcijo,
- učinke predvidenih bodočih zgradb in dodatne obremenitve ali razbremenitve,
- premike tal zaradi pogrezanja ali zmrzovanja.

Pri mnogih podpornih konstrukcijah se upošteva, da nastopi kritično mejno stanje takrat, ko premiki zidu povzročijo poškodbe bližnjih objektov ali infrastrukture. Kljub temu da ne grozi neposredna porušitev zidu, lahko stopnja poškodb preseže mejno stanje uporabnosti podprte konstrukcije.

Pri projektiranju podpornih konstrukcij je potrebno upoštevati tudi:

- učinke izgradnje zidu (priprava platojev, faznost del),
- zahtevano stopnjo vodoprepustnosti končanega zidu,
- izvedljivost izgradnje zidu do sloja nizke prepustnosti, tako da tvori bariero za vodo (tok podtalnice),
- izvedljivost geotehničnih sider v okolnih tleh,
- izvedljivost izkopavanja med razporami podpornih zidov,
- sposobnost zidu, da nosi vertikalno obremenitev,
- duktilnost konstrukcijskih elementov,
- dostopnost za vzdrževanje zidu in z njim povezanih drenažnih ukrepov,
- izgled ter trajnost zidu in vgrajenih sider,
- stabilnost vrtn in odprtih panelnih izkopov varovanih s težko izplako,
- lastnosti razpoložljivih zasipnih materialov in sredstev za njihovo komprimacijo neposredno za zidom.

Če je varnost in uporabnost projektirane konstrukcije odvisna od delovanja drenažnega sistema, je potrebno upoštevati posledice njegove okvare (varnost ter stroške popravila).

2.4 Sidra

Možna mejna stanja za vgrajena sidra so:

- konstrukcijska porušitev sidrne glave zaradi napetosti,
- deformacije ali korozija sidrne glave,
- porušitev ali prevelike deformacije konstrukcije zaradi vnesenih sidrnih sil,
- konstrukcijska porušitev pramen zaradi napetosti,
- porušitev med injekcijsko maso in tlemi,
- porušitev med prameni in injekcijsko maso,
- izguba sidrne sile zaradi prevelikih pomikov sidrne glave ali zaradi lezenja in relaksacije,
- izguba globalne stabilnosti podpiranih tal in podporne konstrukcije,
- interakcija skupin sider s tlemi in sosednjimi konstrukcijami.

Pri projektiranju sider mora biti izpolnjen pogoj:

$$P_d \leq R_{a,d}, \quad (5)$$

kjer je:

P_d ...projektna sila sidra,

$R_{a,d}$...projektni odpor sidra, $R_{a,d} = \frac{R_{a,k}}{\gamma_a}$,

$R_{a,k}$...karakteristični odpor sidra,

γ_a ...parcialni varnostni faktor, ki je pri sidrih 1,1.

Projektna vrednost notranje nosilnosti sidra mora izpolnjevati še naslednji pogoj:

$$R_{a,d} \leq R_{t,d}, \quad (6)$$

kjer je:

$R_{t,d}$...projektni odpor po kabliah, $R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{1,15}$,

1,15...materialni faktor.

Karakteristična nosilnost sidra po kabliah, $R_{t,k}$, je odvisna od sestave sidra.

Projektno vrednost sidrne sile, P_d , je potrebno določiti v skladu z izračunom podpirne konstrukcije kot največjo izmed:

- sile določene z upoštevanjem mejnega stanja nosilnosti podpirane konstrukcije,
- sile določene z upoštevanjem mejnega stanja uporabnosti podpirane konstrukcije.

$$P_d = \begin{cases} P_{s,d} \\ 1,35 * P_{zaklinjenja} \end{cases} \quad (7)$$

2.5 Globalna stabilnost

Preučiti je potrebno globalno stabilnost in premike tal z obstoječimi objekti, novimi konstrukcijami, brežinami ali izkopi. Projekt mora zagotoviti, da bodo vsa gradbena dela na določeni lokaciji planirana in izvedena tako, da je verjetnost za nastanek mejnega stanja nosilnosti ali uporabnosti dovolj majhna.

Možna mejna stanja so:

- izguba globalne stabilnosti tal in bližnjih konstrukcij,
- prekomerni premiki tal zaradi strižnih deformacij, posedkov, vibracij ali dviga tal,
- poškodbe ali zmanjšana uporabnost bližnjih konstrukcij, cest in infrastrukture zaradi premikov tal.

Globalno stabilnost dokazujemo s stabilnostno analizo po rezultatni metodi, lamelni metodi ali drugimi (npr. metodi končnih elementov, metodi končnih diferenc). Ravnovesne enačbe rešujemo z grafo–analitičnimi ali numeričnimi postopki.

Ker je predpisana različna varnost na drenirane in nedrenirane karakteristike, je edini splošno veljaven postopek za analize globalne stabilnosti račun s projektnimi vrednostmi karakteristik. Rezultat je ugoden, če je izračunana varnost $F > 1,0$.

2.6 Numerično reševanje nelinearnih problemov po metodi končnih elementov

Nelinearni modeli omogočajo:

- račun varnosti,
- račun zemeljskih pritiskov,
- račun nosilnosti tal,
- realno modeliranje sodelovanja tal in konstrukcij,
- realen izračun premikov, napetosti.

Zaradi nelinearnih materialnih modelov je sistem nelinearen. Za reševanje sistema enačb:

$$[K]\{\Delta u\} = \{\Delta P\} \quad (8)$$

je potrebno iteracijsko reševanje. Odsekoma predpostavimo linearnost. Za zanesljivo pot do rešitve so potrebni ustrezni prijemi:

- izbira velikosti računskega koraka (obremenitve),
- izbira načina približevanja rešitvi,
- določitev konvergenčnega kriterija.

Uporabljeni program Plaxis za večino prijemov poskrbi sam.

Enačbo (8) računamo na naslednji način:

1. račun začetne togosti $[K]$,
2. račun obtežnega vektorja $\{\Delta P\}$,
3. približek prirastka premikov (imamo ravnovesje, običajno napetosti ne ustrezajo materialnemu zakonu),
4. kontrola materialnega zakona (izračunanim premikom določimo ustrezne napetosti – pokvarimo ravnovesje),
5. ponavljamo koraka 3 in 4.

Med računanjem se avtomatično prilagaja velikost obtežnega koraka. Če je dosežena konvergenca v želenem številu iteracij, se korak dvakrat poveča. Če ni konvergenca v želenem številu iteracij, se korak dvakrat zmanjša.

Nelinearne analize so zelo zahtevne, ker na rezultat vplivajo mnogi parametri. Potrebne so parametrične študije, občutljivostna analiza¹ ter primerjava s preprostimi modeli. Ko pridemo do rezultatov, jih je potrebno skrbno analizirati.

Plaxis pri računu varnosti vse nelinearne materialne modele prevede na Mohr-Coulombov model. Za zanesljiv rezultat je potrebno veliko število računskih korakov. Račun ni mogoč za elastičen material.

2.7 Povratna stabilnostna analiza

Povratna analiza je orodje za izboljšanje zanesljivosti geotehničnega modela. Možna je tedaj, kadar na lokaciji razpolagamo z meritvami obnašanja že izvedenih del ali obnašanja naravnega terena (posedanje temeljev ali nasipov, porušitve tal ali splazitve pobočij). Povratna analiza pomeni kalibracijo geotehničnega modela tako, da se obnašanje modela čim bolj ujema z meritvami ali opažanji na terenu.

¹ Občutljivostna analiza

Če nek parameter ni zanesljivo določen ali se ga ne da dobro določiti, običajno lahko ocenimo območje, ki ga parameter lahko zavzame. Geotehnični model moramo zato uporabiti z različnimi predpostavljenimi vrednostmi slabo poznanega parametra in ugotovimo njegov pomen za končni rezultat. Če se izkaže, da parameter bistveno ne vpliva na rezultat, lahko model uporabimo s predpostavljeno vrednostjo tega parametra. Če pa manjkajoči parameter bistveno vpliva na končni rezultat, moramo parameter natančno določiti.

3 GRADBENA JAMA RIMSKE TOPLICE

3.1 Opis gradbene jame

Za temeljenje objekta Rimske Toplice je bilo potrebno izkopati gradbeno jama, ki je bila na nekaterih delih globoka kar 21 m. Izkop gradbene jame s primernimi nakloni brežin ni bil mogoč zaradi zahtevne konfiguracije terena ter obstoječih objektov v bližini. Gradbena jama je bila zaščitena s pilotno steno (piloti premera 52 cm), ki je bila na več nivojih sidrana.



Slika 1: Gradbena jama Rimske Toplice

3.2 Geologija in geotehnični podatki

Na obravnavani lokaciji so bile izvedene geološke preiskave s sondažnim vrtanjem, terenskimi preiskavami v vrtnah ter laboratorijskimi preiskavami vzorcev. Izvedenih je bilo 22 sondažnih vrtin in 5



Slika 2: Jedra vrtine

sondažnih jaškov. Sondažni jaški so bili izvedeni le v območju obstoječega Zdraviliškega objekta za ugotovitev sestave in globine temeljev. Kote vrha sondažnih jaškov oziroma kote tlaka objektov ne ustrezajo dejanskim, zato iz teh podatkov ni možno točno razbrati globine temeljev. Globina sondažnih vrtin je znašala od 5 do 17 m in vse so segle v trdno podlago. Zaradi intenzivne tektonske aktivnosti je sestava tal na tem območju zelo pestra. Trdno podlago gradijo permokarbonske in triasne plasti, ki pa so na površini prekrivane z gruščnato glineno preperino, v območju urejenih površin pa tudi z umetnim nasipom.

Permokarbonske plasti predstavljajo siv do temno siv glinast skrilavec z vložki peščenjaka. Plasti so zelo pregnetene in tektonsko porušene. Na površini so prekrivane s plastjo grušča skrilavca in peščenjaka z glinenim vezivom. Permokarbonske plasti so skoraj vodonepropustne, podtalnica pa se preceja po nekoliko bolj prepustni preperini, jo razmaka in poslabšuje njene geotehnične karakteristike.

Triasni dolomit je precej tektonsko porušen. Je svetlo sive barve, masiven, ponekod tudi ploščat, vsebuje lahko tudi pole in gomolje roženca. Na površini je prekrit s preperino, ki jo gradi grušč dolomita z glinenim vezivom, ponekod neposredno pod površino pa tudi peščena glina in droben grušč. Zaradi razpoklinske poroznosti je dolomit relativno dobro vodoprepusten, prav tako tudi gruščnata preperina. Nekoliko slabše vodoprepusten pa je zgornji del preperine, ki vsebuje več gline.



Slika 3: Plasti zemljine

Celotna grapa v zaledju gradbene jame je razmočena in opazni so znaki plazovitosti. Pred pilotno steno bo potrebna izvedba drenaže za odvodnjavanje podtalnice iz zaledja.

Na osnovi izvedenih sondažnih preiskav so ločili šest karakterističnih plasti: nasip, glino in grušč, grušč dolomita, grušč skrilavca, dolomit in glinast skrilavec. Na osnovi izvedenih terenskih in laboratorijskih preiskav vzorcev so bile določene geotehnične karakteristike materialov:

Nasip (rahel do srednje gost):

AC klasifikacija: GC

Rjav do siv nasip grušča in gline, v območju obstoječih vozni površin pa nasip dolomitnega grušča z meljnim vezivom. Zemljina je rahlo do srednje gosta.

Terenske preiskave:

SPT: $N = 9 - 10$.

Ocenjene vrednosti:

prostorninska teža: $\gamma = 19 - 20 \text{ kN/m}^3$,

strižna trdnost: $\varphi = 26 - 28^\circ$, $c = 0 - 5 \text{ kN/m}^2$,

modul stisljivosti: $M_v = 7200 - 8000 \text{ kN/m}^2$,

kategorija izkopa: 3. kategorija (lahka zemljina).

Glina in grušč (rahla):

AC klasifikacija: GC, CL/GC, GM

Svetlo rjava do rdeče rjava peščena glina in droben grušč dolomita, v rahlem do srednje gostem gostotnem stanju.

Terenske preiskave:

SPT: $N = 9 - 10$.

Laboratorijske preiskave:

naravna vlaga: $w = 31,3 \%$,

prostorninska teža: $\gamma = 18,9 \text{ kN/m}^3$,

strižna trdnost: $\varphi = 22,1^\circ$, $c = 18,8 \text{ kN/m}^2$,

modul stisljivosti: $M_v = 7200 - 8000 \text{ kN/m}^2$,

kategorija izkopa: 3. kategorija (lahka zemljina).

Grušč dolomita (srednje gost do gost):

AC klasifikacija: GC, ML/GC, GM

Svetlo rjav grušč dolomita z meljnim in glinenim vezivom, srednje gost do gost, ponekod vsebuje tudi večje bloke in samice dolomita.

Terenske preiskave:

SPT: $N = 11 - 33$.

Laboratorijske preiskave:

naravna vlaga: $w = 10,9 - 25,4 \%$,

prostorninska teža: $\gamma = 19,6 - 21,6 \text{ kN/m}^3$,

strižna trdnost: $\varphi = 25,8 - 37,2^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$,

modul stisljivosti: $M_v = 8800 - 26400 \text{ kN/m}^2$,

kategorija izkopa: 3. – 4. kategorija (lahka do težka zemljina).

Grušč skrilavca (srednje gost):

AC klasifikacija: GC, CL

Rjav do temno siv grušč skrilavca in glina. Grušč je pretežno srednje gost, glineni vložki pa so poltrdni.

Terenske preiskave:

SPT: $N = 14 - 26$.

Laboratorijske preiskave:

naravna vlaga: $w = 9,3 - 15,6 \%$,

prostorninska teža: $\gamma = 17,3 - 21,5 \text{ kN/m}^3$,

strižna trdnost: $\varphi = 28,4 - 31,3^\circ$, $c = 0 - 7,9 \text{ kN/m}^2$,

modul stisljivosti: $M_v = 11200 - 20800 \text{ kN/m}^2$,

kategorija izkopa: 3. kategorija (lahka zemljina).

Dolomit (trden):

Svetlo siv triasni dolomit, precej razpokan in tektonsko porušen, sicer pa trden.

Terenske preiskave:

SPT: $P = 60/7 - 60/3$.

Ocenjene vrednosti:

prostorninska teža: $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$,

strižna trdnost: $\varphi = 40 - 42^\circ$, $c = 0 - 50 \text{ kN/m}^2$,

kategorija izkopa: 5. – 6. kategorija (mehka do trdna kamnina).

Glinast skrilavec (trden):

Siv do temno siv permokarbonski glinast skrilavec z vložki peščenjaka. Hribina je precej tektonsko porušena in razpokana, sicer pa trdna.

Terenske preiskave:

SPT: od $N = 70$ do $P = 60/7$ cm.

Ocenjene vrednosti:

prostorninska teža: $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$,

strižna trdnost: $\varphi = 35 - 38^\circ$, $c = 0 - 20 \text{ kN/m}^2$,

kategorija izkopa: 5. kategorija (mehka kamnina).

Iz inženirsko geoloških profilov je bilo predvideno, da je temeljenje novega objekta izvedeno že v trdni podlagi – trdnem dolomitu ali glinastem skrilačcu.

3.3 Zasnova izvedene varovalne konstrukcije

Mikropiloti

Piloti so bili izvedeni na razmiku 2,0 m. Na vrhu, kjer so uvrtni, so premera 52 cm, v dolomitu, kjer ni cevitve, pa 44 cm. Njihova dolžina je od 10 do 22,5 m. Zaradi zahtevne konfiguracije terena so bili piloti izvedeni iz dveh nivojev. Skupno število pilotov je 82. Armirani so bili z armaturo RA 400/500-2, $10\phi 22\text{mm}$.

Jet grouting

Med piloti so bili izvedeni jet grouting piloti in sicer po dva med benotto piloti. Kjer so mikropiloti zgoščeni, je med njimi en jet grouting pilot. Uvrtni so 1 m v dolomit. Injecirani so tako, da je zagotovljen povprečni premer pilota 80 cm. Pri izvedbi jet grouting pilota je bila vgrajena armatura iz RA 400/500-2, premera 32 mm.

Sidranje

Sidranje pilotne stene je bilo predvideno na več nivojih. Sidra so različnih dolžin in naklonov. Naklon ter dolžina zgornjih vrst sta večji, da sidra sežejo v boljše materiale. Glede na naklon sider so sidra dolžin od 12 pa do 23 m. Spodnja sidra so vpeta v dolomit, zato je lahko vezni del minimalen, 6 m. Zgornja sidra so sidrana v grušč, zato je ponekod vezni del sidra dolžine 8 m. Vezni del sidra mora izpolnjevati dva pogoja:

1. zadostno sprijemljivost jekla s cementno injektirno maso,
2. zadostno strižno napetost med injektirno maso in zemljino.

Uporabljena so štiri vrvna sidra na razmiku 2 m. Prednapeta so bila na silo $P_0 = 550 \text{ kN}$.

Na sliki 4 je vidna sidrana pilotna stena, ki je v zgornjem delu že površinsko obdelana. Čez pilote je napeta armaturna mreža, preko katere je brizgani beton. Grede niso brizgane. Brizganje se izvaja sprotno z napredovanjem od zgoraj navzdol.



Slika 4: Sidrana pilotna stena na južnem delu gradbene jame

3.4 Stanje na terenu 25.01.2008

Pri izkopu gradbene jame do približne kote 256 m so geodetski reperji na južnem delu zabeležili hitro in progresivno naraščanje pomikov. Prišlo je tudi do poškodb na konstrukciji (slika 5).

Iz časovnega diagrama absolutnih premikov reperjev (priloga A) je razvidno, da so pomiki 25.01.2008 znašali približno 10 cm. Na sliki 6 je vidna drsna ploskev pred konstrukcijo. Hitrost naraščanja se je umirila po 28.01.2008, ko je bil izveden delni zasip gradbene jame. Do takrat so se pomiki povečali na približno 15 cm. Zasutje s kamnitim

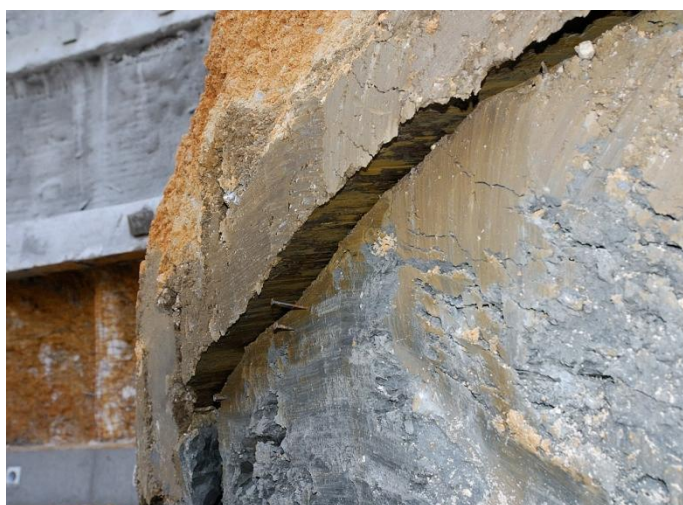


Slika 5: Razpoka na konstrukciji

materialom je bilo izvedeno do približne kote 263 m. Istočasno je bilo vzpostavljeno tudi dodatno geodetsko opazovanje konstrukcije in zaledja gradbene jame. Zaradi opaženega odstopanja med predvidenimi in dejanskimi kotami trdnega dolomita so bile potrebne dodatne izvedbe geomehanskih preiskav. Na dan prvega terenskega ogleda s strani predstavnikov UL FGG KMTal, 25.01.2008, je material v dnu gradbene jame ustrezal 3. kategoriji in ne 5. kategoriji, kot je bilo sprva predvideno. Poleg tega so bile ugotovljene tudi nepravilnosti pri samem izkopu, ki se ni izvajal povsem v skladu s projektom. Izkop gradbene jame se je namreč v centralnem delu poglobljaj pod koto spodnje grede še predno so bila zaklinjena in prednapeta sidra na tej gredi, kar je vidno tudi na sliki 4.

Z delnim zasutjem gradbene jame se je dosegla začasna stabilizacija. Iz priloge A je razvidno, da je bilo zasutje gradbene jame nujno potrebno ter pravočasno, da ni prišlo do še večje škode. Kljub obsežnemu zasutju so reperji še vedno beležili majhno, a skoraj konstantno hitrost premikanja podporne konstrukcije in zaledja, približno 1 cm na mesec. Do tega je prišlo zaradi stiskanja kamnitega zasipa, ki brez premikov ne more aktivirati ustreznega dovolj velikega pasivnega odpora za popolno stabilizacijo zaledja in umiritev premikov v zaledju podporne konstrukcije.

Izmerjeni pomiki v času po zasutju gradbene jame kažejo na to, da je potrebno za trajno stabilizacijo zaledja uporabiti močna in toga podporna sredstva.



Slika 6: Drsna ploskev pred konstrukcijo

3.5 Opis obravnavanih profilov

Za analizo gradbene jame za hotel Rimske Toplice sem izbrala dva geološko geotehnična profila: P7 ter P10. Oba profila se nahajata na južni steni gradbene jame, kjer so bili zabeleženi največji pomiki. P7 je na sredini stene, P10 pa na robu jame (slika 7).



Slika 7: Prikaz geoloških profilov

Oba profila sem obravnavala v programu Rocscience Slide 5.0 po lamelni metodi ter v programu Plaxis po metodi končnih elementov. V računih sta že upoštevana novelirana geološka profila, ki sta bila izdelana na osnovi dodatnih geotehničnih preiskav.

3.5.1 Geološko geotehnični profil P7

Materialne karakteristike, ki sem jih uporabila v programu Slide, so vidne na prilogah B.

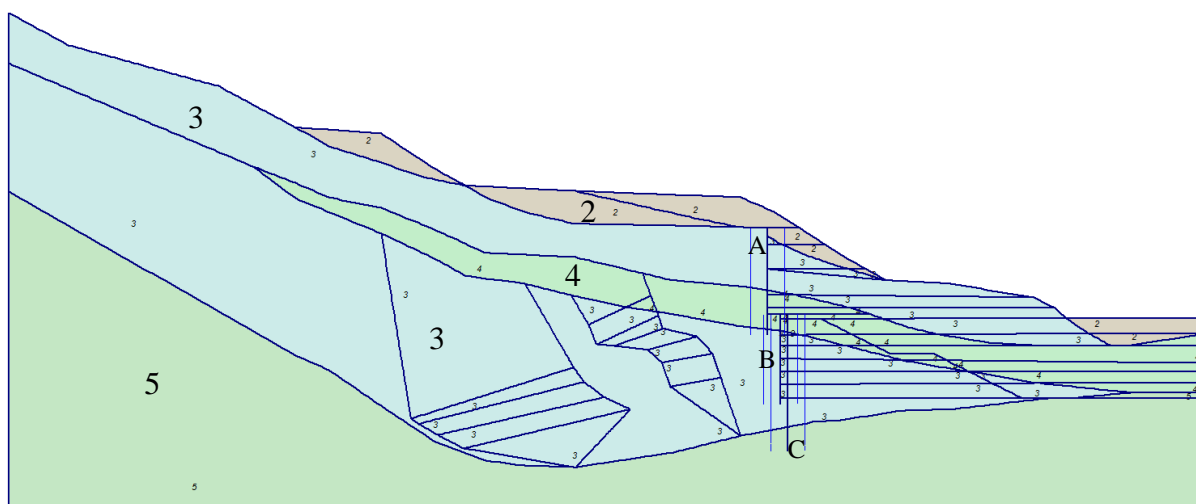
Na slikah od 6 do 9 ter preglednicah od 2 do 6 so prikazane karakteristike profila P7 obravnavanega v programu Plaxis.

Najprej sem profilu določila razporeditev materialov ter njihove karakteristike (slika 8 ter preglednica 2). Nato sem dodala vse varovalne konstrukcijske elemente, ki so bili predvideni za ta profil, ter tudi tiste predvidene za sanacijo gradbene jame. Razporeditev sider je vidna na sliki 9, njihove karakteristike pa v preglednici 3 ter 4. Piloti so označeni na sliki 8, njihove karakteristike pa podane v preglednici 5.

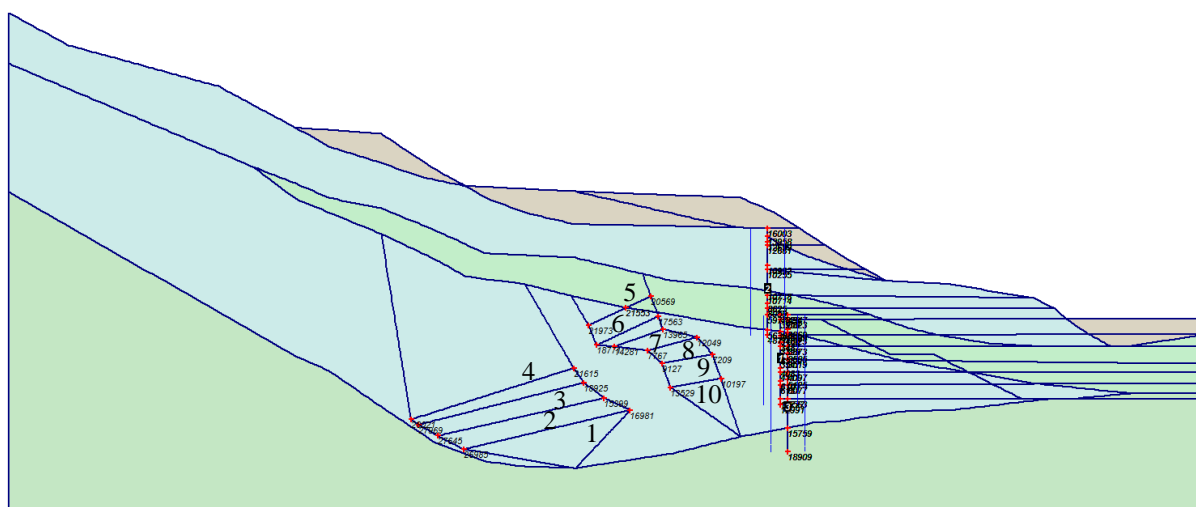
Mreža končnih elementov je prikazana na sliki 10. Mreža je zgoščena v področju kritične drsne ploskve ter na območjih sider in pilotnih sten.

Na sliki 11 je prikazan nivo talne vode ter vodni pritiski.

Vsi računski koraki, ki sem jih izvedla v profilu P7, so prikazani v preglednici 6.



Slika 8: Prečni profil P7



Slika 9: Razporeditev sider P7

Preglednica 2: Zemljine P7

Zemljina	2 - Glina in grušč	3 - Grušč dolomita	4 - Grušč skrilavca	5 - Glinast skrilavec
Type	Drained	Drained	Drained	Non-porous
g_{unsat} [kN/ml]	20	22	20,5	23
g_{sat} [kN/ml]	20	22	20,5	23
k_x [m/day]	0	0	0	0
k_y [m/day]	0	0	0	0
e_{init}	0,5	0,5	0,5	0,5
e_{min}	0	0	0	0
e_{max}	999	999	999	999
c_k	1,00E+15	1,00E+15	1,00E+15	1,00E+15
E_{50}^{ref} [kN/m _l]	25000	50000	40000	80000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kN/m _l]	25000	50000	45000	79440,48
power (m)	0,5	0,5	0,5	0,5
c_{ref} [kN/m _l]	10	1	1	100
ϕ [°]	28	30	28	30
ψ [°]	0	0	0	0
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kN/m _l]	70000	150000	140000	240000
$n_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	0,2	0,2	0,2	0,2
p^{ref} [kN/m _l]	100	100	100	100
$c_{\text{increment}}$ [kN/m _l]	0	0	0	0
y_{ref} [m]	0	0	0	0
R_f	0,9	0,9	0,9	0,9
T_{strength} [kN/m _l]	0	0	0	0
R_{inter}	0,98	0,98	0,98	0,95
d_{inter} [m]	0	0	0	0
Interface	Neutral	Neutral	Neutral	Impermeable

Preglednica 3: Sidra P7

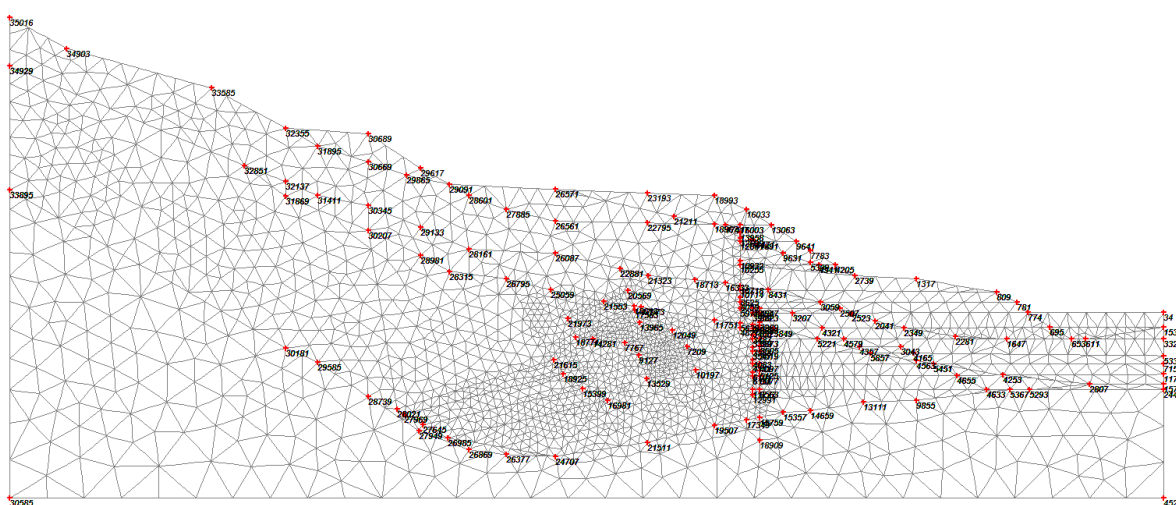
Št. sidra	Podatki	Dolžina [m]
1	DodanoSidro 4v/1m	24,597
2	DodanoSidro 4v/1m	22,075
3	DodanoSidro 4v/1m	18,743
4	DodanoSidro 4v/1m	23,812
5	4v/2m	15,005
6	4v/2m	14,003
7	4v/2m	12,996
8	4v/2m	10,001
9	4v/2m	8,002
10	4v/2m	7,007

Preglednica 4: Karakteristike sider P7

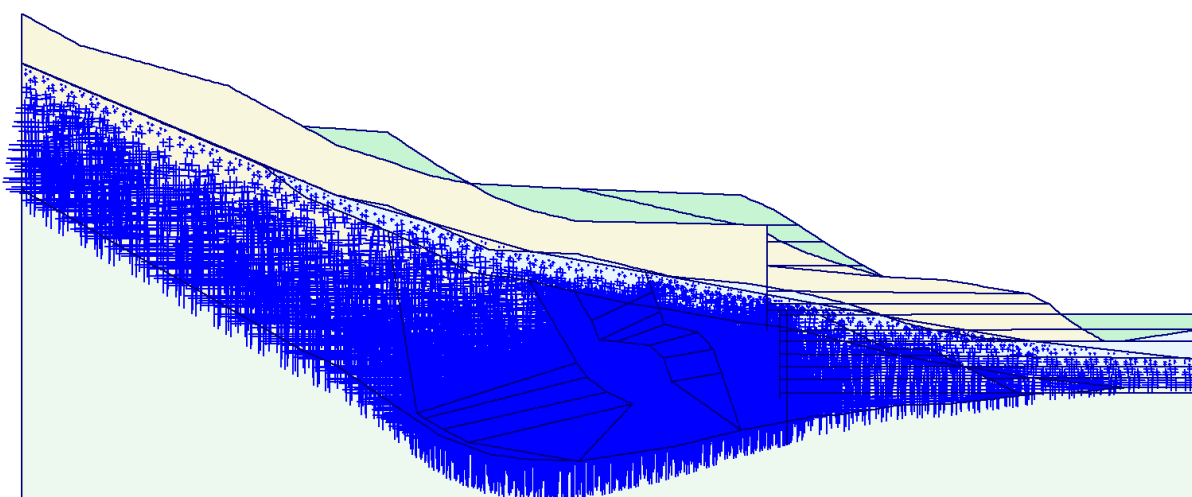
Št.	Naziv	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L razmik [m]
1	4v/2m	117600	10	991	2
2	DodanoSidro 4v/1m	117600	10	991	1

Preglednica 5: Karakteristike pilotov P7

Št.	Naziv	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
B	Pilotna stena 50cm/2m	2,95E+06	46019	2,45	0,17	1,00E+15	1,00E+15
A	Piloti 60 cm	8,48E+06	95426	3,53	0,17	1,00E+15	1,00E+15
C	Piloti 80 cm	1,508E+07	603195	15,00	0,17	1,00E+15	1,00E+15



Slika 10: Mreža končnih elementov P7



Slika 11: Vodni pritiski P7

Preglednica 6: Računski koraki P7

Faza	Št. faze	Začetna faza	Način izračuna	Load input	Začetni korak	Končni korak
Initial phase	0	0		-	0	0
PNS	1	0	Plastic	Staged construction	1	9
Varnost	32	1	Phi/c reduction	Incremental multipliers	10	99
Izkop do zg. stene	33	1	Plastic	Staged construction	100	101
Zg. stena	2	33	Plastic	Staged construction	102	103
Izkop na 1. sidro	3	2	Plastic	Staged construction	104	108
1. sidro	4	3	Plastic	Staged construction	109	111
Izkop na 2. sidro	34	4	Plastic	Staged construction	112	115
2. sidro	5	34	Plastic	Staged construction	116	117
Izkop na 3. sidro	6	5	Plastic	Staged construction	118	122
3. sidro	7	6	Plastic	Staged construction	123	124
Izkop na sp. steno	8	7	Plastic	Staged construction	125	132
Sp. stena	9	8	Plastic	Staged construction	133	134
Izkop na 4. sidro	10	9	Plastic	Staged construction	135	144
4. sidro	11	10	Plastic	Staged construction	145	157
Izkop na 5. sidro	12	11	Plastic	Staged construction	158	165
5. sidro	13	12	Plastic	Staged construction	166	167
Izkop na 256 m	14	13	Plastic	Staged construction	168	183
Varnost	15	14	Phi/c reduction	Incremental multipliers	184	283
Zasip	16	14	Plastic	Staged construction	284	285
Varnost	35	16	Phi/c reduction	Incremental multipliers	286	385
dodatna konstrukcija	17	16	Plastic	Staged construction	386	388
1. dod. sidro	31	17	Plastic	Staged construction	389	393
Izkop na 2. dod. sidro	18	31	Plastic	Staged construction	394	403
2. dod. sidro	19	18	Plastic	Staged construction	404	422
Izkop na 3. dod. sidro	20	19	Plastic	Staged construction	423	424
3. dod. sidro	21	20	Plastic	Staged construction	425	430
Izkop na 4. dod. sidro	22	21	Plastic	Staged construction	431	441
4. dod. sidro	27	22	Plastic	Staged construction	442	443
Končni izkop	23	27	Plastic	Staged construction	444	452
Varnost 1,25	24	23	Phi/c reduction	Incremental multipliers	453	485
Varnost	28	24	Phi/c reduction	Incremental multipliers	486	635
Izkop na 1. dod. sidro	25	16	Plastic	Staged construction	636	637
Dod. sidro	26	25	Plastic	Staged construction	638	639
Varnost 1,25	29	26	Phi/c reduction	Incremental multipliers	640	680
Varnost	37	29	Phi/c reduction	Incremental multipliers	681	780

3.5.2 Geološki prečni profil P10

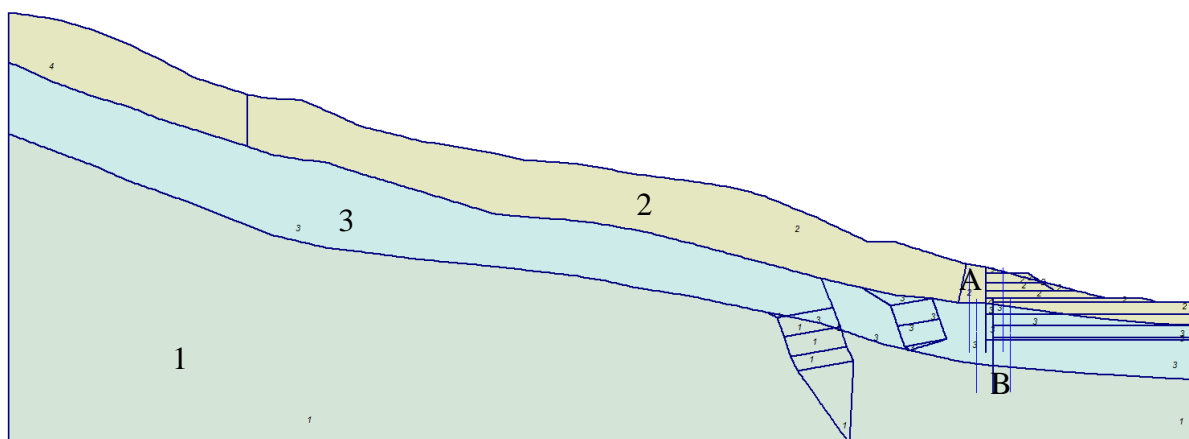
Geološka zgradba profila P10 se razlikuje od sestave prečnega profila P7, kar je vidno na sliki 12 ter na prilogah B. Karakteristike zemljin so podane v preglednici 7.

Zaradi manjše globine gradbene jame kot v profilu P7 je v osnovi predvidenih manj sider, poleg tega pa se tudi pilotna stena ne izvaja v dveh nivojih. Sidra so označena na sliki 13, njihove karakteristike pa zbrane v preglednicah 8 ter 9. Pilotni steni sta označeni na sliki 12, karakteristike pilotov pa podane v preglednici 10.

Uporabljena mreža končnih elementov je prikazana na sliki 14. Gostejša mreža je v območju predvidene kritične drsne ploskve, sider in pilotnih sten.

Višina podtalnice je v tem profilu nekoliko višja kot v profilu P7 (slika 15).

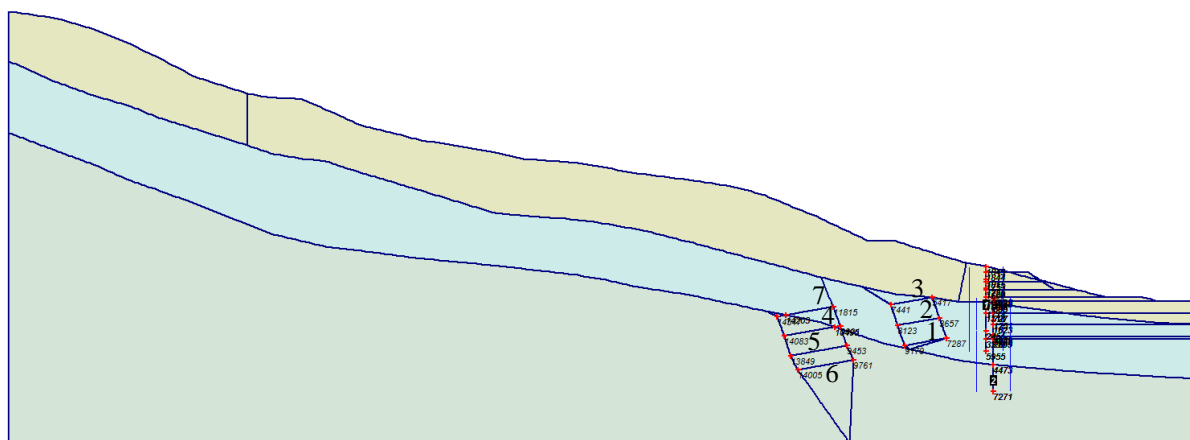
V preglednici 11 so prikazani vsi računski koraki, ki sem jih izvedla s programom Plaxis.



Slika 12: Prečni profil P10

Preglednica 7: Zemljine P10

Zemljine	1 Glinast skrilavec	2 Grušč skrilavca	3 Preperel glinast skrilavec
Type	Non-porous	Drained	Drained
g_{unsat} [kN/m ³]	23,00	20,50	21,00
g_{sat} [kN/m ³]	23,00	20,50	21,00
k_x [m/day]	0,000	0,000	0,000
k_y [m/day]	0,000	0,000	0,000
e_{init}	0,50	0,50	0,50
e_{min}	0,00	0,00	0,00
e_{max}	999,00	999,00	999,00
c_k	1E15	1E15	1E15
E_{50}^{ref} [kN/m ²]	80000,00	40000,00	50000,00
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	80000,00	45000,00	50000,00
power (m)	0,50	0,50	0,50
c_{ref} [kN/m ²]	100,00	1,00	1,00
ϕ [°]	30,00	28,00	25,00
ψ [°]	0,00	0,00	0,00
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	240000,00	140000,00	150000,00
$n_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	0,200	0,200	0,200
p^{ref} [kN/m ²]	100,00	100,00	100,00
$c_{\text{increment}}$ [kN/m ²]	0,00	0,00	0,00
y_{ref} [m]	0,00	0,00	0,00
R_f	0,90	0,90	0,90
T_{strength} [kN/m ²]	0,00	0,00	0,00
R_{inter}	0,95	0,98	0,98
d_{inter} [m]	0,00	0,00	0,00
	Impermeable	Neutral	Neutral



Slika 13: Razporeditev sider P10

Preglednica 8: Sidra P10

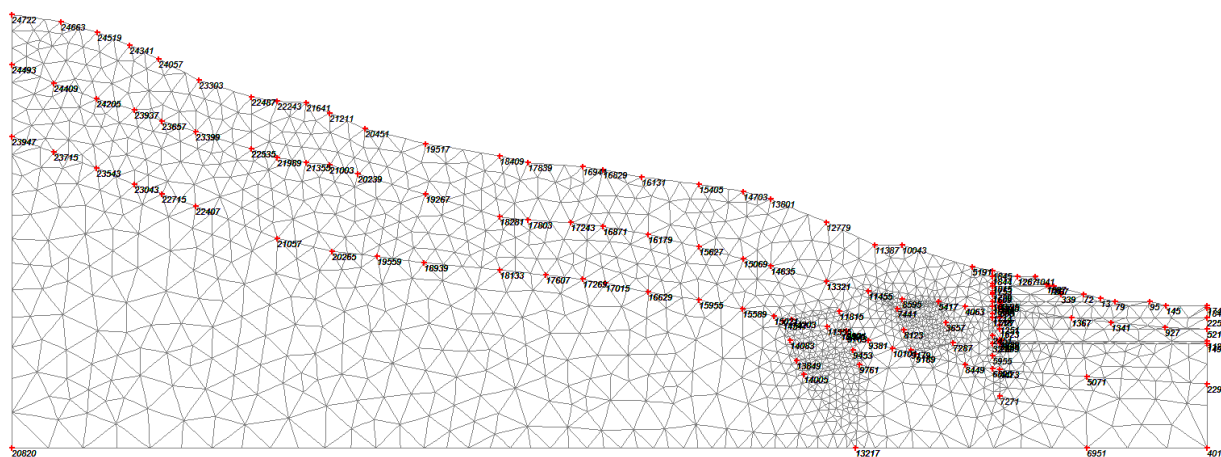
Št. sidra	Podatki	Dolžina [m]
1	4v/2m	5,689
2	4v/2m	6,708
3	4v/2m	7,710
4	4v/1m	21,932
5	4v/1m	21,011
6	4v/1m	20,008
7	4v/1m	21,932

Preglednica 9: Karakteristike sider P10

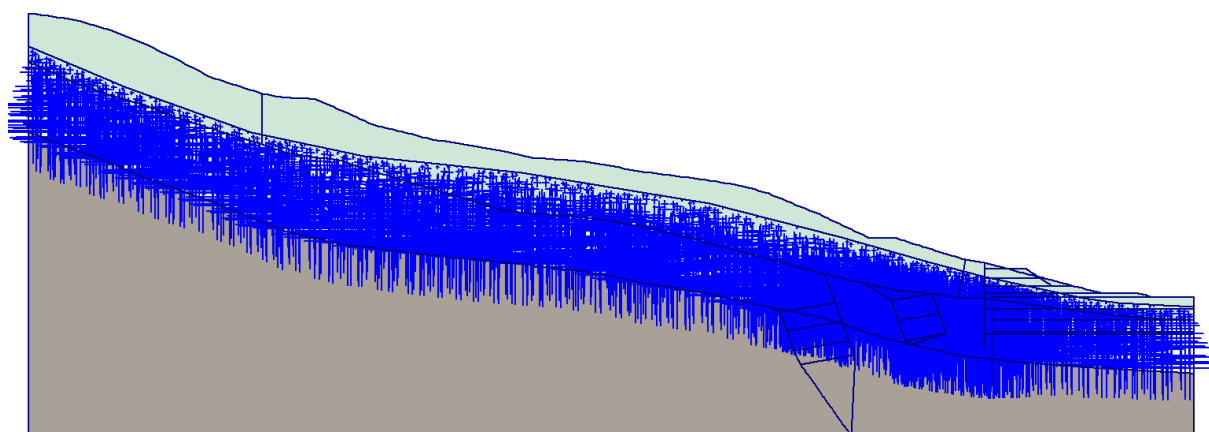
Št.	Naziv	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L razmik [m]
1	4v/2m	117600,0	10,000	991,000	2,00
2	4v/1m	117600,0	10,000	991,000	1,00

Preglednica 10: Karakteristike pilotov P10

Št.	Naziv	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	W [kN/m/m]	v[-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	Piloti fi50cm/2m	2,945E6	46019,00	2,45	0,17	1E15	1E15
2	Piloti Benotto 80	1,508E7	6,0319E5	12,50	0,17	1E15	1E15



Slika 14: Mreža končnih elementov P10



Slika 15: Vodni pritiski P10

Preglednica 11: Računski koraki P10

Faza	Št. faze	Začetna faza	Način izračuna	Load input	Začetni korak	Končni korak
Initial phase	0	0		-	0	0
PNS	1	0	Plastic	Staged construction	1	10
Varnost	2	1	Phi/c reduction	Incremental multipliers	11	39
Pilotna stena	3	1	Plastic	Staged construction	40	45
Izkop na 1.sidro	4	3	Plastic	Staged construction	46	68
1.sidro	5	4	Plastic	Staged construction	69	72
Izkop na 2.sidro	6	5	Plastic	Staged construction	1278	1298
Nasip	7	5	Plastic	Staged construction	106	107
Varnost	8	7	Phi/c reduction	Incremental multipliers	108	133
Izkop do nove stene	9	7	Plastic	Staged construction	217	228
Nova pilotna stena	10	9	Plastic	Staged construction	229	230
Izkop do 1.dod sidra	11	10	Plastic	Staged construction	231	240
1.dod sidro	12	11	Plastic	Staged construction	241	262
Izkop na 2. dod sidro	13	12	Plastic	Staged construction	263	267
2.dod sidro	14	13	Plastic	Staged construction	268	270
Izkop na 3. dod sidro	15	14	Plastic	Staged construction	271	276
3. dod. sidro	16	15	Plastic	Staged construction	277	280
Izkop na 253,5	17	16	Plastic	Staged construction	369	371
Varnost 1,25	18	17	Phi/c reduction	Incremental multipliers	372	445
Varnost	19	18	Phi/c reduction	Incremental multipliers	446	464
Izkop do 1.dod. sidra	20	7	Plastic	Staged construction	134	135
1. dod. sidro	21	20	Plastic	Staged construction	136	141
Izkop na 259,6	22	21	Plastic	Staged construction	142	145
Varnost 1,25	23	22	Phi/c reduction	Incremental multipliers	146	180
Varnost	24	23	Phi/c reduction	Incremental multipliers	181	216
Varnost 259 1. sidro	25	5	Phi/c reduction	Incremental multipliers	1299	1448
Varnost porušitev	29	6	Phi/c reduction	Incremental multipliers	1449	1598

3.6 Povratna stabilnostna analiza

Povratno stabilnostno analizo sem izvedla, da sem potrdila stanje in izvedene meritve na terenu, ustreznost geološko geotehničnega profila, izmerjen nivo vode in mehanske karakteristike zemljin.

Analize sem najprej izdelala s programom Rocscience Slide, nato pa še s programom Plaxis po metodi končnih elementov ob upoštevanju vseh gradbenih faz ter nelinearnega obnašanja zemljin.

3.6.1 Stanje ob poružitvi – izkop do kote 256 m

Rocscience Slide v.5.0

Povratne stabilnostne analize sem izvedla po lamelnih metodah Spencerja in Morgenstern/Price-a ob upoštevanju poligonalnih porušnic. Pri profilu P7 sem naredila tudi primer z upoštevanjem krožnih porušnic. Iz rezultatov je vidno, da pri upoštevanju krožnih porušnic dobimo manjšo varnost. Ker poznamo približen potek drsine, sem uporabila poligonalne drsine, ki sem jim omejila potek z izbranimi področji. V razpredelnici 12 so prikazani izračunani varnostni faktorji za profila P7 (krožna ter poligonalna drsina) ter P10.

Preglednica 12: Rezultati povratne analize s programom Slide

Računski profil	Faktor varnosti (Spencer)	Faktor varnosti (Morgenstern/Price)	Priloge
P7 (krožna)	0,999	1,000	B1 in B2
P7 (poligonalna)	1,075	1,059	B3 in B4
P10	1,044	1,022	C1 in C2

Za doseg ustreznih računskih varnosti mejnega stanja nosilnosti ($F \approx 1,0$) sem v profilu P7 upoštevala vodostaj ter globino drsne ploskve po podatkih prečnega profila P8. V profilu P10 pa sem upoštevala globino drsenja po podatkih inklinometrov in nivo vode glede na strugo potoka. Drsna ploskev v tem profilu določa kontakt zelo zaglinjenega grušča skrilavca ali zaglinjenega karbonatnega grušča ter preperine skrilavca.

Materialni podatki obeh profilov so vidni na prilogah od B1 do B4 ter C1 in C2.

Plaxis

S programom Plaxis sem naredila numerično simulacijo gradnje podporne konstrukcije in izkopa gradbene jame do dne 25.01.2008.

Rezultati povratne analize v profilu P7 (faza 14)

Na sliki 16 je prikazana deformirana mreža končnih elementov ob poružitvi. Velikost pomikov pa je lepo vidna na sliki 17. Porušnica gre za veznimi deli sider. Na obeh slikah je opazno, da do večjih premikov pride tudi v levem zgornjem robu profila. Do tega je prišlo, ker z geotehničnim modelom ne moremo popolnoma posnemati obnašanja v naravi.

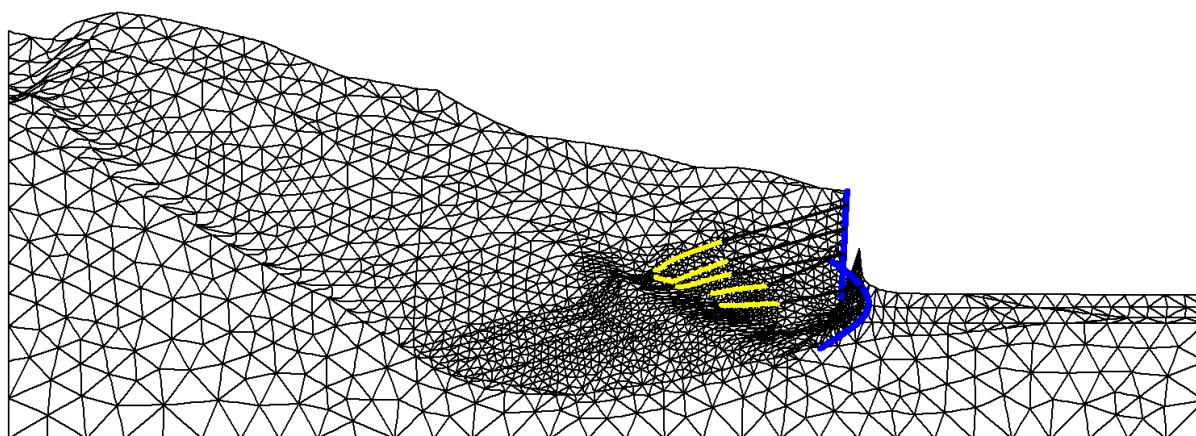
V nadaljnjih izračunih modela nisem spreminjala. Lahko bi skrajšala levi rob profila ali nekoliko izboljšala materialne karakteristike v levem zgornjem robu. Ker ta del profila ne vpliva bistveno na izračune, ga nisem spreminjala.

Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotnih stenah so prikazane v preglednici 13. Z odebeljenim tekstom je označen maksimalen moment spodnje konstrukcije, ki je kritičen.

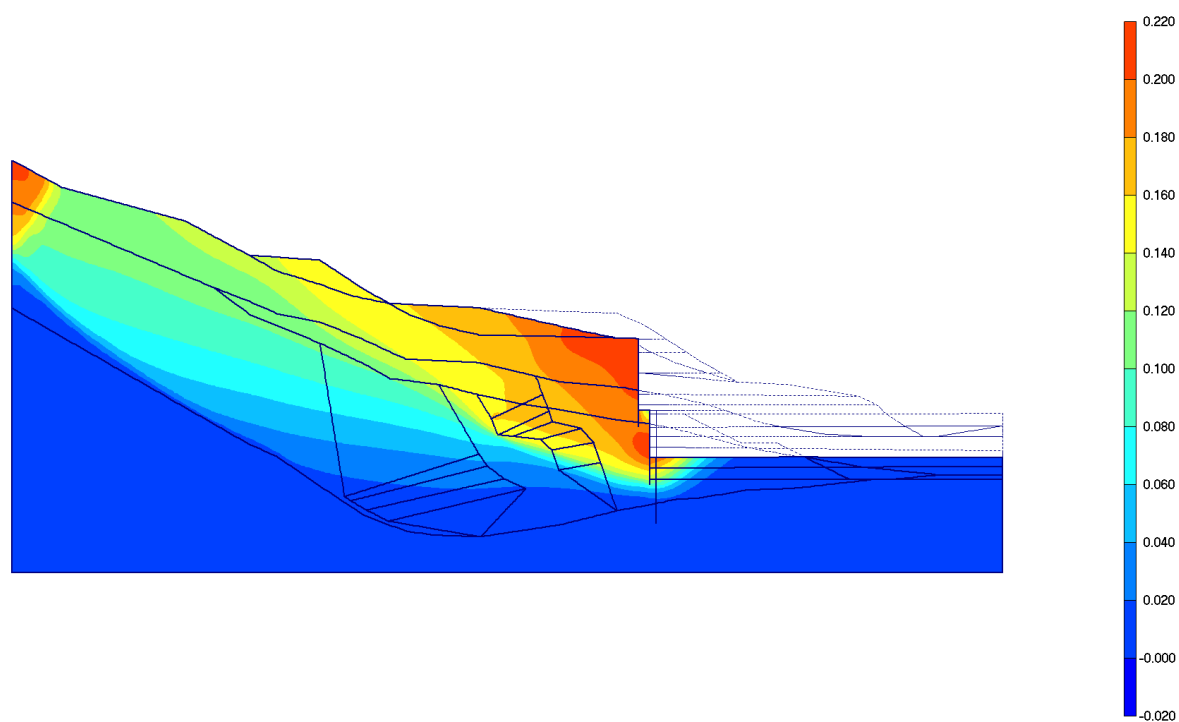
V preglednici 14 so odebeljeno označene sidrne sile v tej fazi. Največja sidrna sila je v zadnjem zaklinjenem sidru na spodnji pilotni steni.

Podatki o fazi 14:

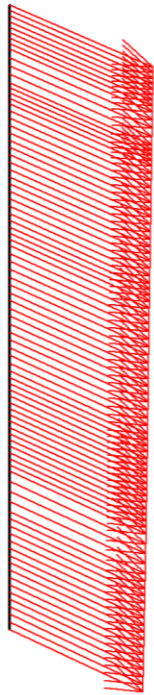
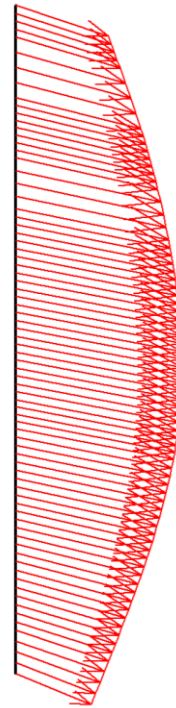
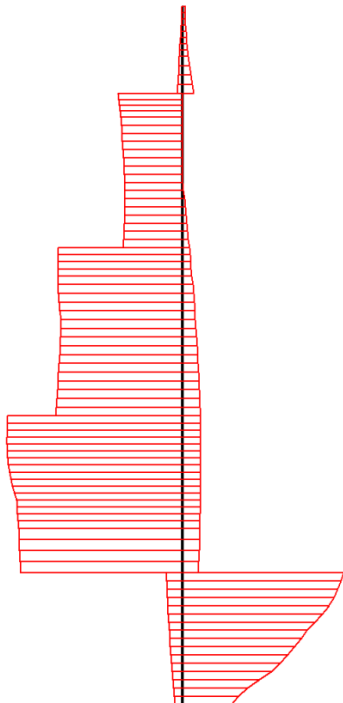
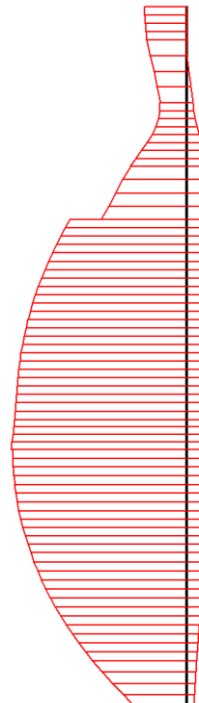
Step no:	183
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	1,375
Relative stiffness	0,002

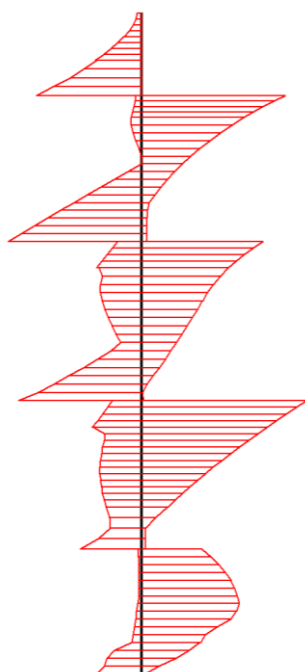


Slika 16: Deformirana mreža - korak 183 - faza 14

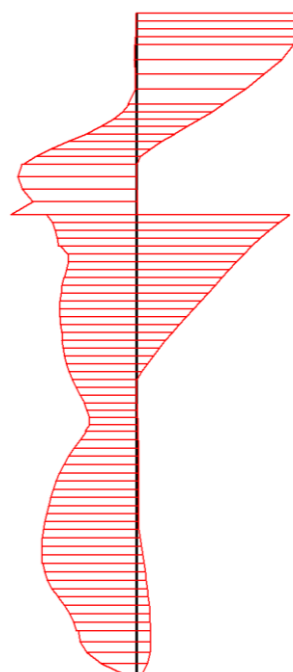


Slika 17: Pomiki - korak 183 - faza 14

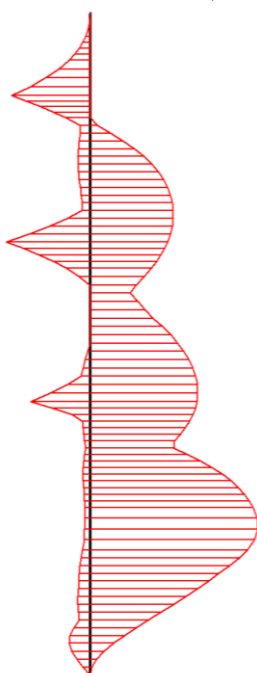
Zgornja stena**Pomiki**Ekstremna vrednost $207,97 \cdot 10^{-3}$ m**Spodnja stena****Pomiki**Ekstremna vrednost $215,37 \cdot 10^{-3}$ m**Ovojnica osnih sil**Ekstremna vrednost $-285,51$ kN/m**Ovojnica osnih sil**Ekstremna vrednost $-295,12$ kN/m



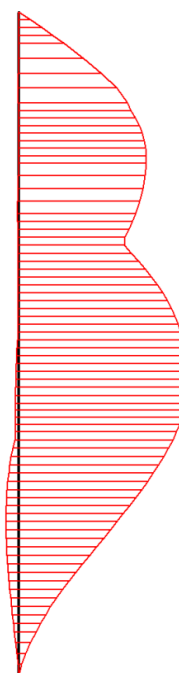
Ovojnica strižnih sil
 Ekstremna vrednost 175,02 kN/m



Ovojnica strižnih sil
 Ekstremna vrednost 265,24 kN/m



Ovojnica upogibnih momentov
 Ekstremna vrednost 145,44 kN/m/m



Ovojnica upogibnih momentov
 Ekstremna vrednost 487,90 kN/m/m

Preglednica 13: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 14

		N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	175,021	0,000	136,262
	Min:	-285,513	0,000	-141,058	0,000	-145,442	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	37,795	-0,206	265,238	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-487,902	0,000

Preglednica 14: Sile v sidrih, faza 14

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	F _{max,comp} [kN]	F _{max,tens} [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	18925 3269	-42,800 -19,000	255,100 261,311	0,000	10,00	991,00	117600,0	24,597
2	15399 3505	-40,450 -19,000	253,300 258,516	0,000	10,00	991,00	117600,0	22,075
3	16981 5125	-37,400 -19,000	251,900 255,471	0,000	10,00	991,00	117600,0	18,743
4	21615 8625	-44,000 -21,400	256,800 264,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	23,812
5	12699 20569	-21,400 -35,000	271,550 265,210	586,382	10,00	991,00	117600,0	15,005
6	10932 17563	-21,400 -34,090	268,800 262,880	595,200	10,00	991,00	117600,0	14,003
7	10718 13965	-21,400 -33,610	265,800 261,350	642,271	10,00	991,00	117600,0	12,996
8	4823 12049	-19,900 -29,560	263,000 260,410	437,076	10,00	991,00	117600,0	10,001
9	3487 7209	-19,900 -27,780	259,800 258,410	902,224	10,00	991,00	117600,0	8,002
10	4083 10197	-19,900 -26,800	256,800 255,580	0,000	10,00	991,00	117600,0	7,007

Rezultati analize s programom Plaxis potrjujejo rezultate povratnih stabilnostnih analiz po lamelni metodi. Pomiki so zelo veliki (približno 21 cm), saj v tej fazi pride do porušitve.

Zgornja konstrukcija se je predvsem translatorno pomaknila, zato ni večjih poškodb konstrukcije. Izračunane notranje sile v zgornji konstrukciji ($M_{\max} = 136,3$ kNm/m) kažejo na skoraj v celoti izkoriščeno upogibno nosilnost pilotov. Pri spodnji konstrukciji ($M_{\max} = 487,9$ kNm/m) pa je upogibna nosilnost pilotov presežena in je pri projektiranju sanacijskih ukrepov ne moremo več upoštevati kot (upogibno) nosilno konstrukcijo.

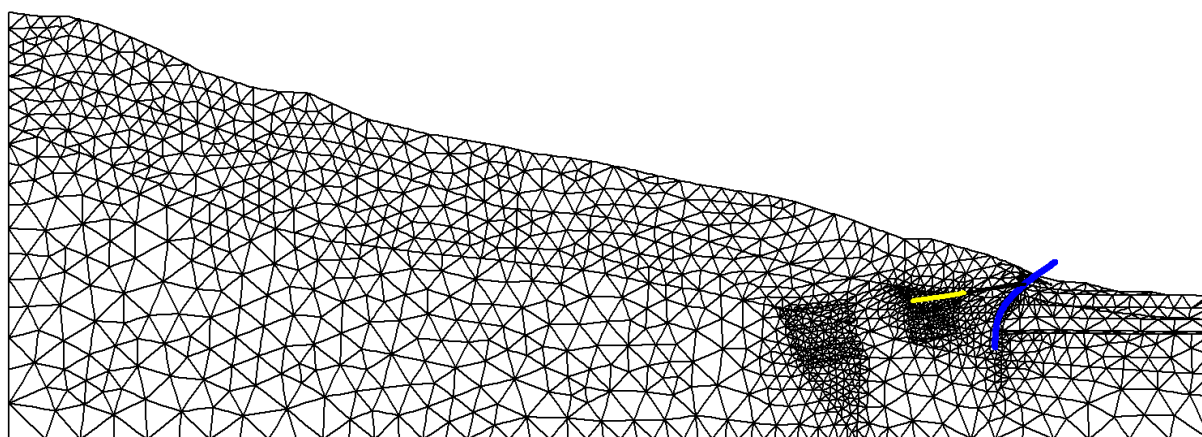
Rezultati analize v profilu P10 (faza 5)

V profilu P10 sem najprej naredila analizo do kote prvega nivoja sider 259,6 m, do koder je bil narejen izkop do 25.01.2008.

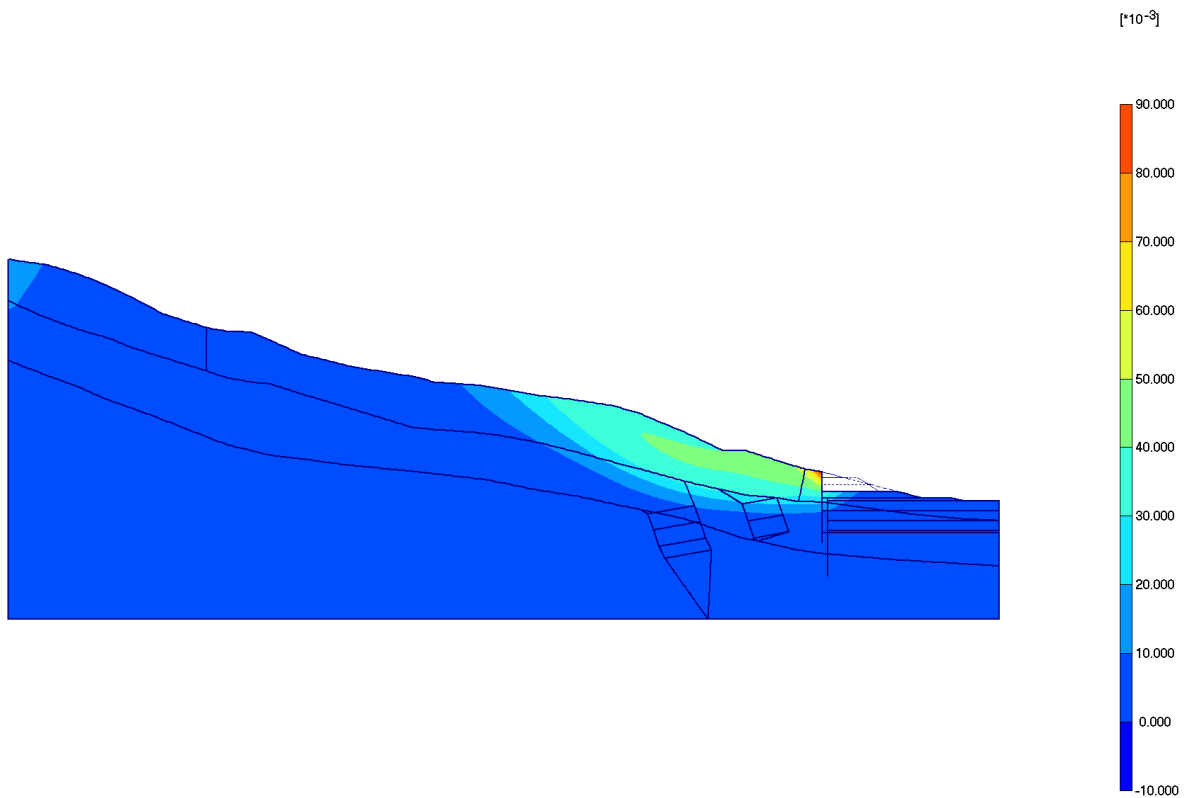
Na sliki 18 ter 19 so vidni pomiki, ki so manjši kot v profilu P7, in znašajo do 9 cm. Tudi notranje sile v pilotih še niso kritične (preglednica 15). V preglednici 16 so podane sidrne sile.

Podatki o fazi 5:

Step no:	72
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	0,647
Relative stiffness	0,045

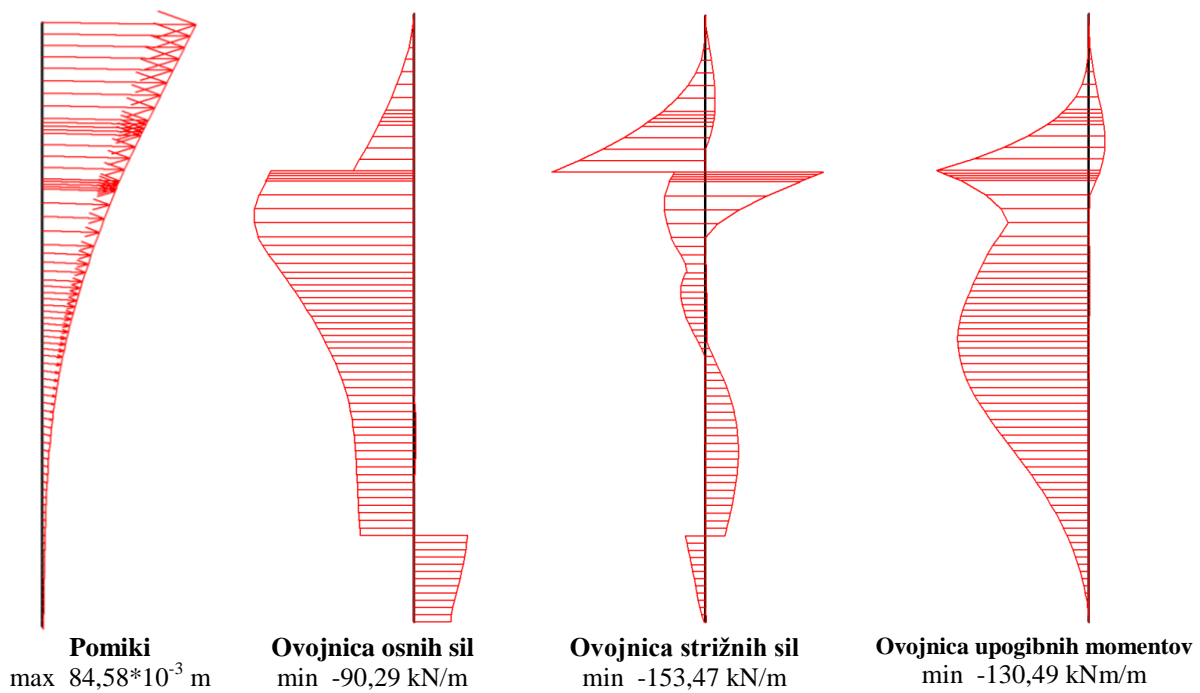


Slika 18: Deformirana mreža - korak 72 - faza 5



Slika 19: Pomiki - korak 72 - faza 5

Pilotna stena



Preglednica 15: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 5

		N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Pilotna stena	Max:	-0,083	1,160	0,000	117,893	0,000	130,487
	Min:	-90,288	0,000	-153,472	0,000	-18,526	0,000

Preglednica 16: Sidrne sile, faza 5

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	2451	-30,100	253,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	5,689
	7287	-35,700	252,800					
2	1714	-30,100	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	6,708
	3657	-36,700	255,600					
3	1729 5417	-30,100 -37,700	259,800 258,500	550,000	10,00	991,00	117600,0	7,710
4	1145	-29,100	258,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	9901	-50,700	254,500					
5	1251	-29,100	255,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,011
	9453	-49,800	251,700					
6	1989	-29,100	253,200	0,000	10,00	991,00	117600,0	20,008
	9761	-48,800	249,700					
7	1815	-30,100	261,000	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	11815	-51,700	257,200					

V tem profilu še ni prišlo do porušitve, končna izračunana varnost je $F \approx 1,08$. Pomiki so v primerjavi s profilom P7 manjši in znašajo približno 8 cm. Ker pri izkopu do kote prvega nivoja sider še ni prišlo do porušitve, sem preverila, kaj bi se zgodilo, če bi z izkopom nadaljevali do drugega nivoja sider.

Rezultati izkopa na drugi nivo sider na koti 256 m (faza 6)

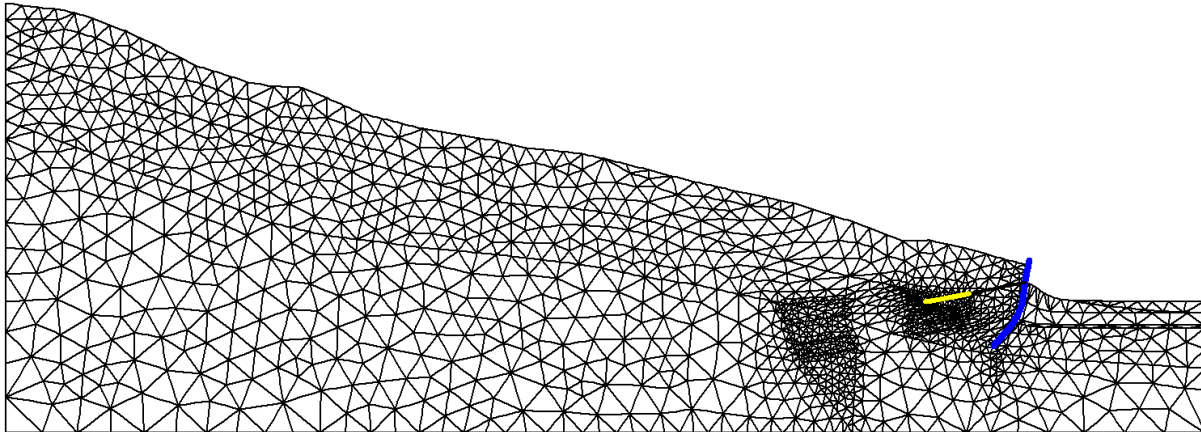
V tej fazi še niso zaklinjena sidra v drugi vezni gredi, narejen je le izkop do druge vezne grede. Tu pa je že prišlo do porušitve.

Na sliki 21 je vidno, da so pomiki zelo veliki, približno 28 cm. Opazno je, da kritična porušnica poteka za veznimi deli sider. Deformirana mreža končnih elementov je prikazana na sliki 20.

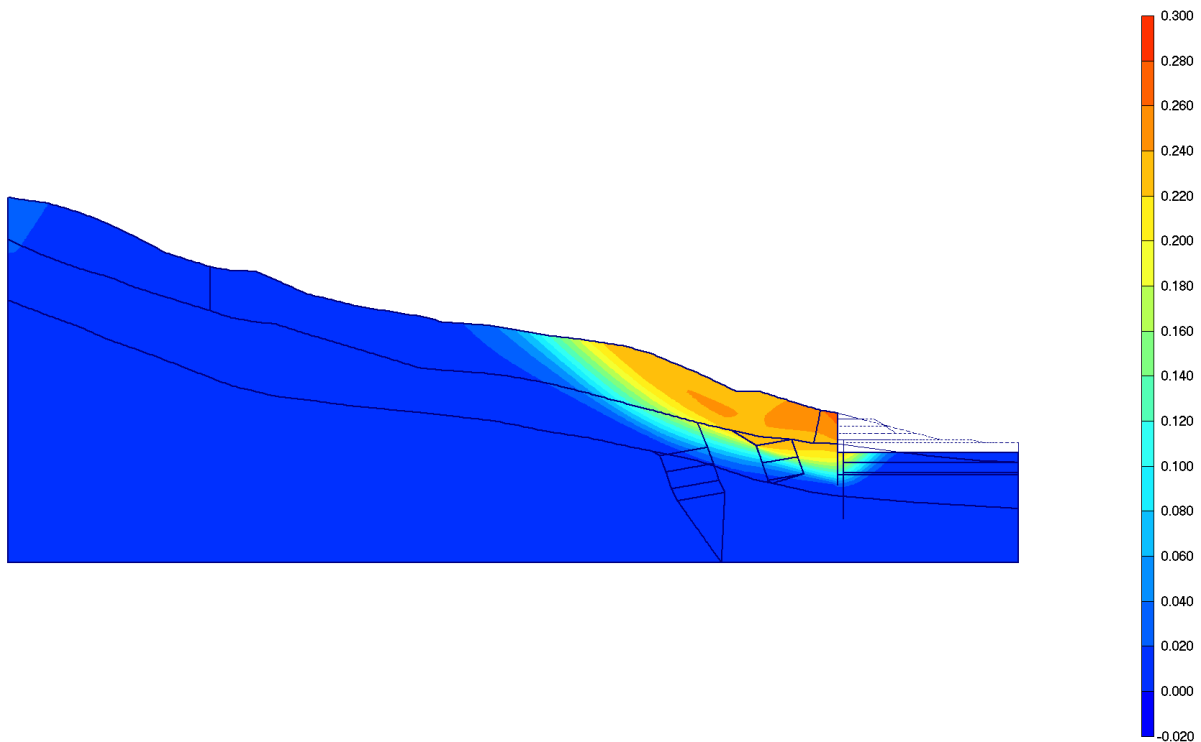
V tej fazi je v pilotni steni dosežen velik upogiben moment, ki je z odebeljenim tiskom označen v preglednici 17. V primerjavi z izkopom na koto prvega sidra se povečajo tudi sidrne sile (preglednica 18).

Podatki o fazi 6:

Step no:	1298
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	1,430
Relative stiffness	0,001

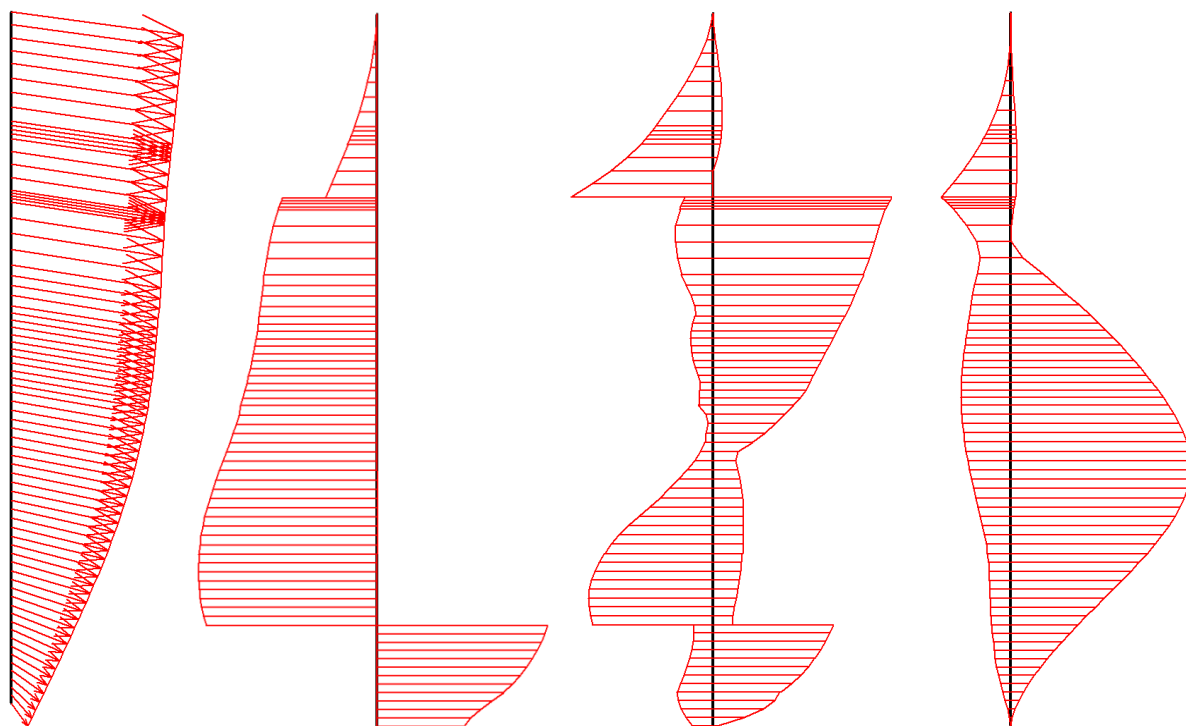


Slika 20: Deformirana mreža - korak 1298 - faza 6



Slika 21: Pomiki - korak 1298 - faza 6

Pilotna stena



Pomiki
 max $278,46 \cdot 10^{-3}$ m

Ovojnica osnih sil
 min -211,58 kN/m

Ovojnica strižnih sil
 max 193,61 kN/m

Ovojnica upogibnih momentov
 max 405,66 kNm/m

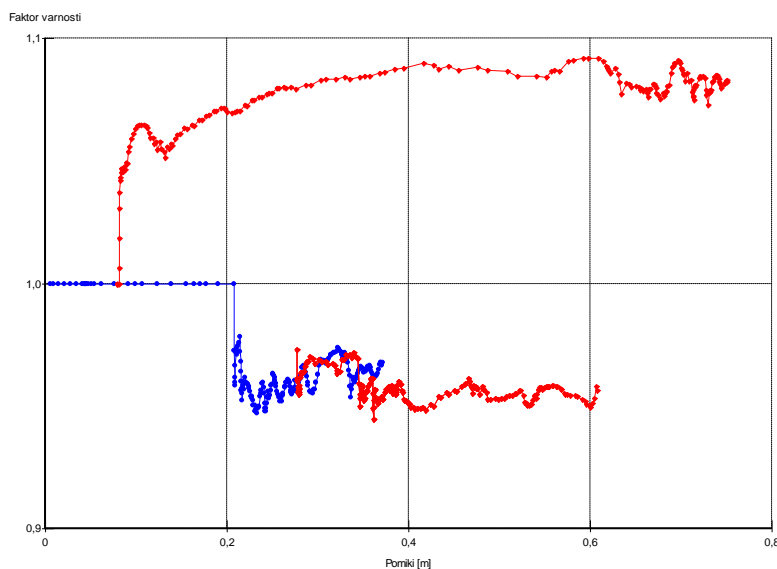
Preglednica 17: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 6

		N_{\min} [kN/m]	N_{\max} [kN/m]	Q_{\min} [kN/m]	Q_{\max} [kN/m]	M_{\min} [kNm/m]	M_{\max} [kNm/m]
Pilotna stena	Max:	-0,085	1,160	-0,217	193,609	0,000	158,405
	Min:	-211,580	0,000	-153,936	0,000	-405,658	0,000

Preglednica 18: Sidrne sile, faza 6

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	2451	-30,100	253,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	5,689
	7287	-35,700	252,800					
2	1714	-30,100	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	6,708
	3657	-36,700	255,600					
3	1729	-30,100	259,800	641,395	10,00	991,00	117600,0	7,710
	5417	-37,700	258,500					
4	1145	-29,100	258,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	9901	-50,700	254,500					
5	1251	-29,100	255,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,011
	9453	-49,800	251,700					
6	1989	-29,100	253,200	0,000	10,00	991,00	117600,0	20,008
	9761	-48,800	249,700					
7	1815	-30,100	261,000	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	11815	-51,700	257,200					

Z analizo izkopa do drugega nivoja sidranja sem ugotovila, da bi v tem delu gradbene jame prišlo do porušitve, če bi nadaljevali z izkopom. V tej fazi dobimo zelo velike pomike, kar nakazuje na porušitev zaledja. Upogibna nosilnost pilotne stene je presežena ($M_{\max} = 405,7 \text{ kNm/m}$).



Slika 22: Pomik vrha gornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - porušitev

prikazuje porušitev, saj je varnost manjša od $F = 1,0$. Do porušitve bi prišlo, če bi z izkopom nadaljevali do drugega nivoja sider.

Na levem grafu so prikazani pomiki v odvisnosti od računske varnosti. Modra krivulja označuje profil P7, rdeči pa profil P10. V profilu P7 je varnost manjša od $F = 1,0$, kar kaže na porušitev. V profilu P10 krivulja z varnostjo nad $F = 1,0$ prikazuje fazo 5, kjer je izveden izkop do prvega nivoja sider. V tej fazi še ne pride do porušitve. Spodnja rdeča krivulja pa

Na podlagi izvedenih analiz z novimi geološkimi profili sem ugotovila, da so bila geotehnična sidra prekratka, saj porušnice potekajo za veznimi deli sider. V profilu P10 je stanje nekoliko boljše kot v profilu P7, ker je bil izkop narejen le do prvega nivoja sider, kjer je dosežena končna varnost $F \approx 1,08$ ter upogibna nosilnost pilotne stene še ni prekoračena.

3.7 Zasutje gradbene jame

Gradbeno jamo se je na južni strani zasulo s kamnitim materialom do približne kote 262 m (slika 23). Analizo stanja sem izvedla s programoma Slide in Plaxis.



Slika 23: Zasutje gradbene jame

Rezultati s programom Slide po zasutju gradbene jame:

Po izvedenem nasipu se varnost poveča. Rezultati so prikazani v preglednici 19.

Preglednica 19: Rezultati po zasutju s programom Slide

Računski profil	Faktor varnosti (Spencer)	Faktor varnosti (Morgenstern/Price)	Priloge
P7 (poligonalna)	1,320	1,318	B5 in B6
P10	1,161	1,126	C3 in C4

Izvedena stabilnostna analiza izkazuje ustrezno računsko varnost konstrukcije proti zdrsu. Z zasutjem gradbene jame se je naraščanje premikov upočasnilo, zaledje pa se je stabiliziralo.

Rezultati s programom Plaxis:

Analizo zasute gradbene jame sem izvedla še v programu Plaxis.

Rezultati v profilu P7 po zasutju gradbene jame (faza 16)

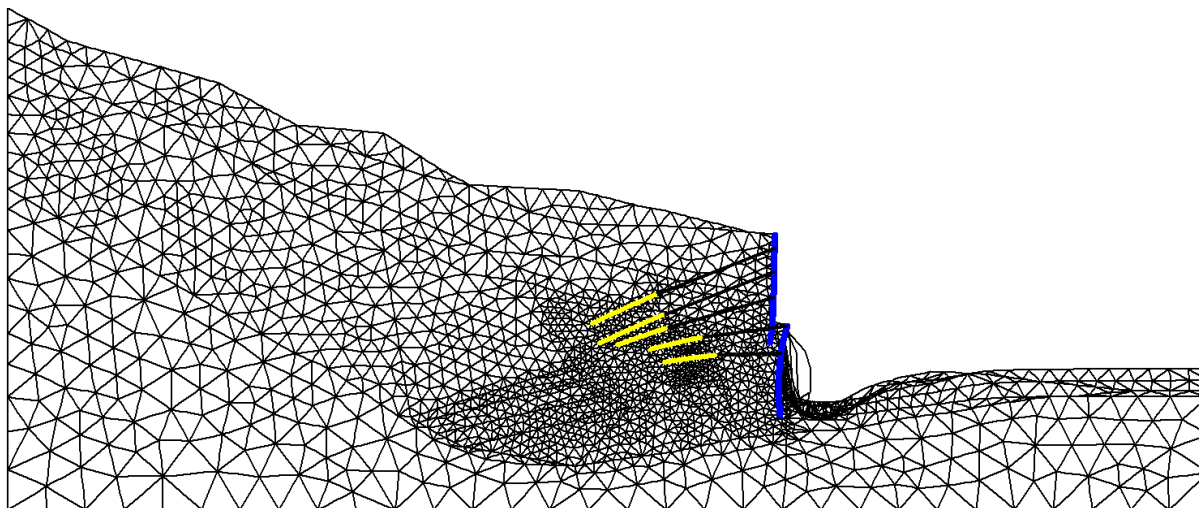
Na sliki 24 je prikazana deformirana mreža po zasutju gradbene jame. Največje deformacije so na področju nasipa, zaradi posedanja kamnitega materiala. Pomiki nasipa, ki znašajo približno 2 cm, so vidni na sliki 25.

Notranje sile v pilotih se po zasutju skoraj ne povečajo (preglednica 20). Tudi sidrne sile se bistveno ne spremenijo (preglednica 21).

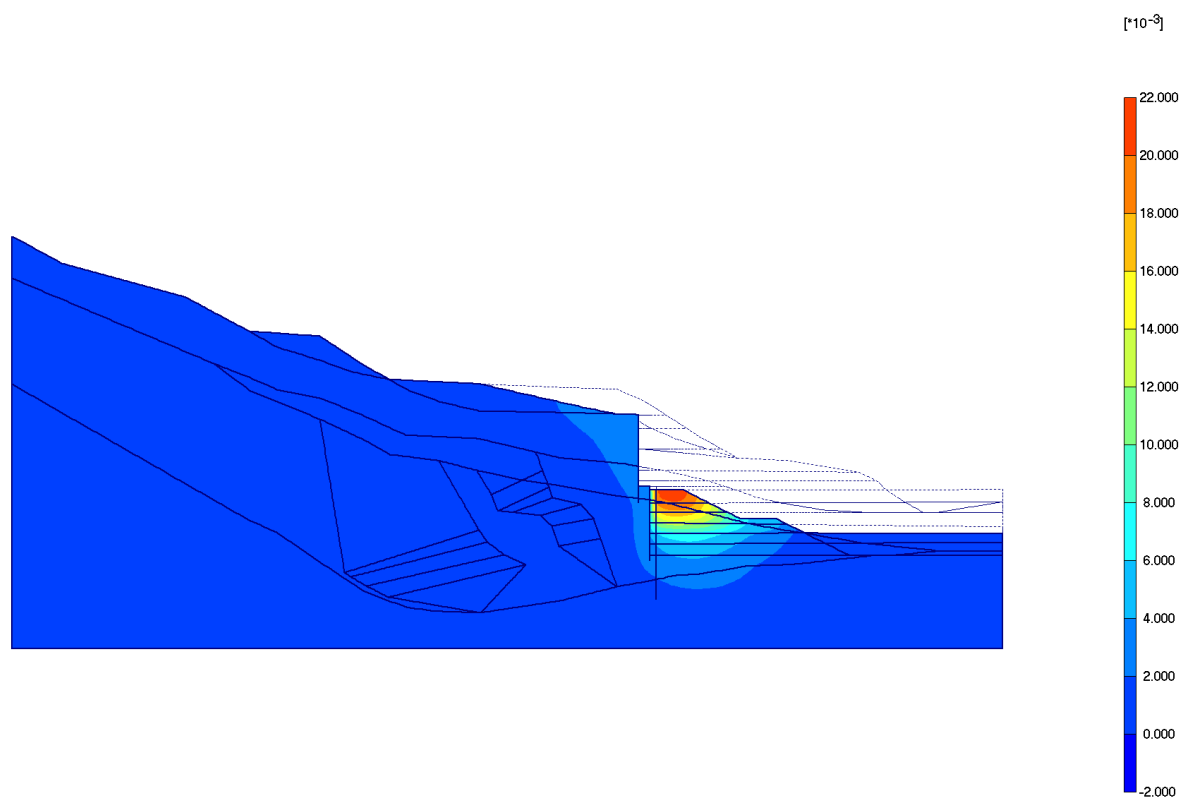
Opazimo, da so učinki zasipa ugodni, saj se je zaledje očitno stabiliziralo.

Podatki o fazi 16:

Step no:	285
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	1,135
Relative stiffness	0,577



Slika 24: Deformirana mreža - korak 285 - faza 16



Slika 25: Pomiki - korak 285 - faza 16

Zgornja konstrukcija



Pomiki

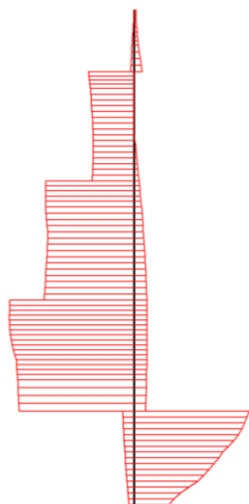
Ekstremna vrednost $2,82 \cdot 10^{-3}$ m

Spodnja konstrukcija

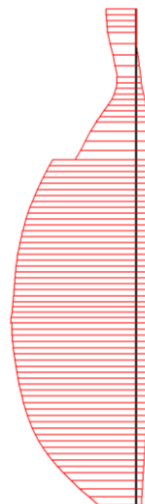


Pomiki

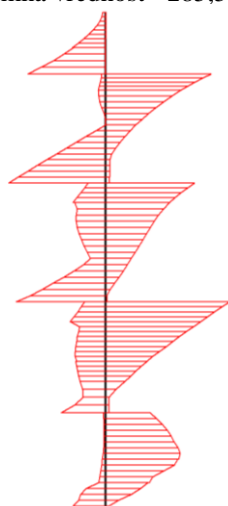
Ekstremna vrednost $3,47 \cdot 10^{-3}$ m



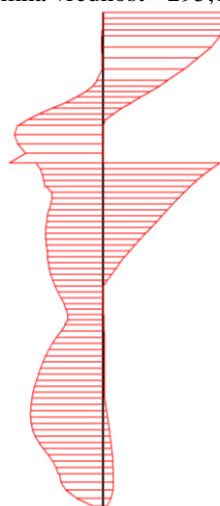
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -285,51 kN/m



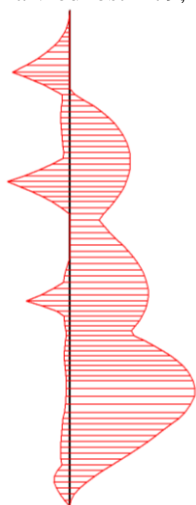
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -295,12 kN/m



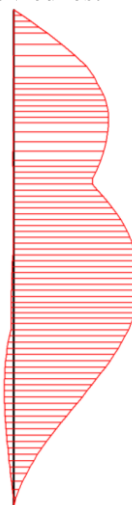
Ovojnica strižnih sil
Ekstremna vrednost 179,23 kN/m



Ovojnica strižnih sil
Ekstremna vrednost 265,24 kN/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost 148,94 kN/m/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost 487,90 kN/m/m

Preglednica 20: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 16

		N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	179,226	0,000	136,262
	Min:	-285,513	0,000	-141,058	0,000	-148,936	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	37,795	-0,206	265,238	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-487,902	0,000

Preglednica 21: Sidrne sile, faza 16

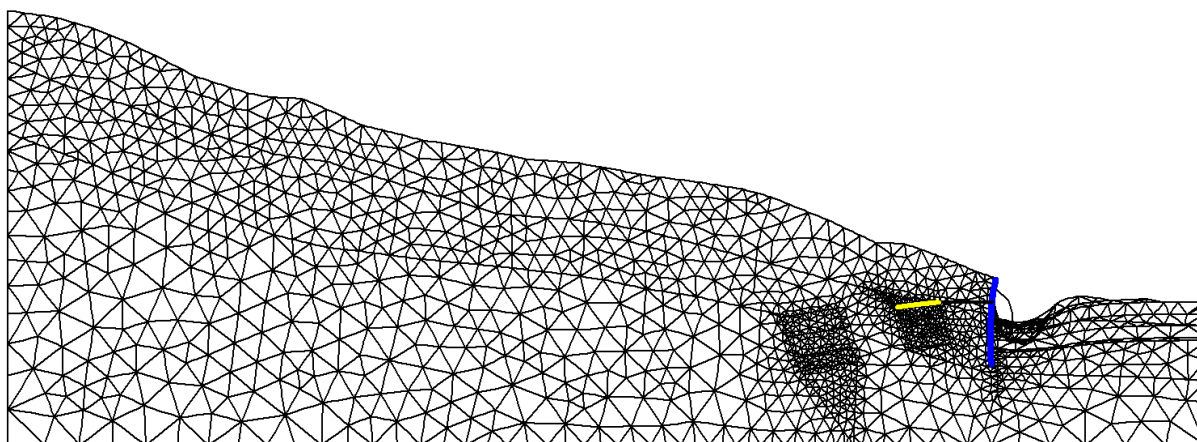
Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	18925 3269	-42,800 -19,000	255,100 261,311	0,000	10,00	991,00	117600,0	24,597
2	15399 3505	-40,450 -19,000	253,300 258,516	0,000	10,00	991,00	117600,0	22,075
3	16981 5125	-37,400 -19,000	251,900 255,471	0,000	10,00	991,00	117600,0	18,743
4	21615 8625	-44,000 -21,400	256,800 264,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	23,812
5	12699 20569	-21,400 -35,000	271,550 265,210	585,978	10,00	991,00	117600,0	15,005
6	10932 17563	-21,400 -34,090	268,800 262,880	594,510	10,00	991,00	117600,0	14,003
7	10718 13965	-21,400 -33,610	265,800 261,350	642,937	10,00	991,00	117600,0	12,996
8	4823 12049	-19,900 -29,560	263,000 260,410	440,567	10,00	991,00	117600,0	10,001
9	3487 7209	-19,900 -27,780	259,800 258,410	891,307	10,00	991,00	117600,0	8,002
10	4083 10197	-19,900 -26,800	256,800 255,580	0,000	10,00	991,00	117600,0	7,007

Rezultati v profilu P10 po zasutju gradbene jame (faza 7)

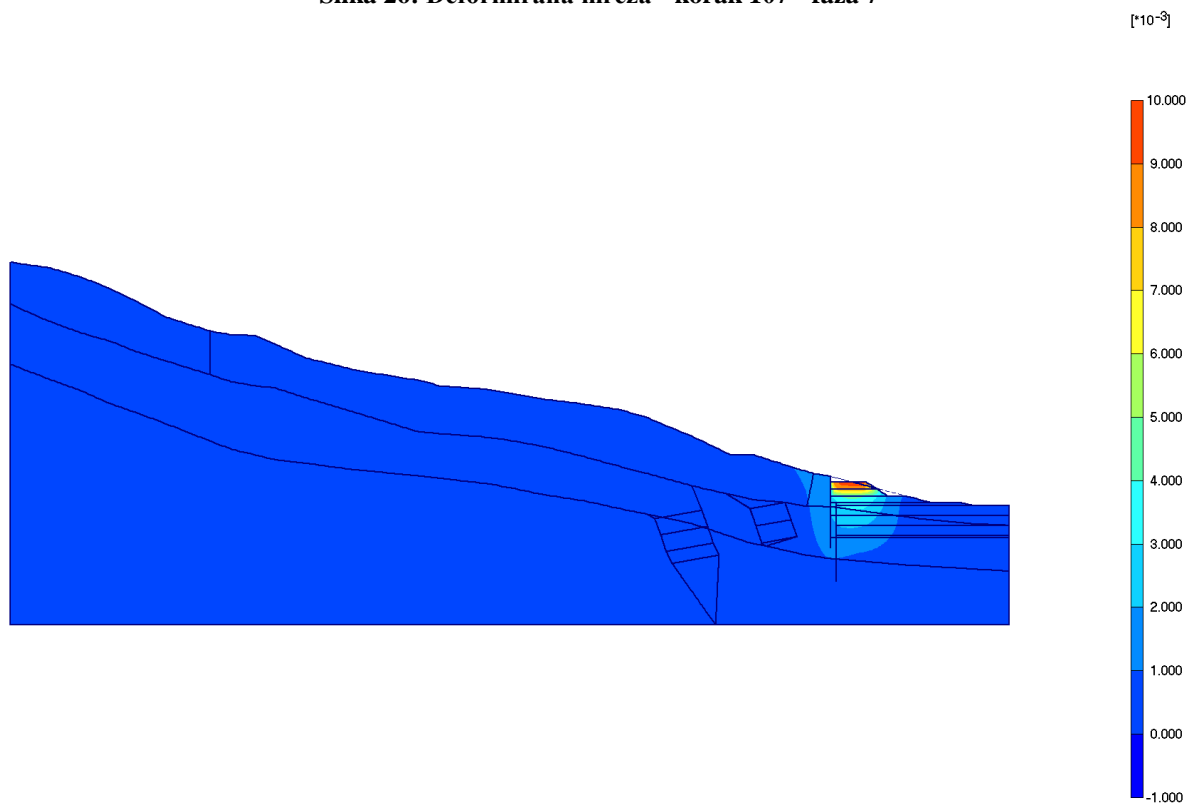
Ravno tako kot v profilu P7 so tudi tukaj največji pomiki na vrhu nasipa zaradi posedanja nasipa (sliki 26 ter 27). Zaledje se stabilizira, notranje sile ter sidrne sile ne naraščajo več (preglednici 22 ter 23).

Podatki o fazi 7:

Step no:	107
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	1,067
Relative stiffness	0,743

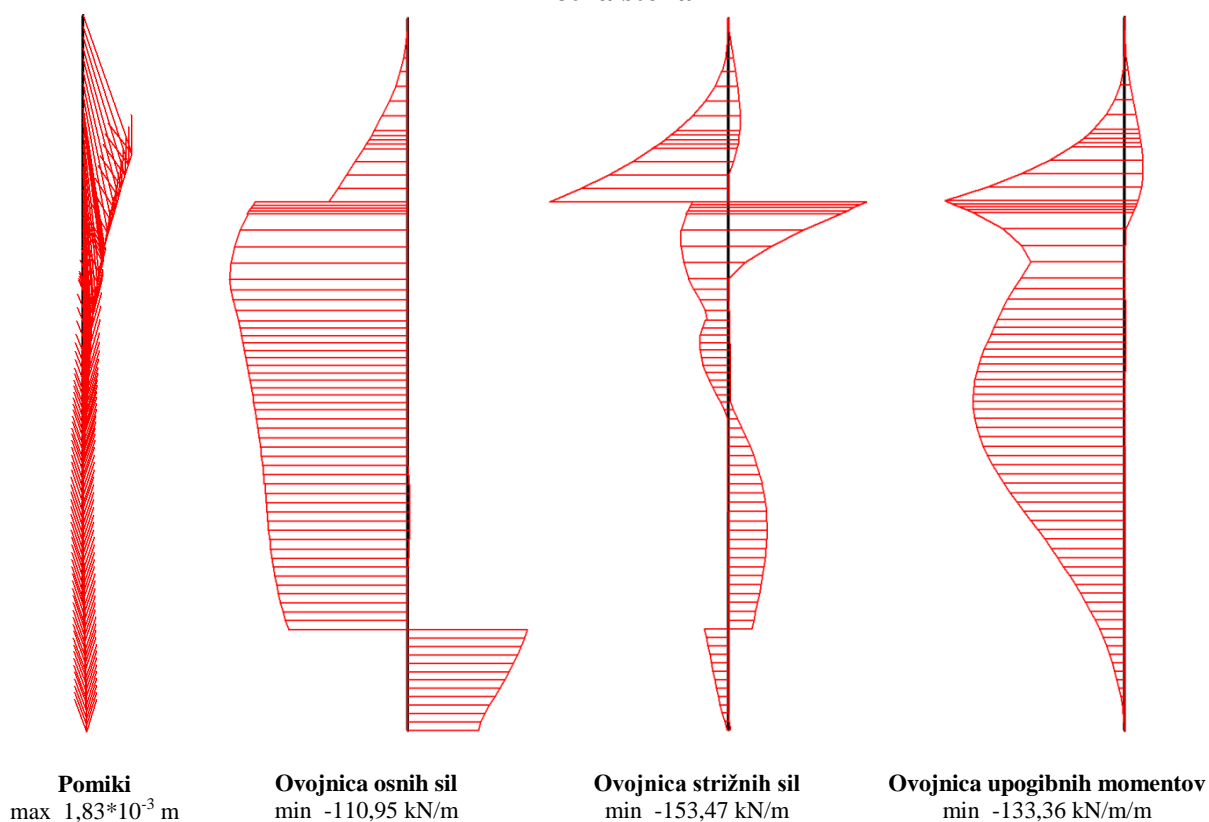


Slika 26: Deformirana mreža - korak 107 - faza 7



Slika 27: Pomiki - korak 107 - faza 7

Pilotna stena



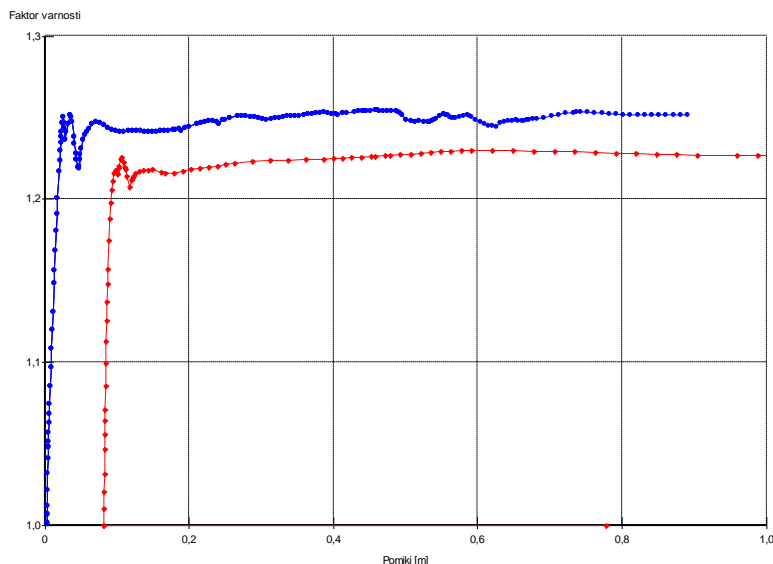
Preglednica 22: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 7

		N_{\min} [kN/m]	N_{\max} [kN/m]	Q_{\min} [kN/m]	Q_{\max} [kN/m]	M_{\min} [kNm/m]	M_{\max} [kNm/m]
Pilotna stena	Max:	-0,083	1,160	0,000	118,508	0,000	133,362
	Mín:	-110,949	0,000	-153,472	0,000	-18,553	0,000

Preglednica 23: Sidrne sile, faza 7

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	F _{max,comp} [kN]	F _{max,tens} [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	2451	-30,100	253,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	5,689
	7287	-35,700	252,800					
2	1714	-30,100	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	6,708
	3657	-36,700	255,600					
3	1729	-30,100	259,800	544,561	10,00	991,00	117600,0	7,710
	5417	-37,700	258,500					
4	1145	-29,100	258,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	9901	-50,700	254,500					
5	1251	-29,100	255,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,011
	9453	-49,800	251,700					
6	1989	-29,100	253,200	0,000	10,00	991,00	117600,0	20,008
	9761	-48,800	249,700					
7	1815	-30,100	261,000	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	11815	-51,700	257,200					

Z zasutjem gradbene jame se zaledje začasno stabilizira. Naraščanje notranjih sil v obeh profilih se umiri. Prirastek pomikov po zasutju je minimalen (priloga A). Sidrne sile se zmanjšajo.



Slika 28: Pomiki gornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - zasutje

Stabilnostna analiza profilov P7 ter P10 v programu Plaxis izkazuje ustrezno računsko varnosti prosti zdrs (slika 28). Profil P7, modra krivulja, izkazuje nekoliko večjo varnost kot profil P10. Računska varnost v profilu P7 znaša $F = 1,25$, v profilu P10 pa $F = 1,23$.

V obeh profilih je dosežena dovolj velika računsko varnost, da sem lahko analizirala sanacijo gradbene jame.

3.8 Predlog sanacijskih ukrepov

Za sanacijo nastalih razmer in nadaljevanje del sta bila predvidena dva možna načina sanacije:

1. Izvedba nove sidrane podporne konstrukcije

Ob sedanji pilotni steni bi bila izvedena nova pilotna stena s koli premera 80 cm na medosni razdalji 1,0 m. Ker je presežena upogibna nosilnost spodnje konstrukcije, bi morala biti nova pilotna stena izvedena čim bližje sedanji. Koli bi bili na vrhu povezani z armiranobetonsko gredo ter sidri. Dolžina kolov bi bila približno 16 m. Stena bi bila štirikrat sidrana in sicer s tremi nivoji sidranja na spodnji konstrukciji ter enim nivojem sidranja na zgornji. Nova štirivrva sidra bi bila daljša od prejšnjih, dolga približno 40 m, z veznim delom dolžine 8 m. Medosna razdalja med novimi sidri bi znašala 1 m. Računsko predvidena sila prednapetja bi bila 500 kN. S to varianto bi ohranili dve etaži objekta. Končna kota izkopa bi bila 253 m.

2. Zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž

Delno zasutje je že izvedeno. Sedanjo podporno konstrukcijo bi bilo potrebno ojačati z vzdolžno armirano betonsko gredo ter dodatno sidrati. Medosna razdalja med sidri bi bila 1 m. Uporabila bi se štirivrvna sidra približne dolžine 30 m, z dolžino veznega dela 8 m. Predvidena sila prednapetja sider bi bila 500 kN. Zasutje se odkoplje do približne kote 260 m. Tako ostaneta zasuti dve etaži objekta.

Odkop gradbene jame se pri obeh možnostih izvaja postopno od krone obremenilnega nasipa do talne plošče objekta.

3.8.1 Rezultati geostatičnih analiz sanacijskih ukrepov

3.8.1.1 Izvedba nove sidrane podporne konstrukcije

Rezultati s programom Slide:

Pri matematičnem modelu za program Slide nisem upoštevala nove podporne konstrukcije, temveč sem nova dodatna sidra upoštevala na stari pilotni steni. Rezultati so prikazani v preglednici 24.

Preglednica 24: Rezultati prve sanacijske možnosti s programom Slide

Računski profil	Faktor varnosti (Spencer)	Faktor varnosti (Morgenstern/Price)	Priloge
P7	1,549	1,501	B7 in B8
P10	1,267	1,232	C5 in C6

Pri analizi prve sanacijske možnosti sem dobila dovolj velike računske varnosti.

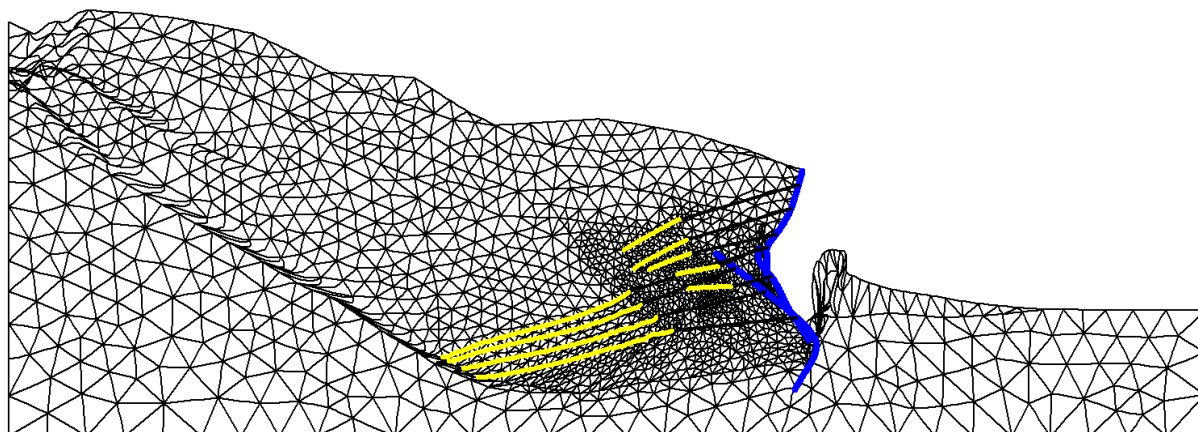
Rezultati v profilu P7 – končno sanirano stanje (faza 23)

Z izvedbo nove pilotne stene ter dodatnih sider, ki segajo globlje v zaledje, dosežemo dovolj veliko računsko varnost. Po izvedenem sidranju in odkopu na predvideno končno koto izkopa je maksimalni računski pomik zaledja manjši od 2 cm (slika 30). Deformirana mreža je vidna na sliki 29.

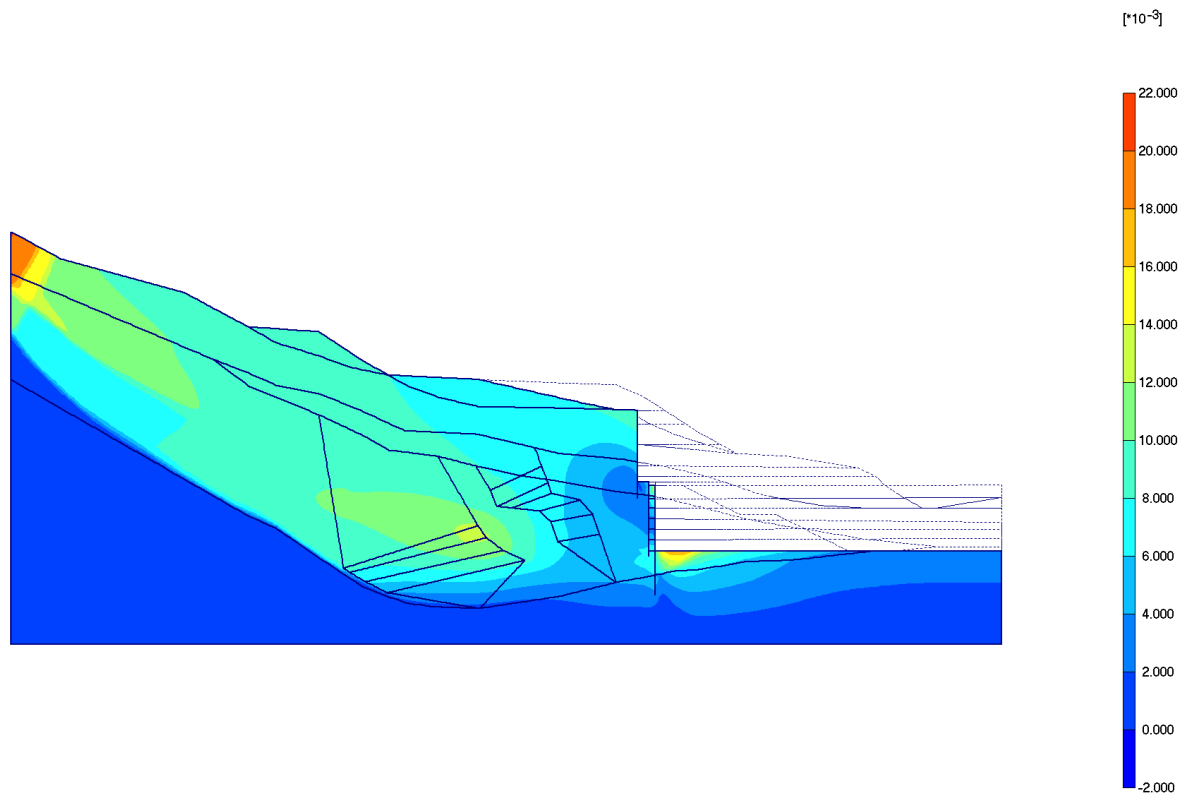
Notranje sile se v zgornji ter spodnji pilotni steni nekoliko povečajo. Kljub velikemu upogibnemu momentu ($M_{\max} = 559,13$ kNm/m), ki je dosežen v dodatni konstrukciji, upogibna nosilnost le te ni prekoračena. Maksimalen upogibni moment je z odebeljenim tiskom označen v preglednici 25. Sidrne sile pa so prikazane v preglednici 26.

Podatki o fazi 23:

Step no:	452
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	0,404
Relative stiffness	0,011

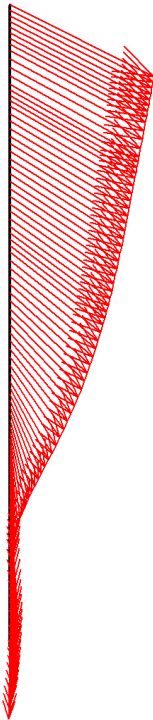


Slika 29: Deformirana mreža - korak 452 - faza 23



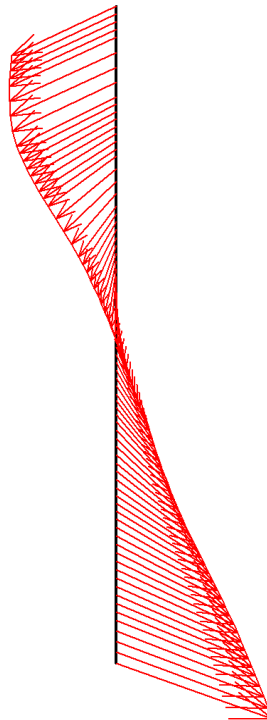
Slika 30: Pomiki - korak 452 - faza 23

Zgornja konstrukcija



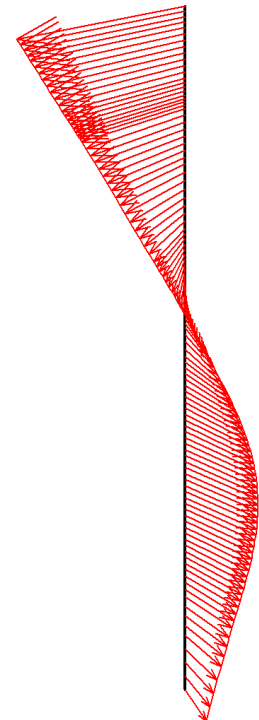
Pomiki
Ekstremna vrednost $9,64 \cdot 10^{-3}$ m

Spodnja konstrukcija

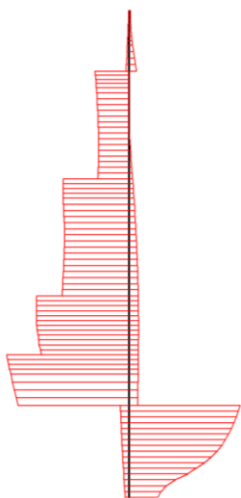


Pomiki
Ekstremna vrednost $7,38 \cdot 10^{-3}$ m

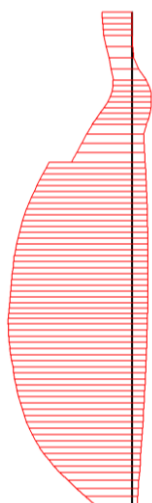
Nova konstrukcija



Pomiki
Ekstremna vrednost $16,74 \cdot 10^{-3}$ m



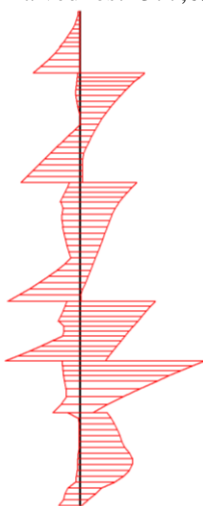
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -377,69 kN/m



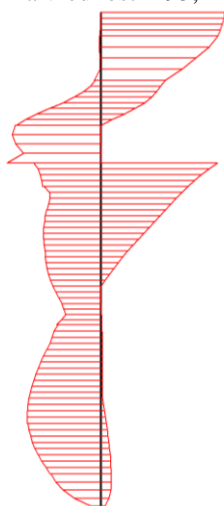
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -295,12 kN/m



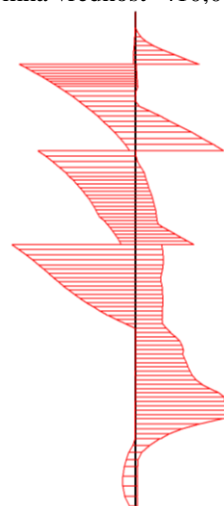
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -410,06 kN/m



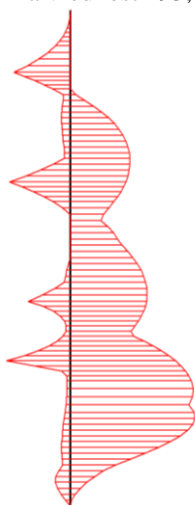
Ovojnica strižnih sil
Ekstremna vrednost 295,77 kN/m



Ovojnica strižnih sil
Ekstremna vrednost 265,24 kN/m



Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost 354,94 kN/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost -151,02 kN/m/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost 491,95 kN/m/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost -559,13 kN/m/m

Preglednica 25: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 23

		N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	295,766	0,000	151,018
	Min:	-377,695	0,000	-179,170	0,000	-150,097	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	46,037	-0,206	265,238	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-491,952	0,000
Dodatna	Max:	0,000	3,217	0,000	354,938	0,000	559,127
	Min:	-410,061	0,000	-269,278	0,000	-98,000	0,000

Preglednica 26: Sidrne sile, faza 23

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	18925	-42,800	255,100	464,296	10,00	991,00	117600,0	24,597
	3269	-19,000	261,311					
2	15399	-40,450	253,300	487,286	10,00	991,00	117600,0	22,075
	3505	-19,000	258,516					
3	16981	-37,400	251,900	506,247	10,00	991,00	117600,0	18,743
	5125	-19,000	255,471					
4	21615	-44,000	256,800	477,311	10,00	991,00	117600,0	23,812
	8625	-21,400	264,300					
5	12699	-21,400	271,550	575,776	10,00	991,00	117600,0	15,005
	20569	-35,000	265,210					
6	10932	-21,400	268,800	571,956	10,00	991,00	117600,0	14,003
	17563	-34,090	262,880					
7	10718	-21,400	265,800	593,793	10,00	991,00	117600,0	12,996
	13965	-33,610	261,350					
8	4823	-19,900	263,000	326,058	10,00	991,00	117600,0	10,001
	12049	-29,560	260,410					
9	3487	-19,900	259,800	799,607	10,00	991,00	117600,0	8,002
	7209	-27,780	258,410					
10	4083	-19,900	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	7,007
	10197	-26,800	255,580					

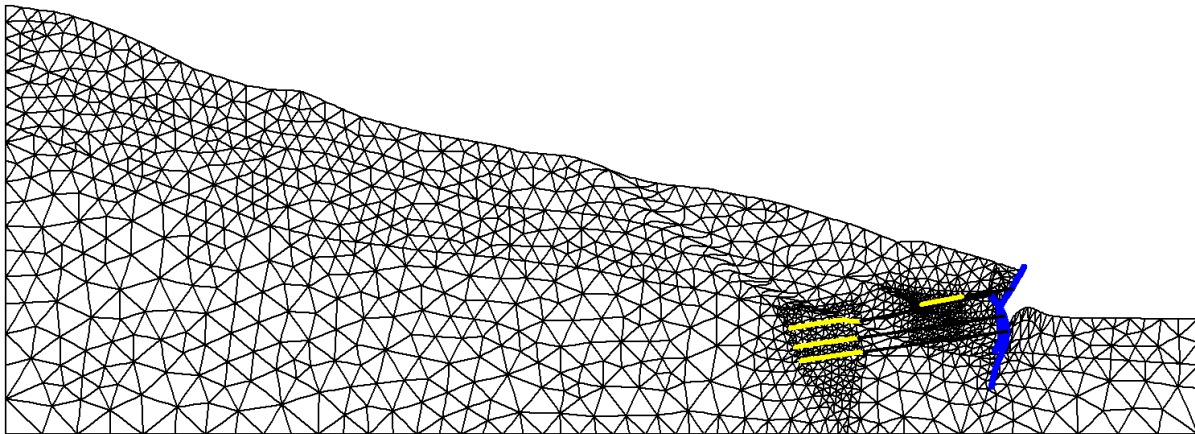
Rezultati v profilu P10 – končno sanirano stanje (faza 17)

V primerjavi s profilom P7 so v tem profilu nekoliko večji pomiki, ki znašajo do 3 cm (slika 32). Deformirana mreža končnih elementov je prikazana na sliki 31.

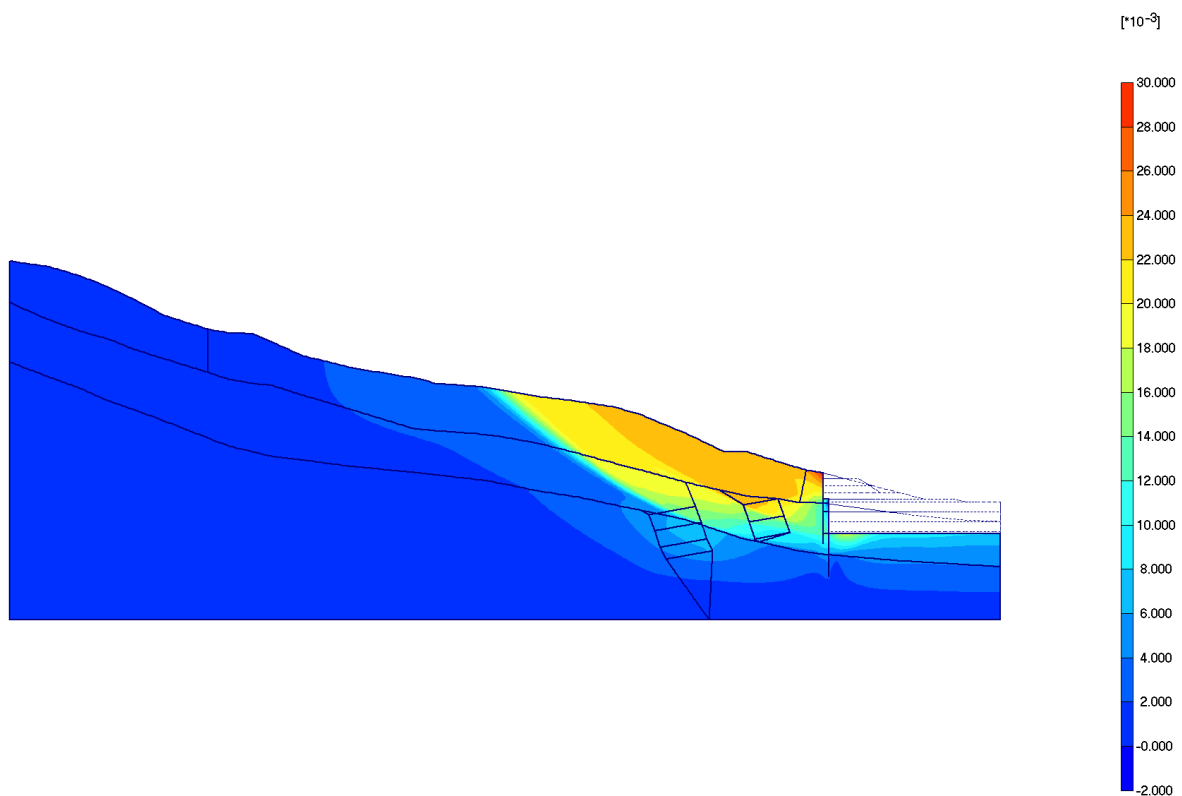
Notranje sile v že obstoječi pilotni steni se nekoliko povečajo, a ne presežejo mejne nosilnosti. V dodatni konstrukciji je, prav tako kot v profilu P7, dosežen velik upogibni moment ($M_{max} = 858,141$ kNm/m), ki je v preglednici 27 označen z odebeljenim tiskom. Dosežene sidrne sile so prikazane v preglednici 28.

Podatki o fazi 17:

Step no:	371
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	0,179
Relative stiffness	0,270

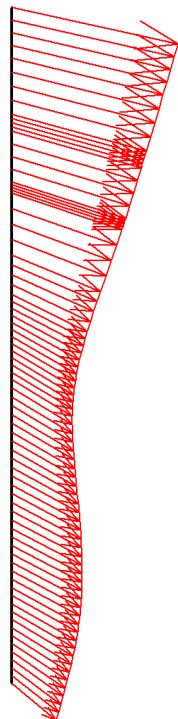


Slika 31: Deformirana mreža - korak 371 - faza 17



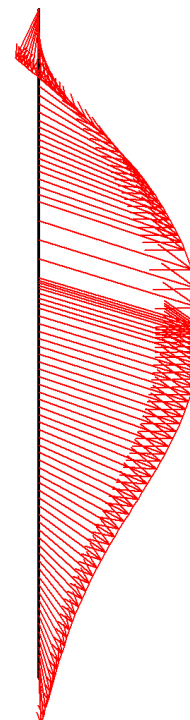
Slika 32: Pomiki - korak 371 - faza 17

Zgornja konstrukcija

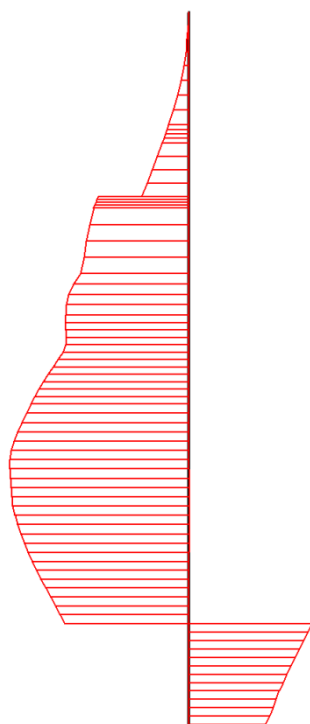


Pomiki
Ekstremna vrednost $28,95 \cdot 10^{-3}$ m

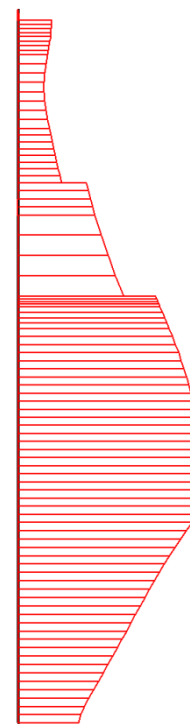
Dodatna konstrukcija



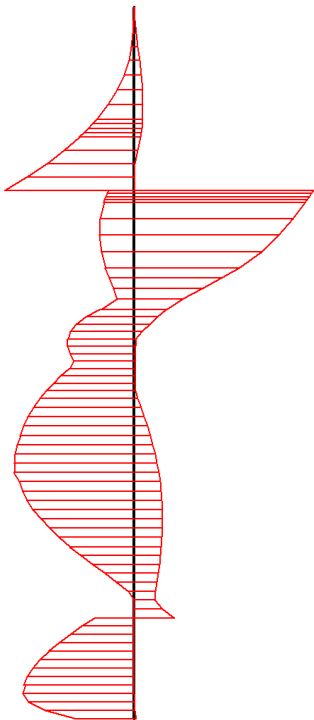
Pomiki
Ekstremna vrednost $11,51 \cdot 10^{-3}$ m



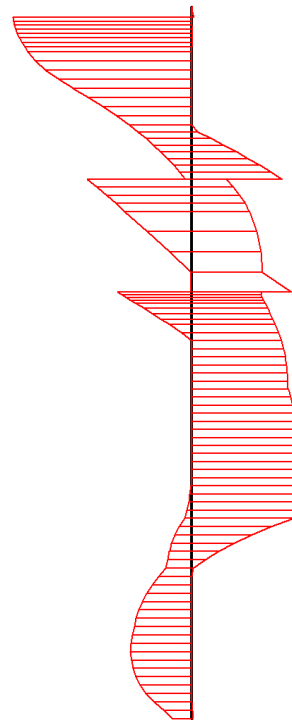
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -188,31 kN/m



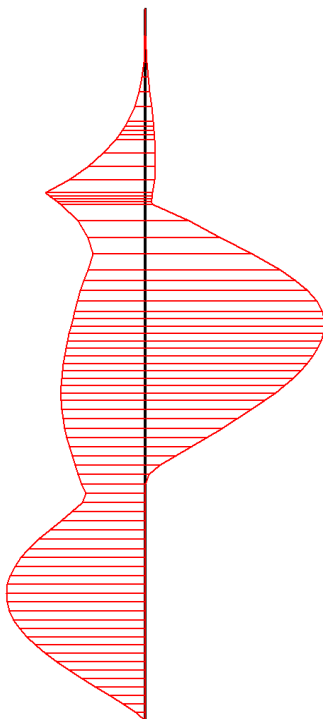
Ovojnica osnih sil
Ekstremna vrednost -494,46 kN/m



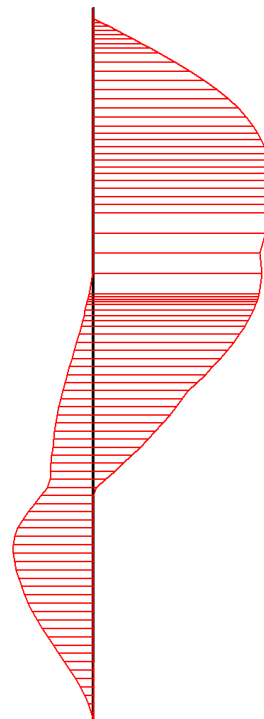
Ovojnica strižnih sil
Ekstremna vrednost 211,30 kN/m



Ovojnica strižnih sil
Ekstremna vrednost 508,83 kN/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost 238,99 kN/m/m



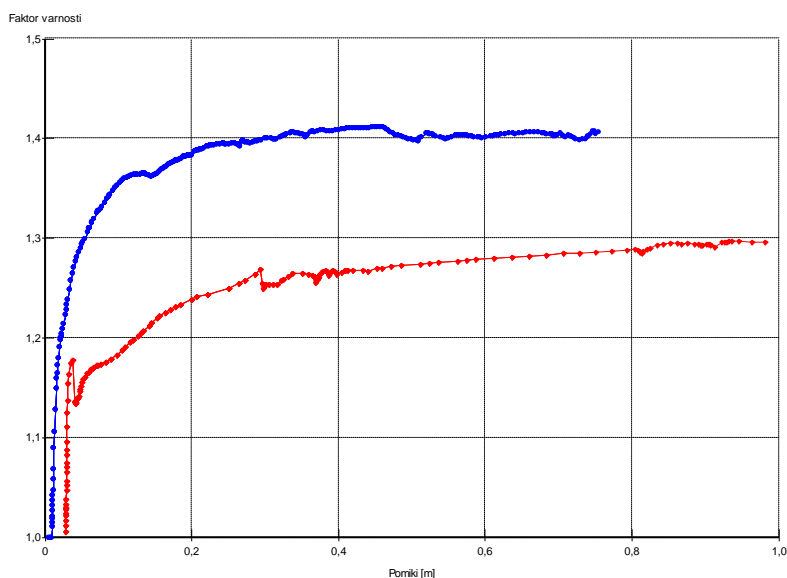
Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost -858,14 kN/m/m

Preglednica 27: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 17

		N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,083	1,160	0,000	211,303	0,000	185,652
	Min:	-188,308	0,000	-153,472	0,000	-238,985	0,000
Dodatna	Max:	-0,242	1,531	0,000	508,826	0,000	858,141
	Min:	-494,457	0,000	-306,201	0,000	-384,105	0,000

Preglednica 28: Sidrne sile, faza 17

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,co mp [kN]	Fmax,ten s [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	2451	-30,100	253,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	5,689
	7287	-35,700	252,800					
2	1714	-30,100	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	6,708
	3657	-36,700	255,600					
3	1729	-30,100	259,800	487,972	10,00	991,00	117600,0	7,710
	5417	-37,700	258,500					
4	1145	-29,100	258,300	478,793	10,00	991,00	117600,0	21,932
	9901	-50,700	254,500					
5	1251	-29,100	255,300	484,067	10,00	991,00	117600,0	21,011
	9453	-49,800	251,700					
6	1989	-29,100	253,200	500,121	10,00	991,00	117600,0	20,008
	9761	-48,800	249,700					
7	1815	-30,100	261,000	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	11815	-51,700	257,200					



Na levem grafu so prikazani pomiki obeh profilov v odvisnosti od varnosti. Modra krivulja, ki izkazuje nekoliko višjo varnost, pripada profilu P7, rdeča pa profilu P10. Računska varnost v profilu P7 znaša $F = 1,4$, v profilu P10 pa $F = 1,3$.

Slika 33: Pomik zgornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - nova pilotna stena

3.8.1.2 Zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž

Rezultati s programom Slide

S programom Slide sem za drugo možnost sanacije dobila rezultate, ki so prikazani v preglednici 29.

Preglednica 29: Rezultati druge sanacijske možnosti s programom Slide

Računski profil	Faktor varnosti (Spencer)	Faktor varnosti (Morgenstern/Price)	Priloge
P7 (poligonalna)	1,549	1,501	B9 in B10
P10 (poligonalna)	1,290	1,238	C7 in C8

Varnost se z dodatnimi sidri ter izkopom do približne kote 260 m v primerjavi z zasipom še poveča.

Rezultati s programom Plaxis

S programom Plaxis sem izvedla natančnejšo analizo drugega ukrepa v obeh profilih.

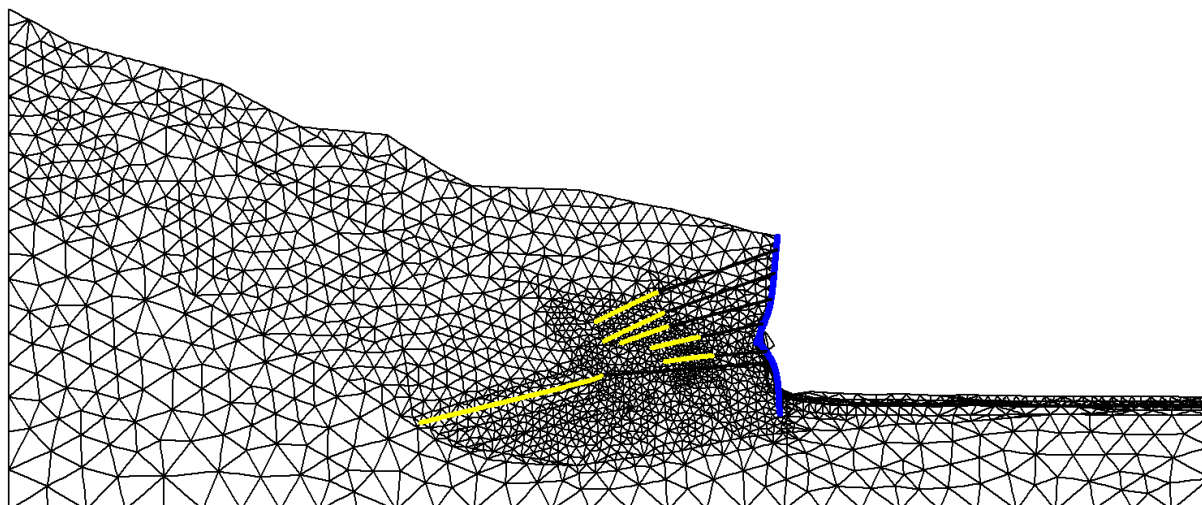
Rezultati za profil P7 – končno sanirano stanje (faza 36)

Na slikah 34 ter 35 vidimo, da so največji pomiki na desnem delu profila, kjer je nasip. Le ti se pojavijo zaradi posedanja tal ter znašajo do 2 cm. Pomiki pilotnih sten so manjši kot pri prvi možnosti, ko izvedemo novo konstrukcijo. Maksimalni računski pomik ne preseže 1 cm.

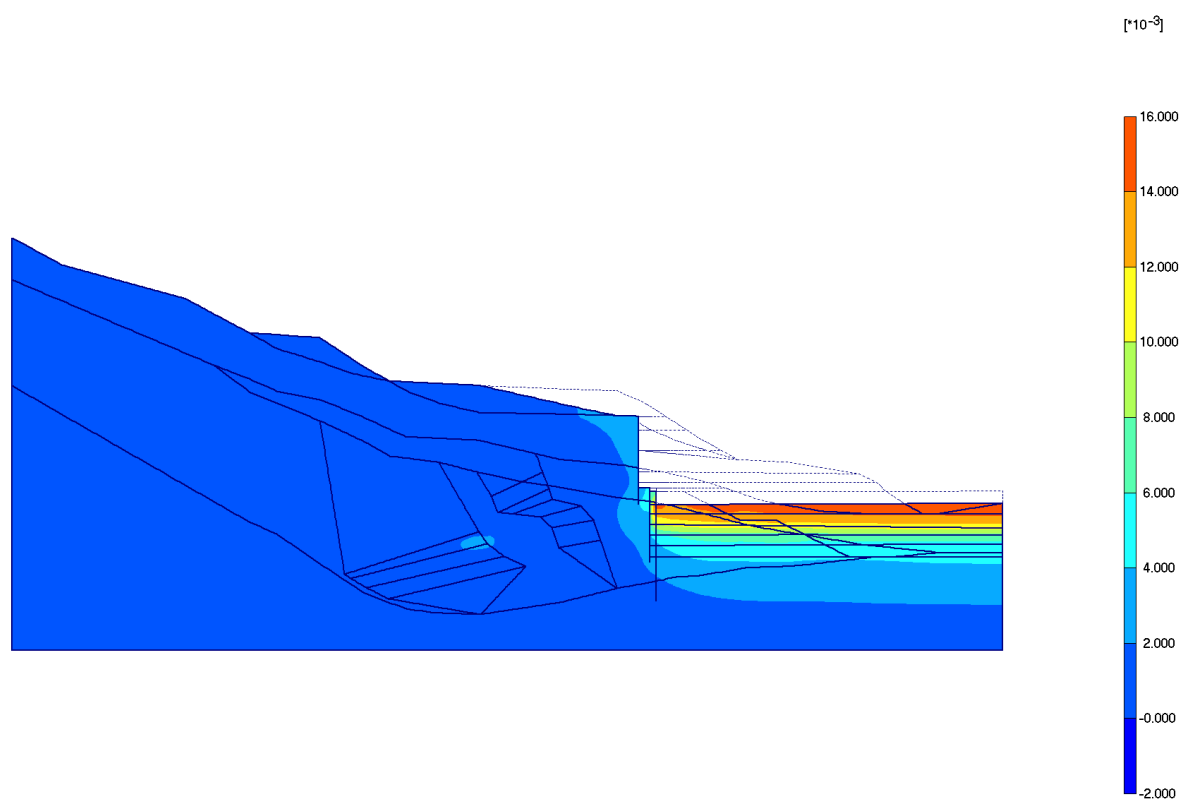
Notranje sile v pilotih se od zasutja gradbene jame skoraj ne povečajo (preglednica 30). Spodnja konstrukcija, ki ima preseženo upogibno nosilnost, je skoraj v celoti zasuta ter ojačana z novo armiranobetonsko sidrno gredjo. Sidrne sile so zapisane v preglednici 31.

Podatki o fazi 36:

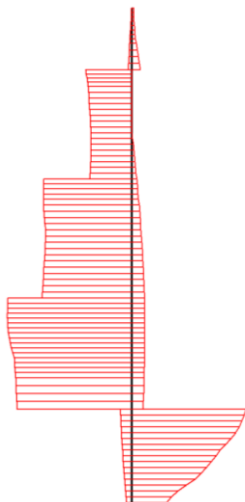
Step no:	782
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	1,053
Relative stiffness	0,991



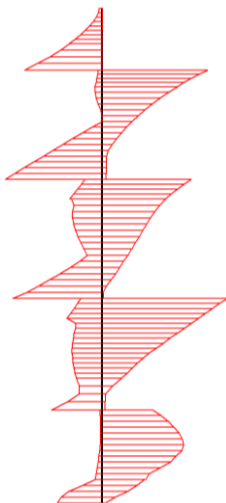
Slika 34: Deformirana mreža - korak 782 - faza 36



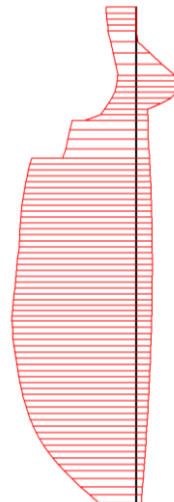
Slika 35: Pomiki - korak 782 - faza 36

Zgornja konstrukcija**Pomiki**Ekstremna vrednost $3,91 \cdot 10^{-3}$ m**Ovojnica osnih sil**

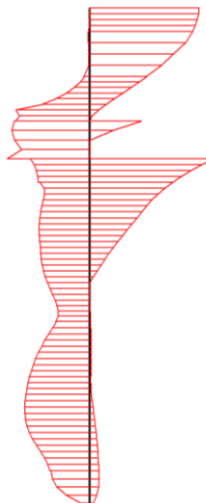
Ekstremna vrednost -285,51 kN/m

**Ovojnica strižnih sil**

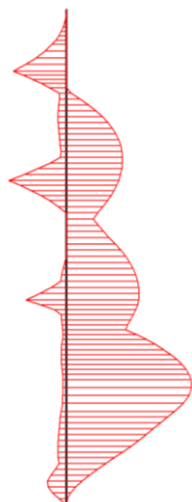
Ekstremna vrednost 181,34 kN/m

Spodnja konstrukcija**Pomiki**Ekstremna vrednost $5,71 \cdot 10^{-3}$ m**Ovojnica osnih sil**

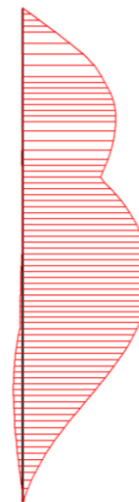
Ekstremna vrednost -295,12 kN/m

**Ovojnica strižnih sil**

Ekstremna vrednost 300,49 kN/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost 160,67 kN/m/m



Ovojnica upogibnih momentov
Ekstremna vrednost 498,83 kN/m/m

Preglednica 30: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 36

		N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	181,341	0,000	138,430
	Min:	-285,513	0,000	-141,148	0,000	-160,668	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	100,407	-0,206	300,486	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-498,827	0,000

Preglednica 31: Sidrne sile, faza 36

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	18925	-42,800	255,100	498,298	10,00	991,00	117600,0	24,597
	3269	-19,000	261,311					
2	15399	-40,450	253,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	22,075
	3505	-19,000	258,516					
3	16981	-37,400	251,900	0,000	10,00	991,00	117600,0	18,743
	5125	-19,000	255,471					
4	21615	-44,000	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	23,812
	8625	-21,400	264,300					
5	12699	-21,400	271,550	583,085	10,00	991,00	117600,0	15,005
	20569	-35,000	265,210					
6	10932	-21,400	268,800	589,498	10,00	991,00	117600,0	14,003
	17563	-34,090	262,880					
7	10718	-21,400	265,800	633,618	10,00	991,00	117600,0	12,996
	13965	-33,610	261,350					
8	4823	-19,900	263,000	378,168	10,00	991,00	117600,0	10,001
	12049	-29,560	260,410					
9	3487	-19,900	259,800	848,691	10,00	991,00	117600,0	8,002
	7209	-27,780	258,410					
10	4083	-19,900	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	7,007
	10197	-26,800	255,580					

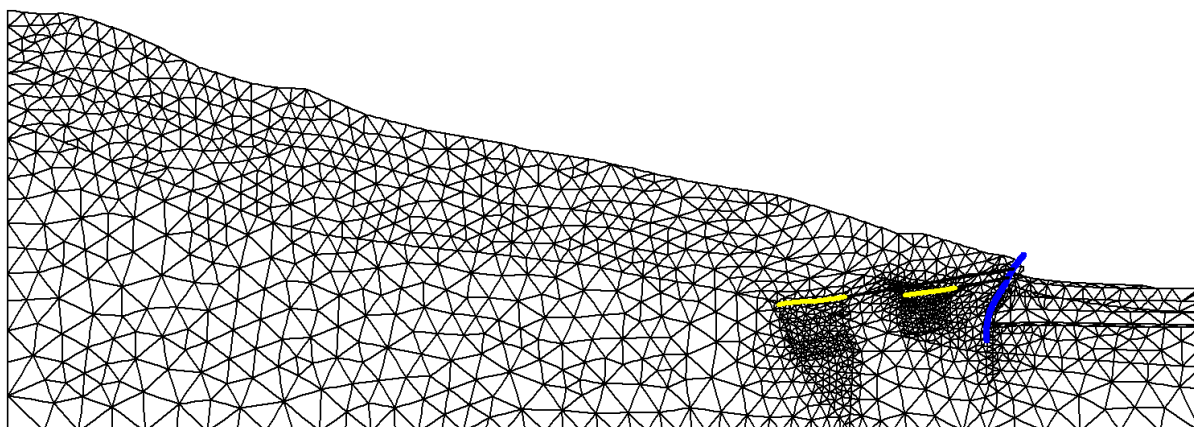
Rezultati profila P10 – končno sanirano stanje (faza 22)

V tem profilu so pomiki nekoliko večji kot v profilu P10 (slika 37). Maksimalen računski pomik pilotne stene je približno 5 cm. Največje deformacije so na območju zgornjega dela pilotne stene (slika 36).

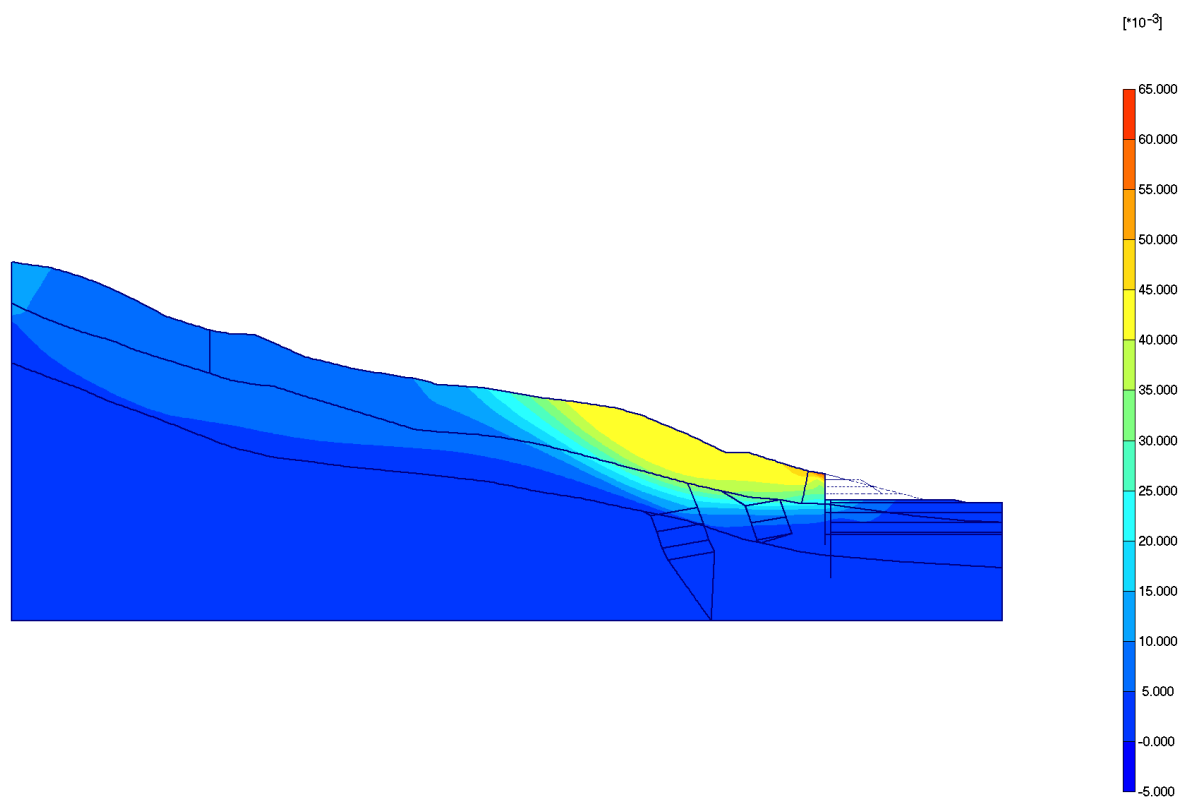
Notranje sile se od zasutja profila nekoliko povečajo, a ne dosežejo mejnih vrednosti (preglednica 32). V preglednici 33 so zapisane sidrne sile.

Podatki o fazi 22:

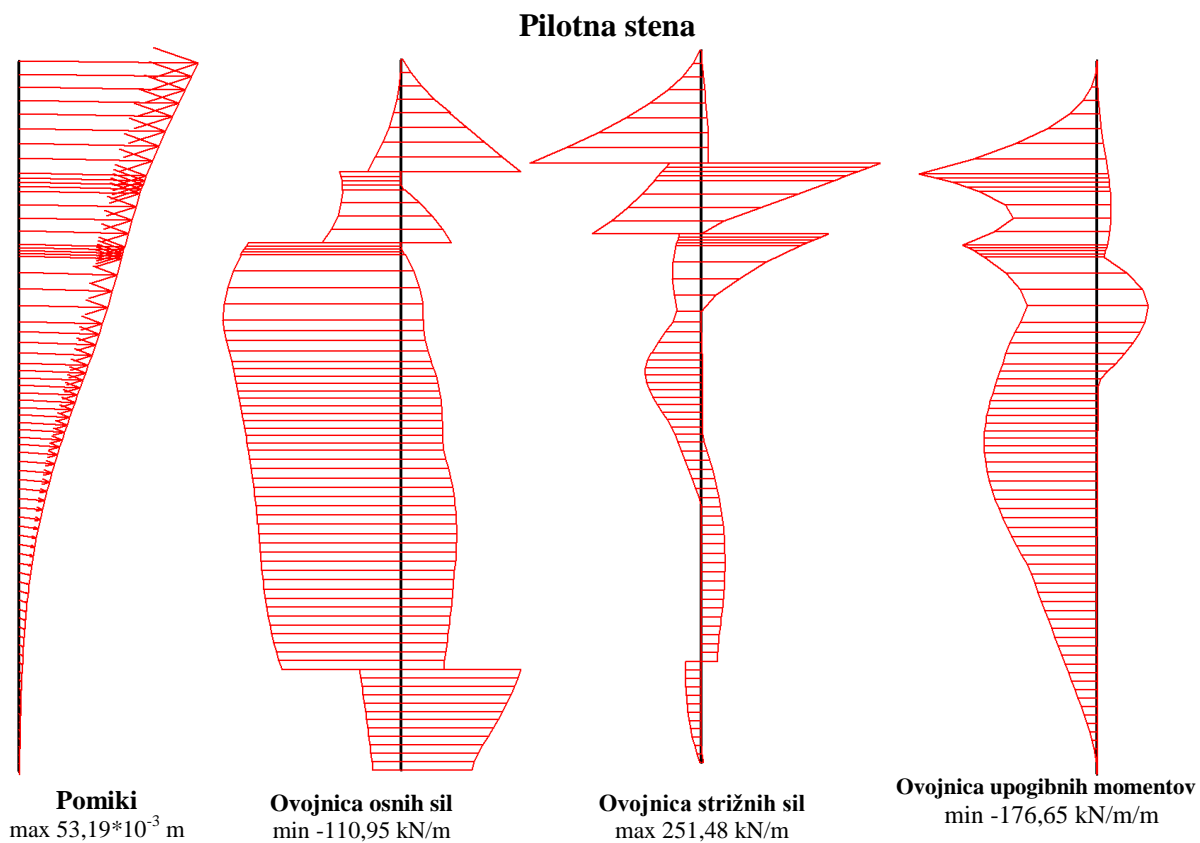
Step no:	145
Calculation type	PLASTIC
Extrapolation factor	0,213
Relative stiffness	0,059



Slika 36: Deformirana mreža - korak 145 - faza 22



Slika 37: Pomiki - korak 145 - faza 22



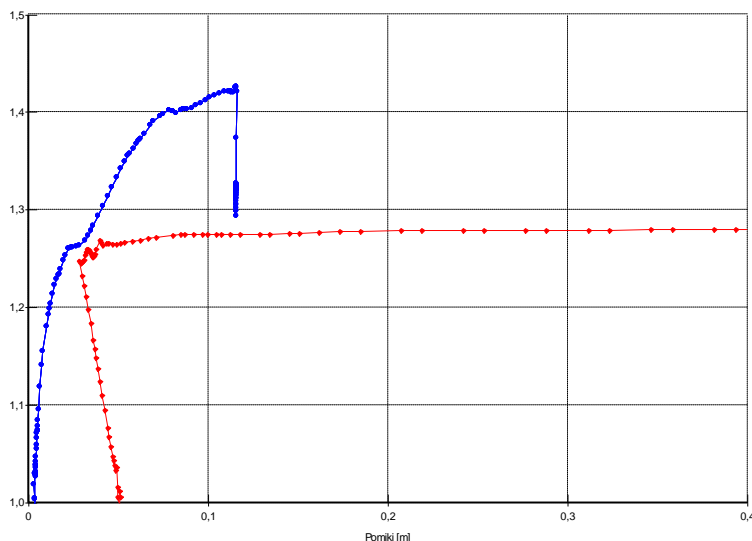
Preglednica 32: Ekstremne vrednosti notranjih sil v pilotih, faza 22

		N_{\min} [kN/m]	N_{\max} [kN/m]	Q_{\min} [kN/m]	Q_{\max} [kN/m]	M_{\min} [kNm/m]	M_{\max} [kNm/m]
Pilotna stena	Max:	-0,363	74,077	0,000	251,478	0,000	176,651
	Min:	-110,949	0,000	-241,210	0,000	-50,316	0,000

Preglednica 33: Sidrne sile, faza 22

Št. sidra	Vozlišče	x-koord. [m]	y-koord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Le [m]
1	2451	-30,100	253,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	5,689
	7287	-35,700	252,800					
2	1714	-30,100	256,800	0,000	10,00	991,00	117600,0	6,708
	3657	-36,700	255,600					
3	1729	-30,100	259,800	396,832	10,00	991,00	117600,0	7,710
	5417	-37,700	258,500					
4	1145	-29,100	258,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,932
	9901	-50,700	254,500					
5	1251	-29,100	255,300	0,000	10,00	991,00	117600,0	21,011
	9453	-49,800	251,700					
6	1989	-29,100	253,200	0,000	10,00	991,00	117600,0	20,008
	9761	-48,800	249,700					
7	1815	-30,100	261,000	495,448	10,00	991,00	117600,0	21,932
	11815	-51,700	257,200					

Faktor varnosti

**Slika 38: Pomik zgornje konstrukcije v odvisnosti od računske varnosti - zasutje dveh etaž**

Na sliki 38 so prikazani pomiki v odvisnosti od varnosti. Pri profilu P7, modra barva, varnost dokaj hitro naraste do približno $F = 1,4$, nato pa preskoči na lokalni porušitveni mehanizem. Varnost je približno $F = 1,3$. Nekoliko nižja varnost je pri profilu P10, ki znaša $F = 1,28$.

Z obema možnima rešitvama sanacije obstoječe podporne konstrukcije dosežemo predpisano računsko varnost. Zaradi že obstoječih podpornih konstrukcij, gred in izvedenih sider je predvidena medosna razdalja med sidri 1 m, kar je zelo malo. Zaradi tega je primernejša druga predlagana možnost sanacije gradbene jame, ker ima manj dodatnih sider. Tako se lahko izognemo nevarnostim, ki bi se zgodile, če bi prevrtali obstoječa sidra.

3.9 Dimenzioniranje

V skladu s SIST-ENV-1997-1 (projektni pristop 1) se za dimenzioniranje oziroma kontrolo nosilnosti prereзов uporabi večje količine med vrednostmi, ki jih dobimo pri varnosti $F = 1,0$ pomnožene s količnikom varnosti $\gamma_G = 1,35$, ter vrednostmi pri računski varnosti $F = 1,25$. V spodnjih tabelah so ekstremne vrednosti notranjih sil za oba sanacijska ukrepa.

3.9.1 Izvedba nove sidrne podporne konstrukcije

P7 $F = 1,0$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	295,766	0,000	151,018
	Min:	-377,695	0,000	-179,170	0,000	-150,097	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	46,037	-0,206	265,238	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-491,952	0,000
Dodatna	Max:	0,000	3,217	0,000	354,938	0,000	559,127
	Min:	-410,061	0,000	-269,278	0,000	-98,000	0,000

P7 $F = 1,25$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	295,766	0,000	161,429
	Min:	-377,695	0,000	-179,170	0,000	-157,642	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	58,512	-0,206	265,238	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-491,952	0,000
Dodatna	Max:	0,000	3,217	0,000	408,236	0,000	951,894
	Min:	-718,897	0,000	-647,844	0,000	-271,726	0,000

P10 $F = 1,0$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,083	1,160	0,000	211,303	0,000	185,652
	Min:	-188,308	0,000	-153,472	0,000	-238,985	0,000
Spodnja	Max:	-0,242	1,531	0,000	508,826	0,000	858,141
	Min:	-494,457	0,000	-306,201	0,000	-384,105	0,000

P10 $F = 1,25$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,083	1,160	0,000	286,960	0,000	529,836
	Min:	-188,308	0,000	-250,271	0,000	-238,985	0,000
Spodnja	Max:	-0,242	1,531	0,000	508,826	0,000	858,141
	Min:	-696,069	0,000	-409,700	0,000	-394,151	0,000

3.9.2 Zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž

P7 $F = 1,0$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	0,000	181,341	0,000	138,430
	Min:	-285,513	0,000	-141,148	0,000	-160,668	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	100,407	-0,206	300,486	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-498,827	0,000

P7 $F = 1,25$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,151	29,992	-0,063	181,499	0,000	167,910
	Min:	-285,513	0,000	-142,511	0,000	-173,262	0,000
Spodnja	Max:	-43,694	126,115	-0,206	300,486	0,000	37,634
	Min:	-295,117	0,000	-201,049	0,000	-521,204	0,000

P10 $F = 1,0$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,363	74,077	0,000	251,478	0,000	176,651
	Min:	-110,949	0,000	-241,210	0,000	-50,316	0,000

P10 $F = 1,25$

	Node no.	N_{min} [kN/m]	N_{max} [kN/m]	Q_{min} [kN/m]	Q_{max} [kN/m]	M_{min} [kNm/m]	M_{max} [kNm/m]
Zgornja	Max:	-0,693	75,710	0,000	272,354	0,000	176,651
	Min:	-110,949	0,000	-241,210	0,000	-148,615	0,000

4 ZAKLJUČEK

4.1 Splošne ugotovitve

Vsak geotehnični model je samo najboljši približek realnim razmeram. Zato večja količina in kakovost geotehničnih preiskav vodi do boljšega modela.

Če že pred samo gradnjo izvedemo dovolj kakovostnih raziskovalnih del, je to ceneje in lažje izvedljivo kot pa sanacija. Ko je gradbena jama že v fazi gradnje in pride do težav, iščemo alternativne rešitve. Te rešitve lahko spremenijo objekt (zasutje nekaterih etaž, sprememba tlorisa).

4.2 Ugotovitve o konkretni gradbeni jami

Pri gradbeni jami za objekt Rimske Terme v Rimskih Toplicah je bilo o zahtevnem geološko geotehničnem prostoru pridobljenih premalo podatkov. Kasneje je bilo ugotovljeno, da sestava tal ni skladna s prognozo geološke sestave upoštevane v projektu. Trdna podlaga je globlje kot je bilo sprva ugotovljeno. Verjetno so pri preiskavah naleteli na večje samice dolomita v gruščnatem sloju. Temu bi se lahko izognili z večjim številom preiskav. S povratno analizo sem potrdila nov geološki profil, nivo vode ter mehanske karakteristike zemljin.

Od začetka načrtovanja objekta pa do izvedbe gradbene jame se je zaradi spremenjene lege prvotna maksimalna globina jame povečala iz 15 m na skoraj 21 m. Kljub poglobljenju niso bile izvedene globlje sondažne vrtine. S to spremembo se je povečala obremenitev na oporno konstrukcijo, kritična drsna ploskev pa se je pomaknila globlje, kar so pokazale tudi izvedene analize. Z analizami se je izkazalo tudi, da so bila izvedena sidra prekratka. Nova sidra bi morala biti dolga več kot 30 m.

V zaledju konstrukcije je več vodnih zajetij in vodovodov, ki v zadnjih 15 letih niso bili ustrezno vzdrževani, kar je verjetno tudi vplivalo na poslabšanje stabilnostnih razmer. Nivo vode je problematičen predvsem v profilu P10. Z ureditvijo bližnjega vodotoka se bo nivo vode znižal in s tem se bo povečala tudi varnost.

Po izvedeni povratni analizi sem preverila stanje po zasutju. V obeh računskih profilih sem dosegla dovolj veliko varnost za nadaljnje ukrepe. Za sanacijo gradbene jame sem preverila dve možnosti:

1. izvedba nove sidrane podporne konstrukcije,
2. zasutje gradbene jame za dve predvideni etaži garaž.

Obe predlagani rešitvi sanacije izkazujeta s predpisi zahtevano računsko varnost. Pri obeh variantah je računsko varnost približno $F = 1,3$, zato se lahko investitor sam odloči za njemu ustrežnejšo rešitev.

Pri prvi možnosti je za ohranitev obeh etaž uporabljenih veliko dodatnih sider, ki so v razmiku enega metra, kar poveča možnost poškodovanja že obstoječih sider. Zaradi tega se mi zdi primernejša druga možnost, pri kateri z zasutjem dveh etaž ter enim nivojem sidranja dosežemo zadostno varnost. Takšna rešitev pa pogojuje spremembo objekta, saj izgubimo dve etaži objekta. Kljub temu se mi zdi ta varianta bolj varna ter tudi finančno ugodnejša.

VIRI

Ozzing. 2006. Geološko geotehnični elaborat. Trbovlje, Ozzing.

Ozzing. 2007. Načrt gradbenih konstrukcij. Trbovlje, Ozzing.

Pulko, B., Robas, A., Majes, B. 2008. Strokovno mnenje o ustreznosti podpornih ukrepov za zaščito gradbene jame Rimske Terme v Rimskih Toplicah. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 8 str.

Pulko, B., Robas, A., Majes, B. 2008. Geotehnične analize in predlog sanacije varovanja gradbene jame za objekt Rimske Terme v Rimskih Toplicah. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 18 str.

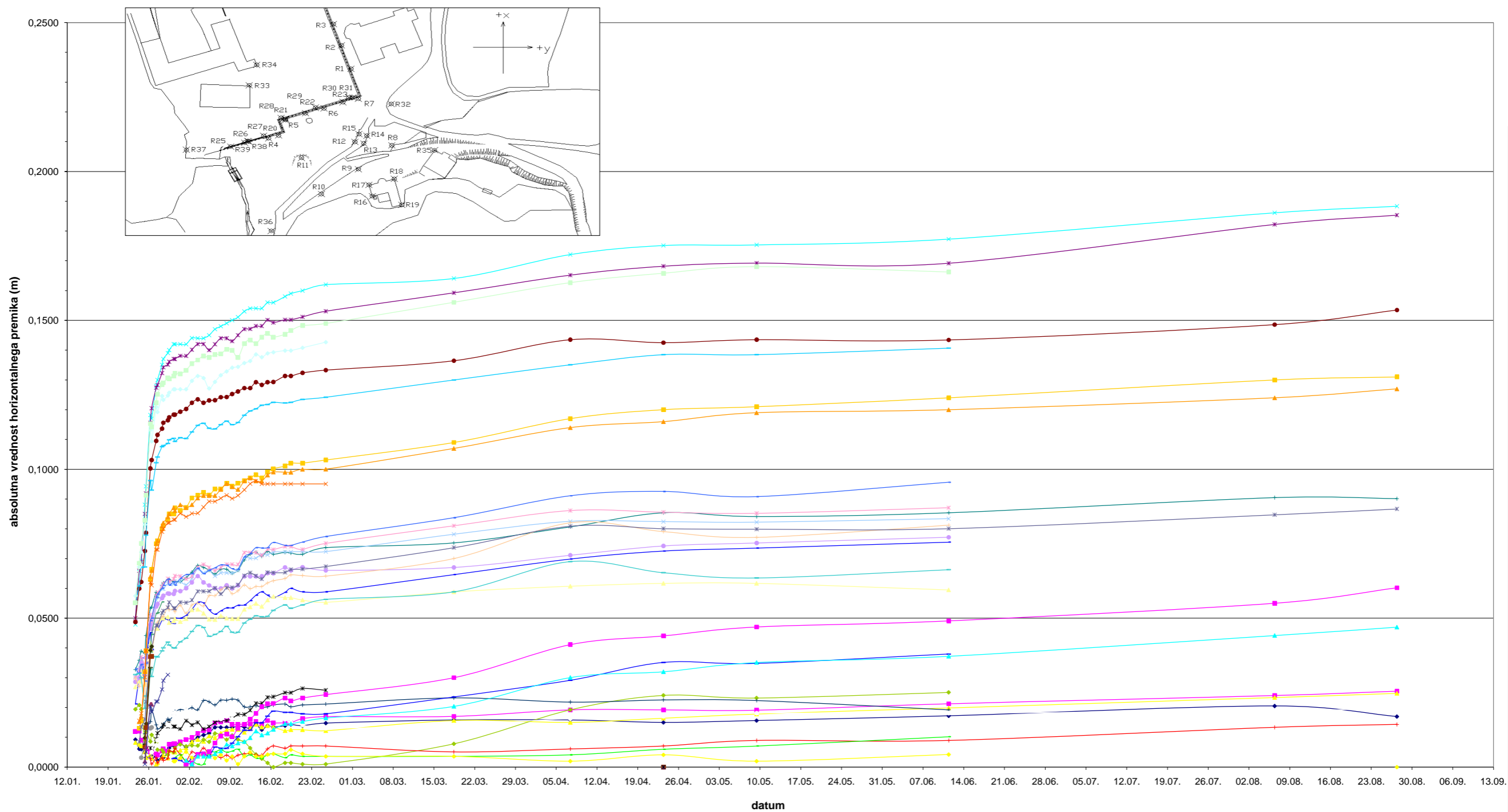
SIST EN 1997-1: 2005 - Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila.

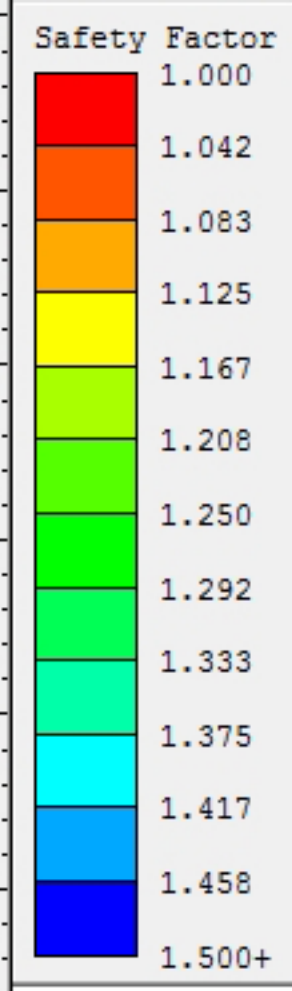
SIST EN 1997-1: 2005/A101: 2006 – Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila – Nacionalni dodatek.

PRILOGE

Priloga A	Meritve reperjev
Priloga B	Rezultati profila P7 s programom Slide
B1, B2	Povratna analiza, krožna porušnica
B3, B4	Povratna analiza, poligonalna porušnica
B5, B6	Analiza zasutja
B7, B8	Analiza dodatnih sider
B9, B10	Analiza zasutja dveh etaž
Priloga C	Rezultati profila P10 s programom Slide
C1, C2	Povratna analiza
C3, C4	Analiza zasutja
C5, C6	Analiza dodatnih sider
C7, C8	Analiza zasutja dveh etaž

Horizontalni pomiki reperjev od 23.01.2008 do 23.08.2008





P7 - POVRATNAANALIZA (KROŽNA)

File Name: Sidra_krozna.sli

Material Properties

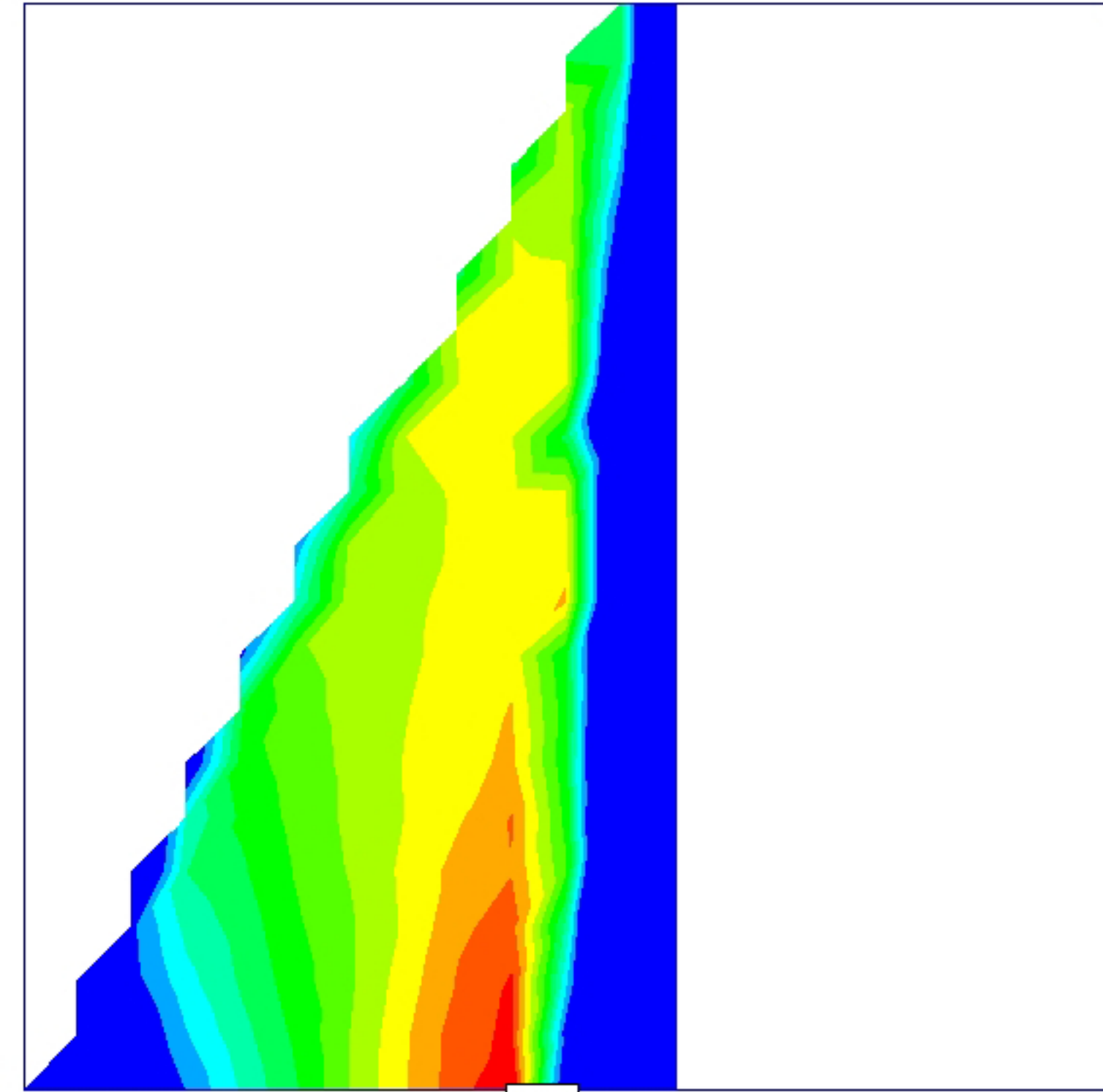
Material: Nasip, rh - sg
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: Glina in grušč
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 24 degrees

Material: Grušč dolomita
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: Grušč skrilavca
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

Material: Glinast skrilavec
 Unit Weight: 23 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 35 degrees

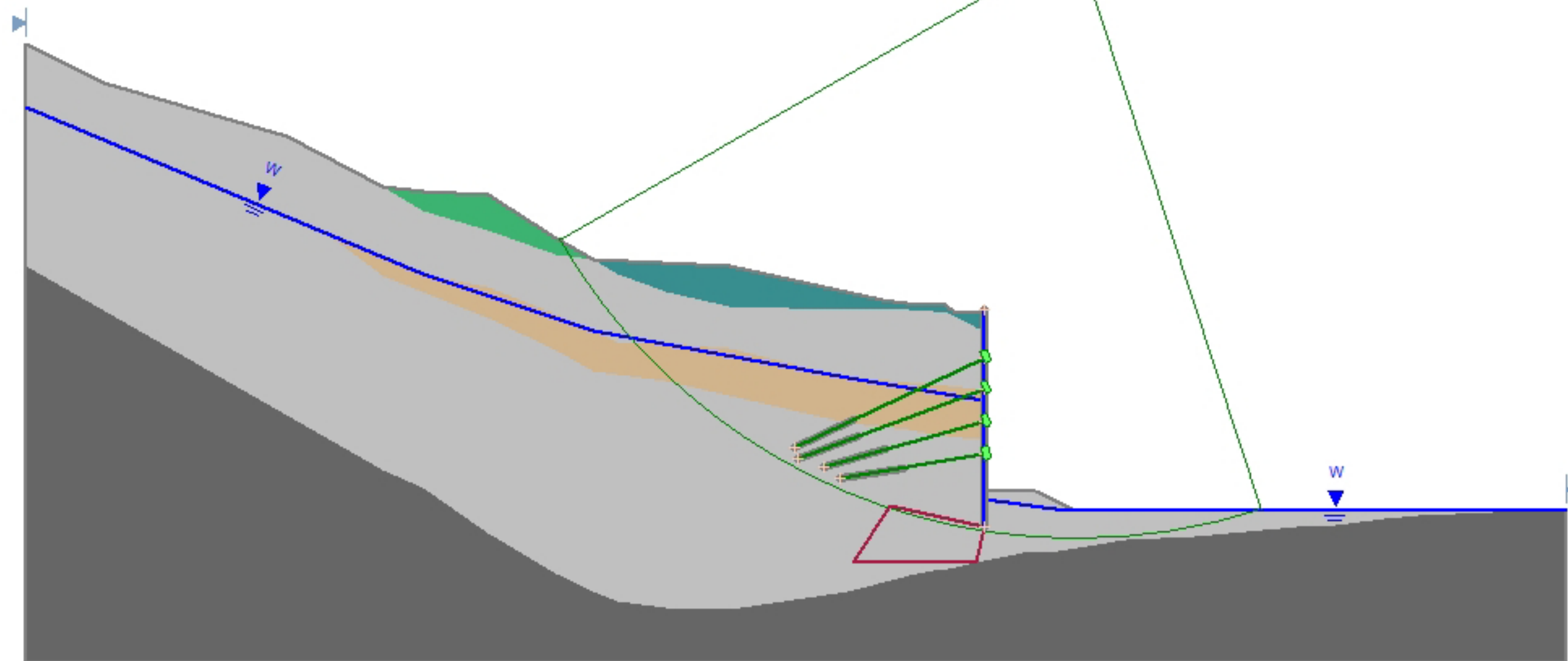


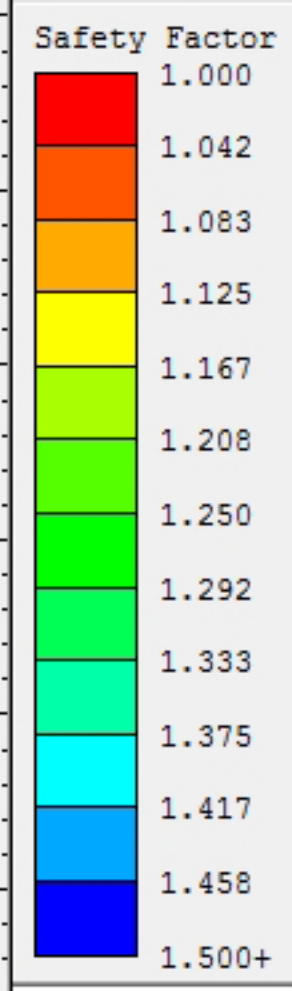
0.999

Global Minimums

Method: spencer
 FS: 0.999393
 Resisting Moment=279444 kN-m
 Driving Moment=279614 kN-m
 Resisting Horizontal Force=4440.22 kN
 Driving Horizontal Force=4442.92 kN

Method: gle/morgenstern-price
 FS: 0.999935
 Resisting Moment=279596 kN-m
 Driving Moment=279614 kN-m
 Resisting Horizontal Force=4441.45 kN
 Driving Horizontal Force=4441.74 kN





P7 - POVRATNAANALIZA (KROŽNA)

File Name: Sidra_krozna.sli

Material Properties

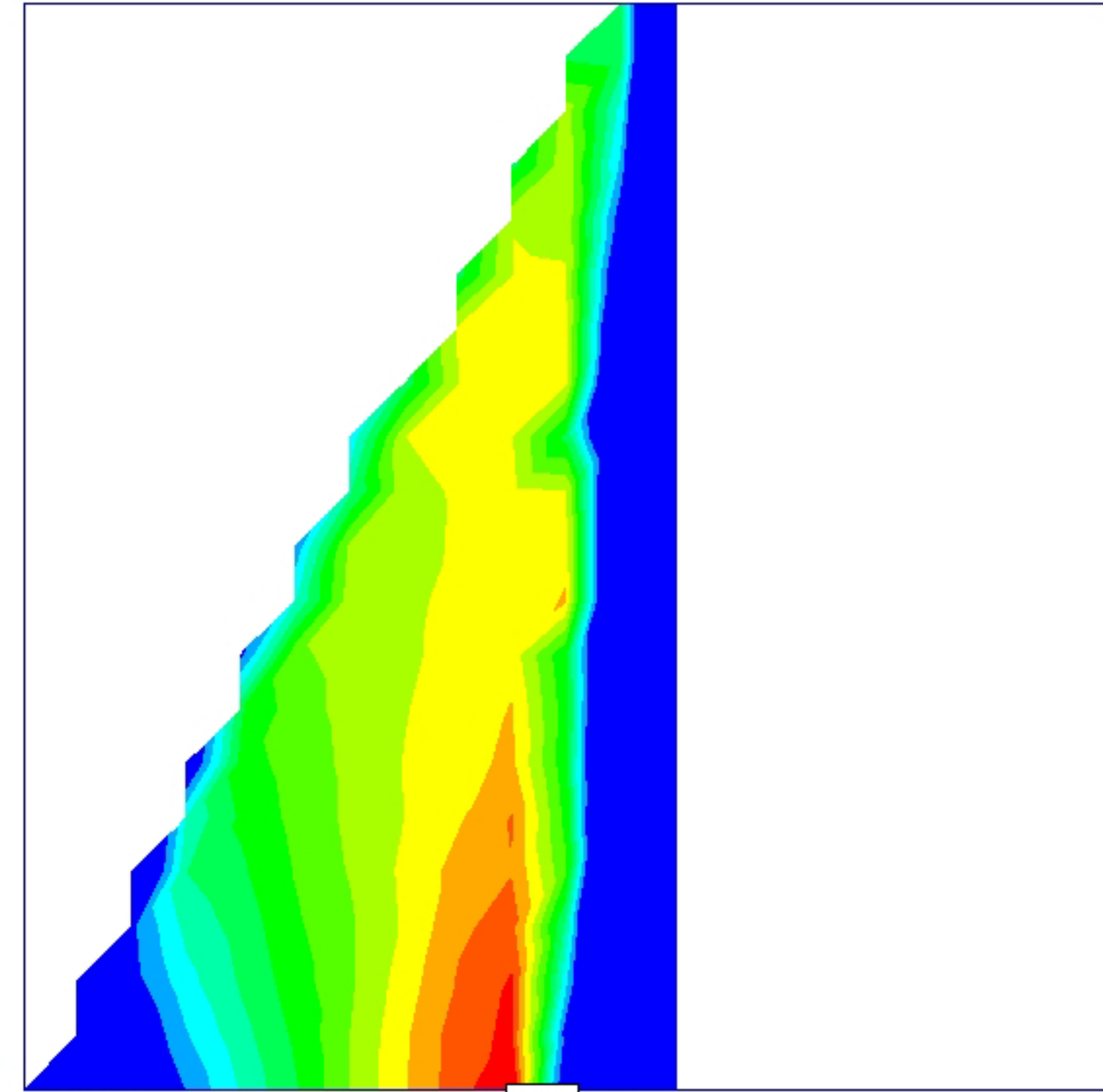
Material: Nasip, rh - sg
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: Glina in grušč
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 24 degrees

Material: Grušč dolomita
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: Grušč skrilavca
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

Material: Glinast skrilavec
 Unit Weight: 23 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 35 degrees

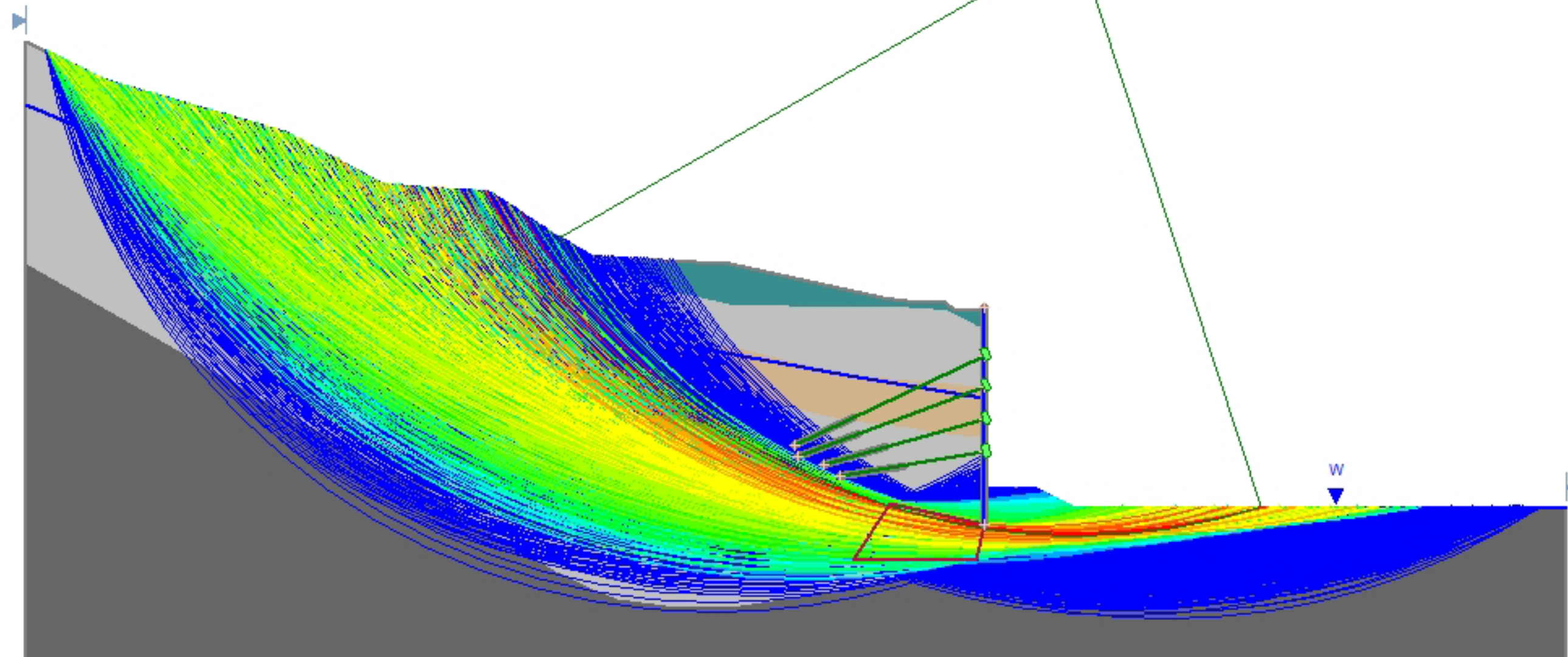


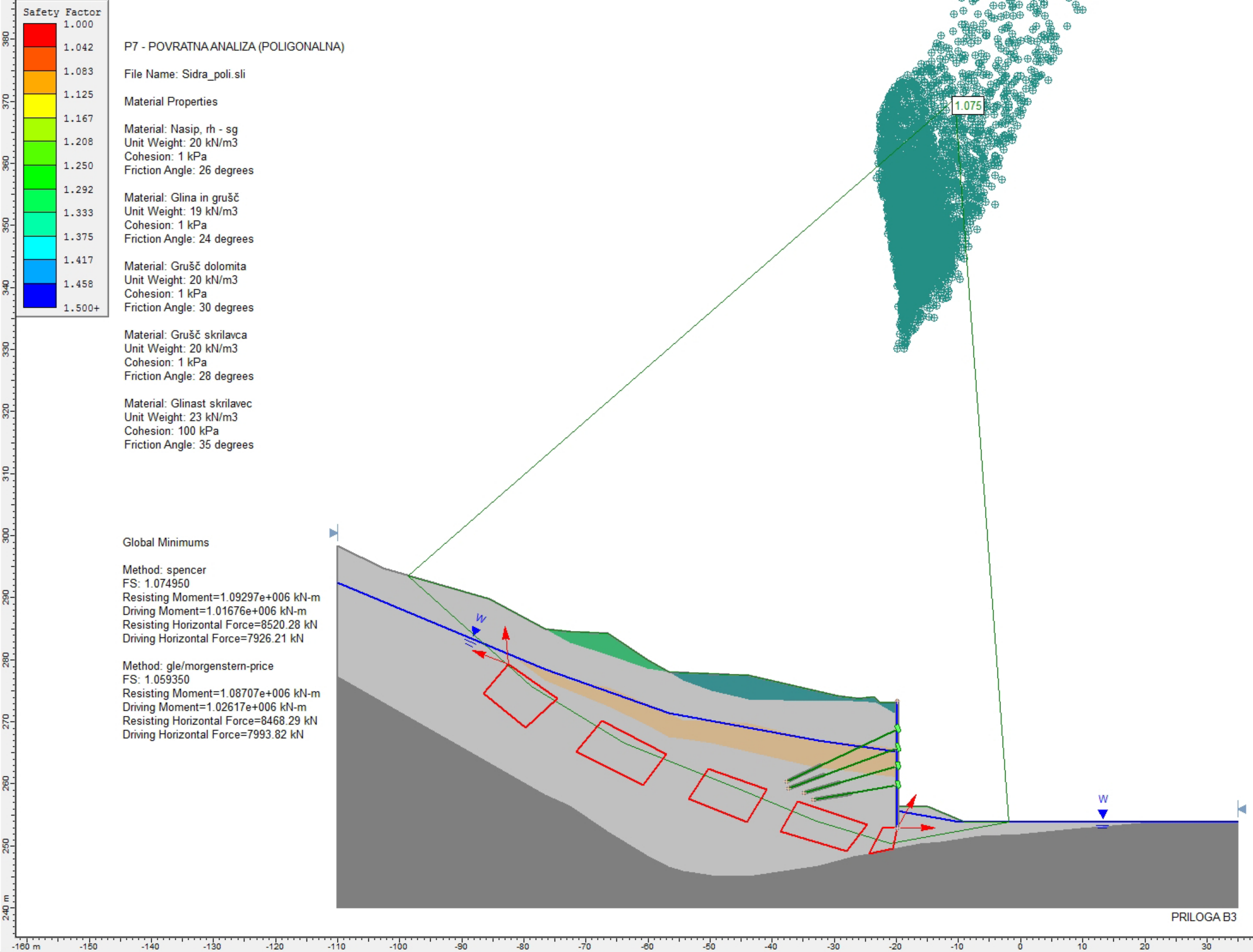
0.999

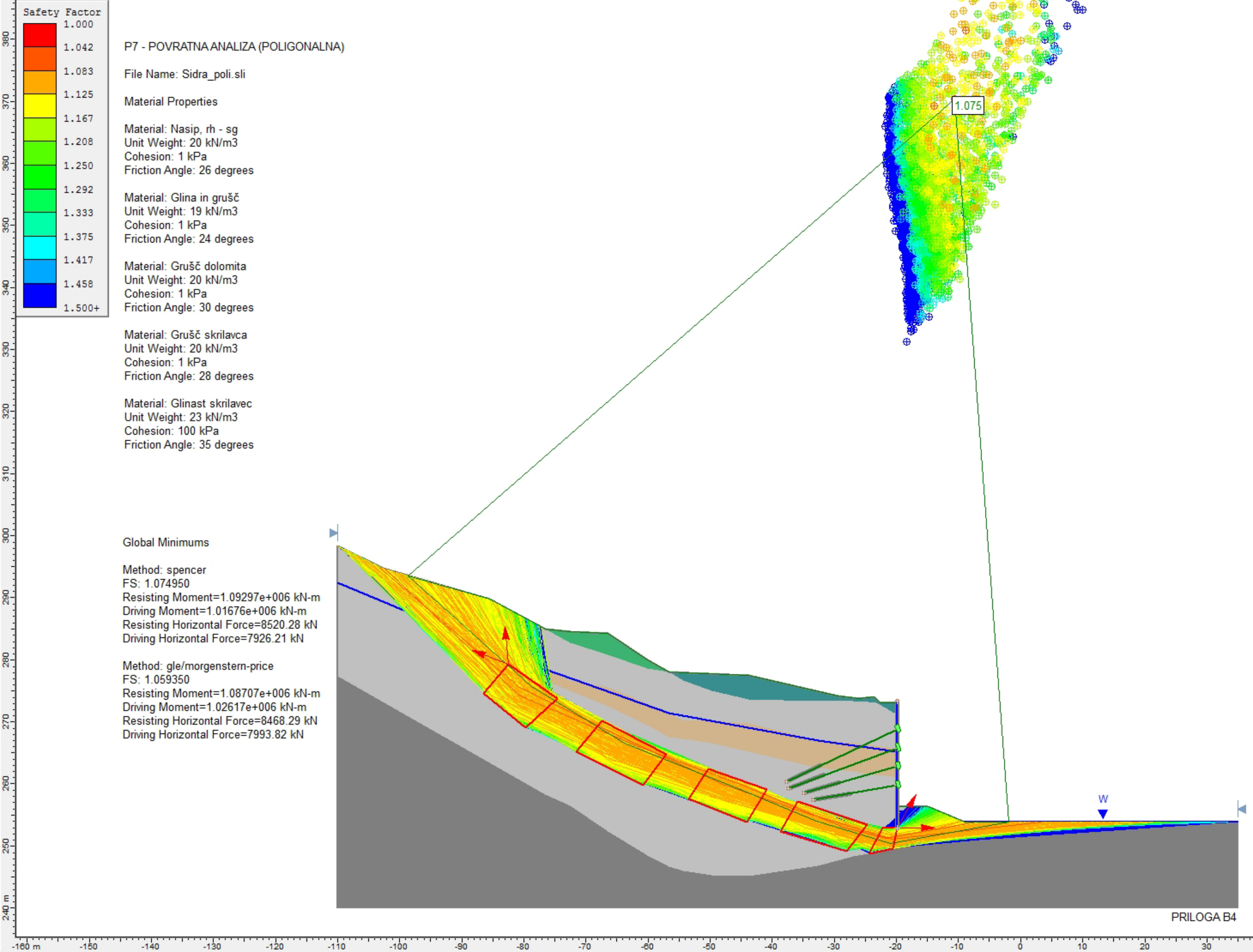
Global Minimums

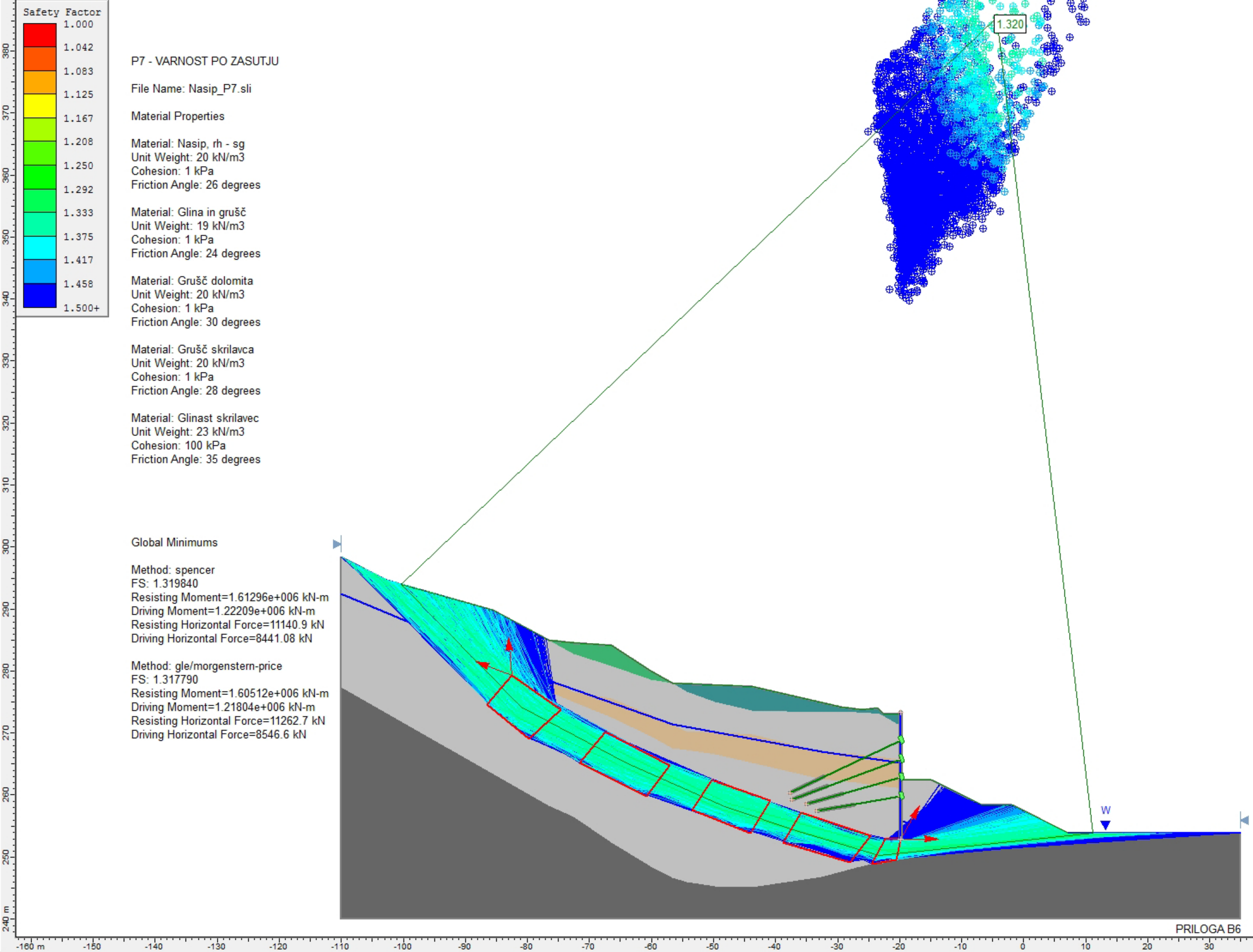
Method: spencer
 FS: 0.999393
 Resisting Moment=279444 kN-m
 Driving Moment=279614 kN-m
 Resisting Horizontal Force=4440.22 kN
 Driving Horizontal Force=4442.92 kN

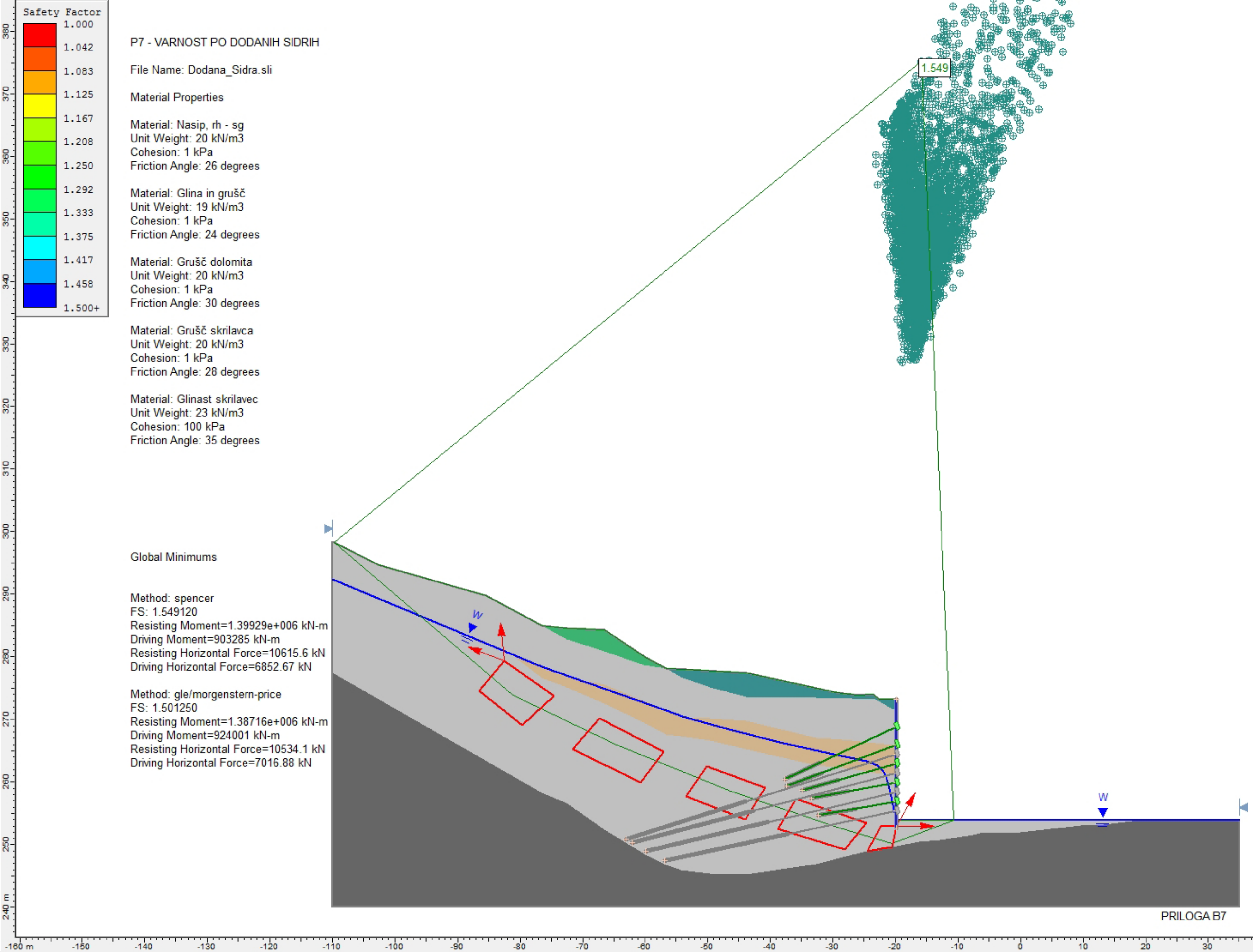
Method: gle/morgenstern-price
 FS: 0.999935
 Resisting Moment=279596 kN-m
 Driving Moment=279614 kN-m
 Resisting Horizontal Force=4441.45 kN
 Driving Horizontal Force=4441.74 kN

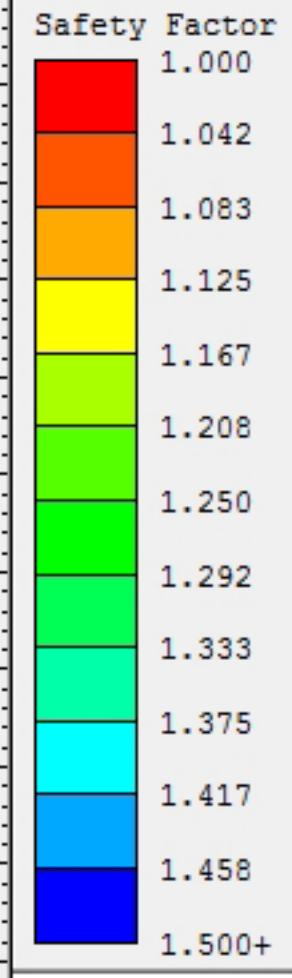
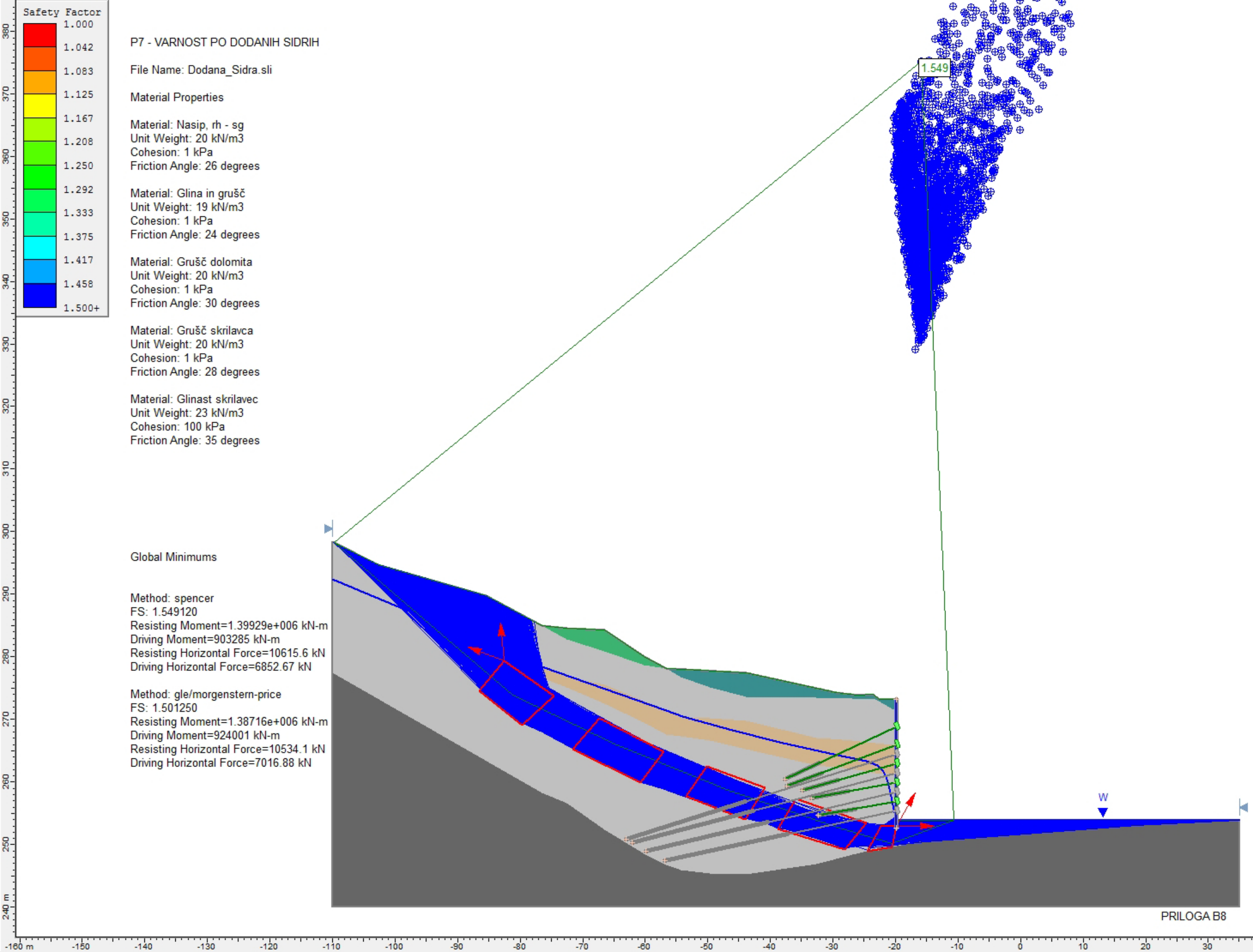












P7 - VARNOST PO DODANIH SIDRIH

File Name: Dodana_Sidra.sli

Material Properties

Material: Nasip, rh - sg
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: Glina in grušč
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 24 degrees

Material: Grušč dolomita
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 30 degrees

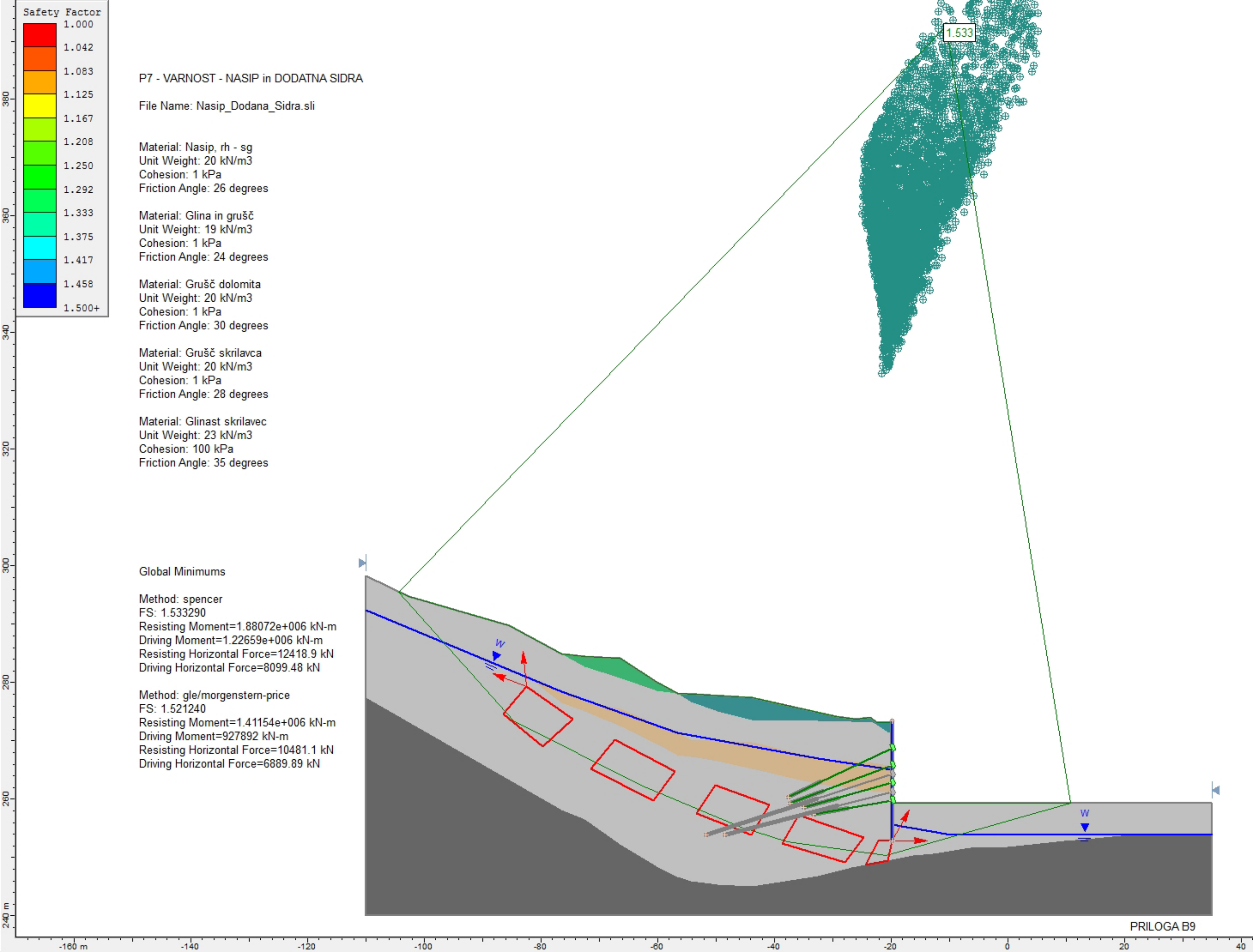
Material: Grušč skrilavca
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

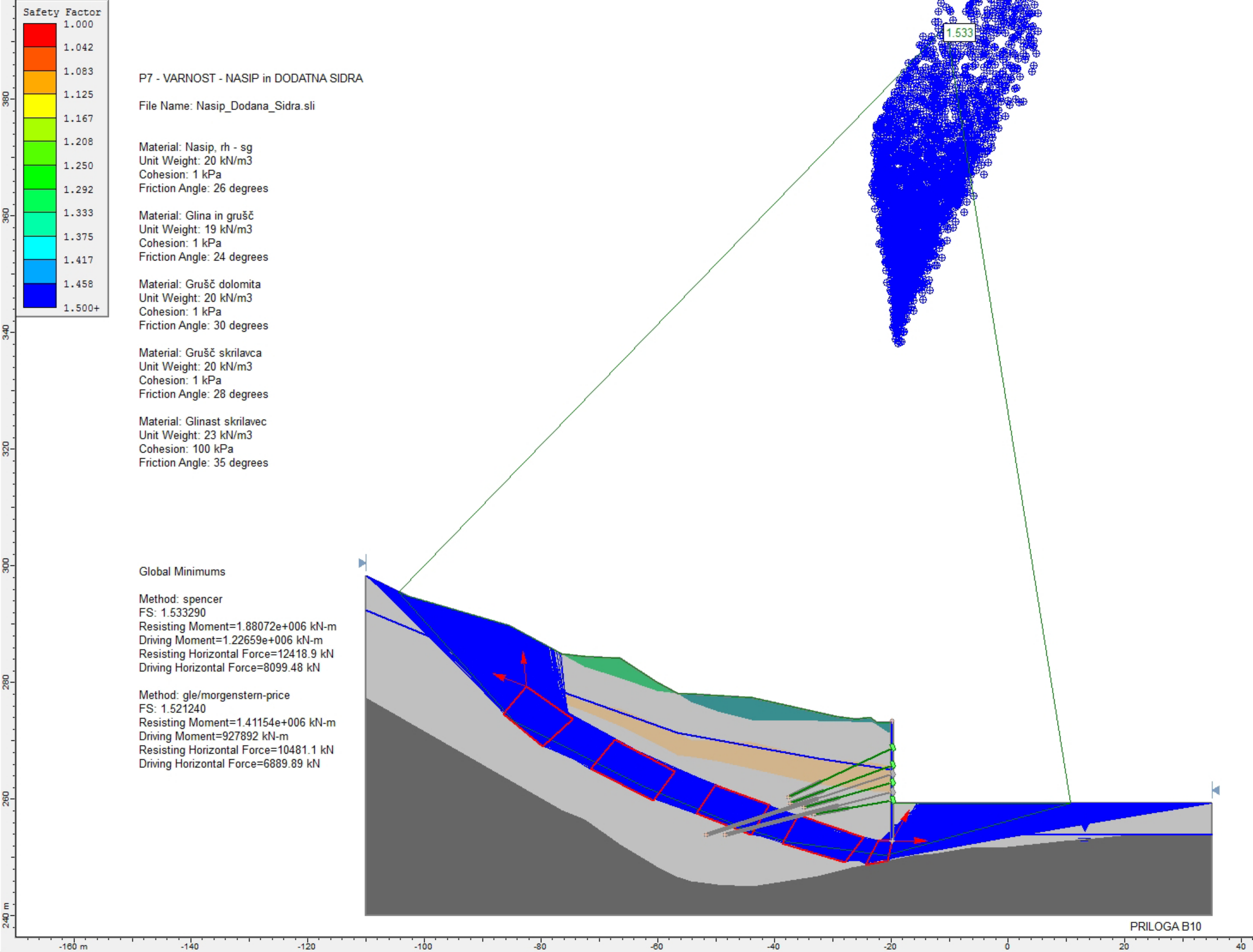
Material: Glinast skrilavec
 Unit Weight: 23 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 35 degrees

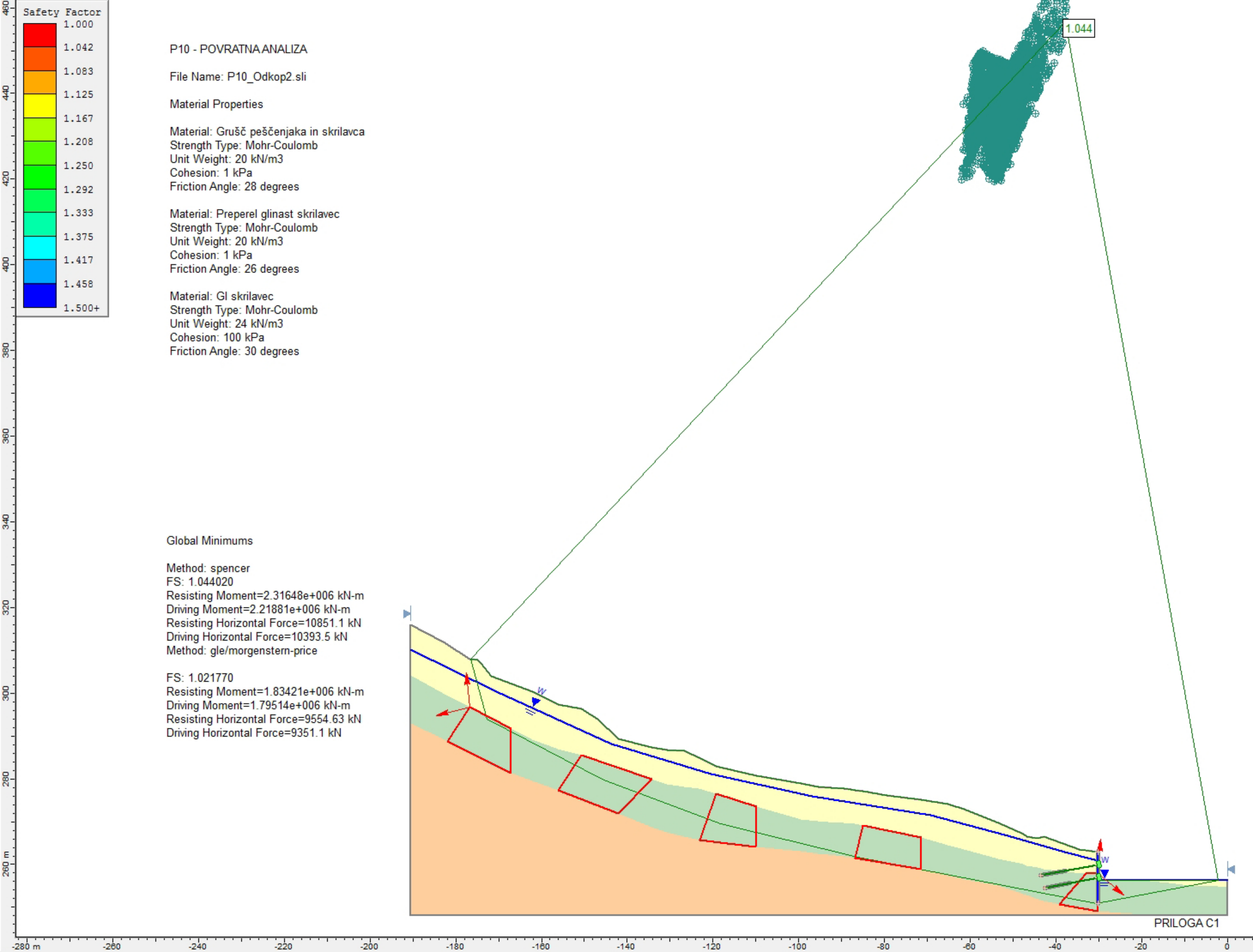
Global Minimums

Method: spencer
 FS: 1.549120
 Resisting Moment=1.39929e+006 kN-m
 Driving Moment=903285 kN-m
 Resisting Horizontal Force=10615.6 kN
 Driving Horizontal Force=6852.67 kN

Method: gle/morgenstern-price
 FS: 1.501250
 Resisting Moment=1.38716e+006 kN-m
 Driving Moment=924001 kN-m
 Resisting Horizontal Force=10534.1 kN
 Driving Horizontal Force=7016.88 kN







P10 - POVRATNA ANALIZA

File Name: P10_Odkop2.sli

Material Properties

Material: Grušč peščenjaka in skrilavca
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

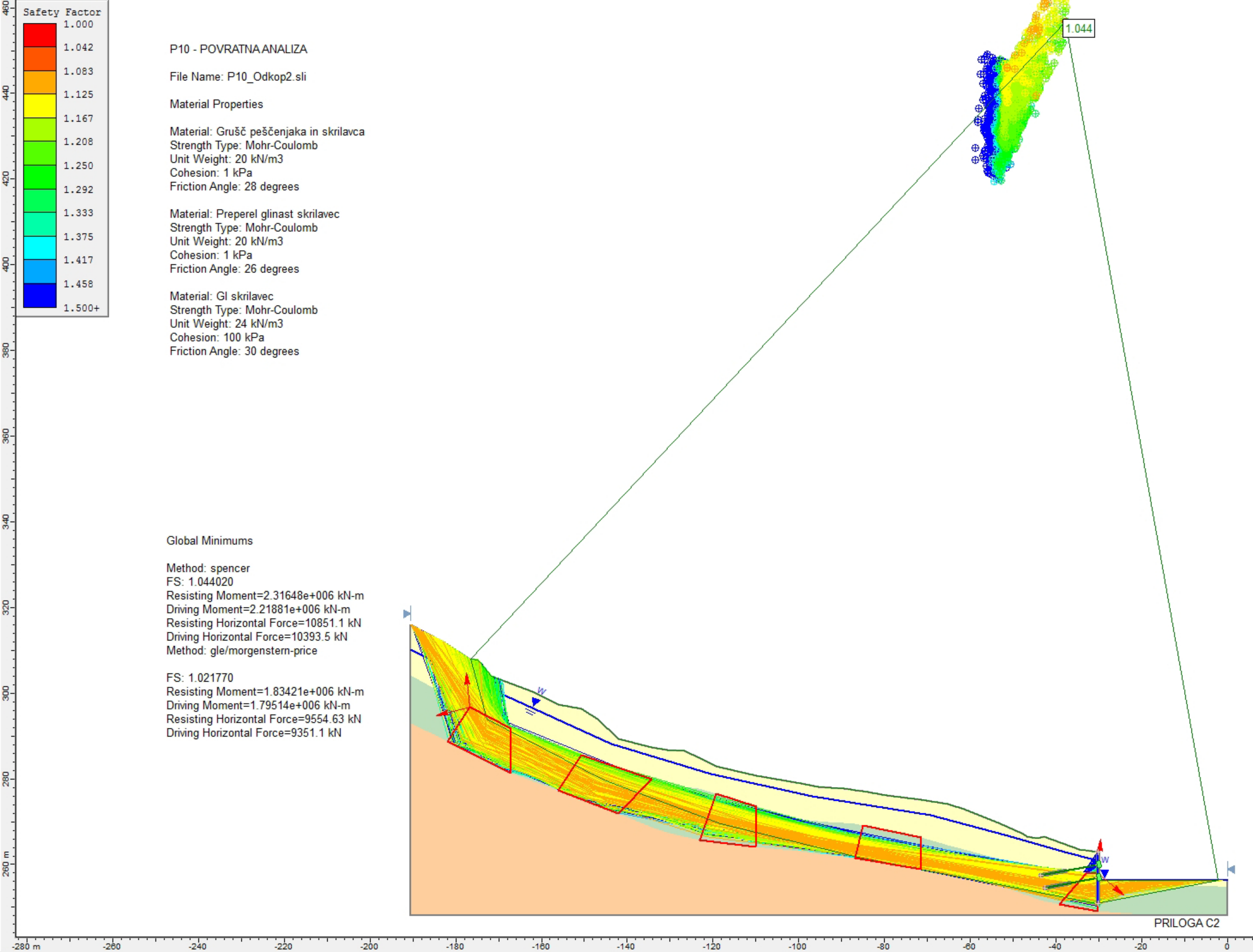
Material: Preperel glinast skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: GI skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 24 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 30 degrees

Global Minimums

Method: spencer
 FS: 1.044020
 Resisting Moment=2.31648e+006 kN-m
 Driving Moment=2.21881e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=10851.1 kN
 Driving Horizontal Force=10393.5 kN
 Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.021770
 Resisting Moment=1.83421e+006 kN-m
 Driving Moment=1.79514e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=9554.63 kN
 Driving Horizontal Force=9351.1 kN



P10 - POVRATNA ANALIZA

File Name: P10_Odkop2.sli

Material Properties

Material: Grušč peščenjaka in skrilavca
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

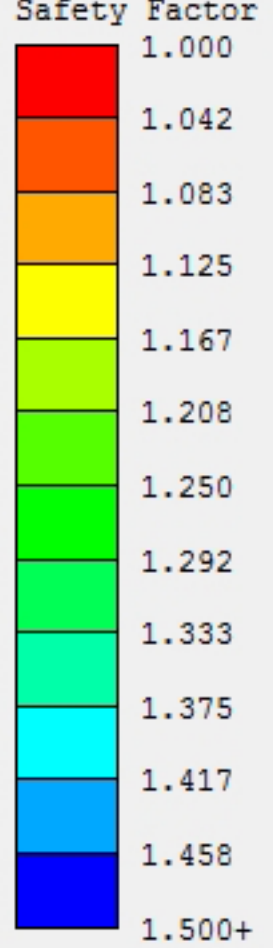
Material: Preperel glinast skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

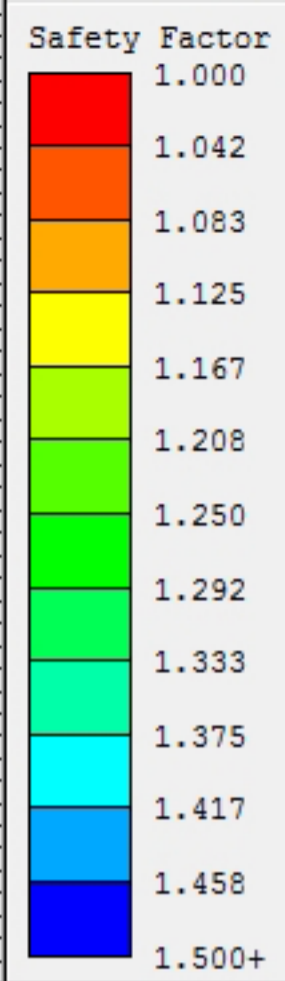
Material: GI skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 24 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 30 degrees

Global Minimums

Method: spencer
 FS: 1.044020
 Resisting Moment=2.31648e+006 kN-m
 Driving Moment=2.21881e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=10851.1 kN
 Driving Horizontal Force=10393.5 kN
 Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.021770
 Resisting Moment=1.83421e+006 kN-m
 Driving Moment=1.79514e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=9554.63 kN
 Driving Horizontal Force=9351.1 kN





VARNOST Z NASIPOM

File Name: P10_Nasutje.sli

Material Properties

Material: Grušč peščenjaka in skrilavca
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

Material: Preperel glinast skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: GI skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 24 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 30 degrees

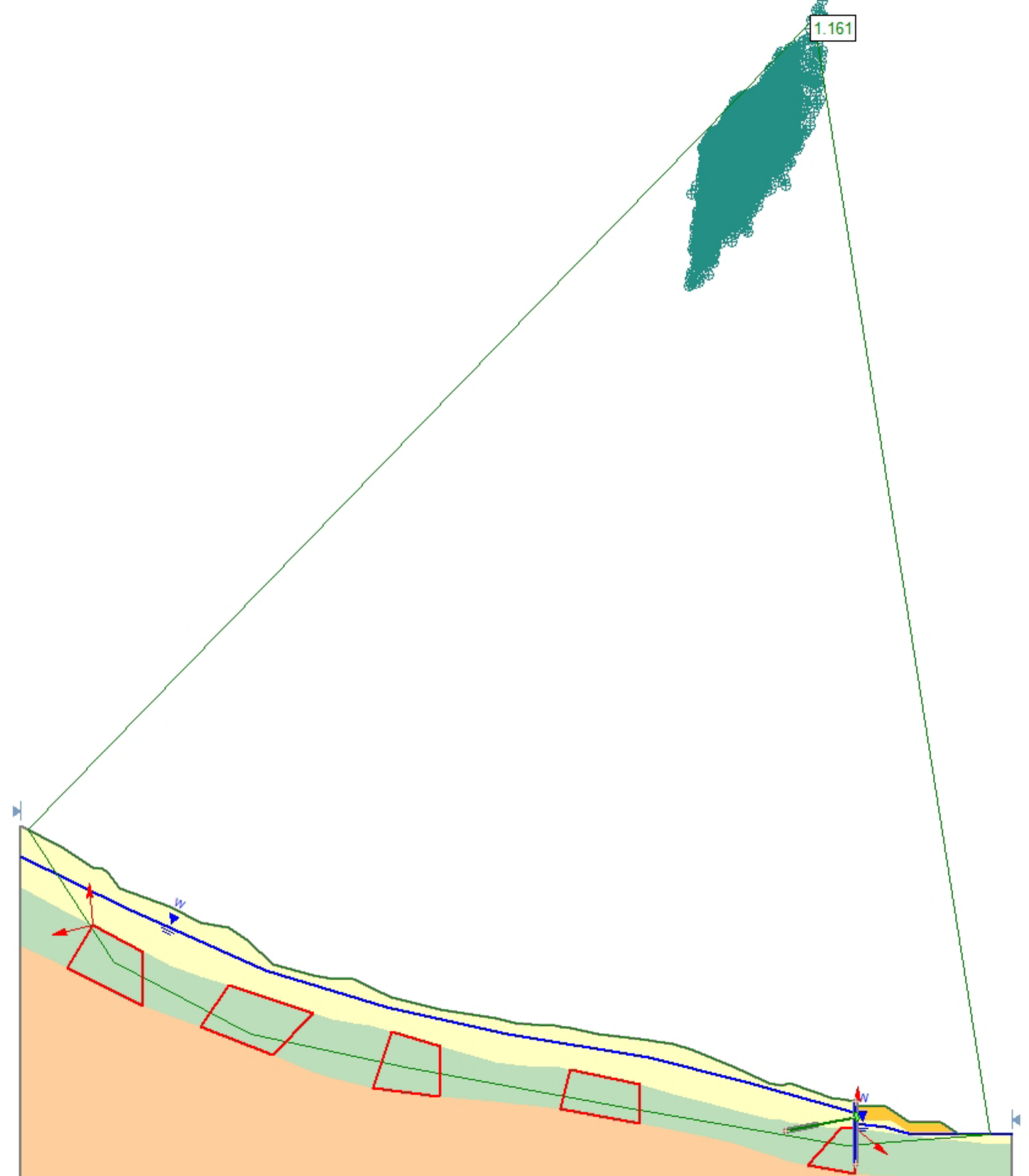
Material: Kamniti material
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 22 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 38 degrees

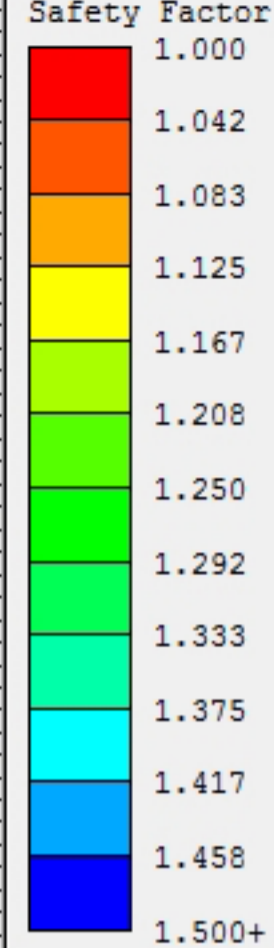
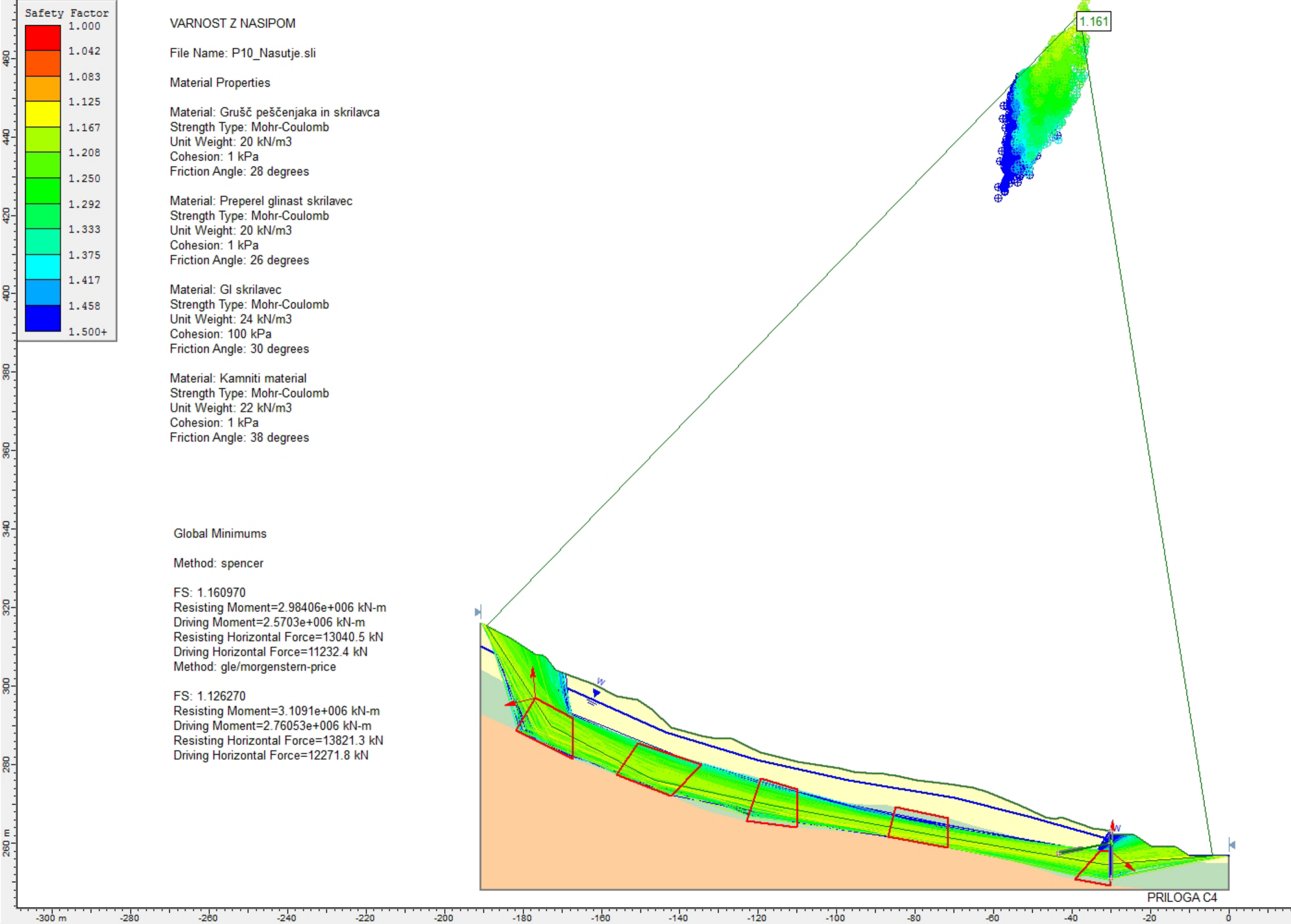
Global Minimums

Method: spencer

FS: 1.160970
 Resisting Moment=2.98406e+006 kN-m
 Driving Moment=2.5703e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=13040.5 kN
 Driving Horizontal Force=11232.4 kN
 Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.126270
 Resisting Moment=3.1091e+006 kN-m
 Driving Moment=2.76053e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=13821.3 kN
 Driving Horizontal Force=12271.8 kN





VARNOST Z NASIPOM

File Name: P10_Nasutje.sli

Material Properties

Material: Grušč peščenjaka in skrilavca
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 28 degrees

Material: Preperel glinast skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 26 degrees

Material: GI skrilavec
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 24 kN/m³
 Cohesion: 100 kPa
 Friction Angle: 30 degrees

Material: Kamniti material
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 22 kN/m³
 Cohesion: 1 kPa
 Friction Angle: 38 degrees

Global Minimums

Method: spencer

FS: 1.160970
 Resisting Moment=2.98406e+006 kN-m
 Driving Moment=2.5703e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=13040.5 kN
 Driving Horizontal Force=11232.4 kN
 Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.126270
 Resisting Moment=3.1091e+006 kN-m
 Driving Moment=2.76053e+006 kN-m
 Resisting Horizontal Force=13821.3 kN
 Driving Horizontal Force=12271.8 kN

1.161

VARNOST PO DODANIH SIDRIH

File Name: P10_Dodatno sidro.sli

Material Properties

Material: Grušč peščenjaka in skrilavca
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 28 degrees

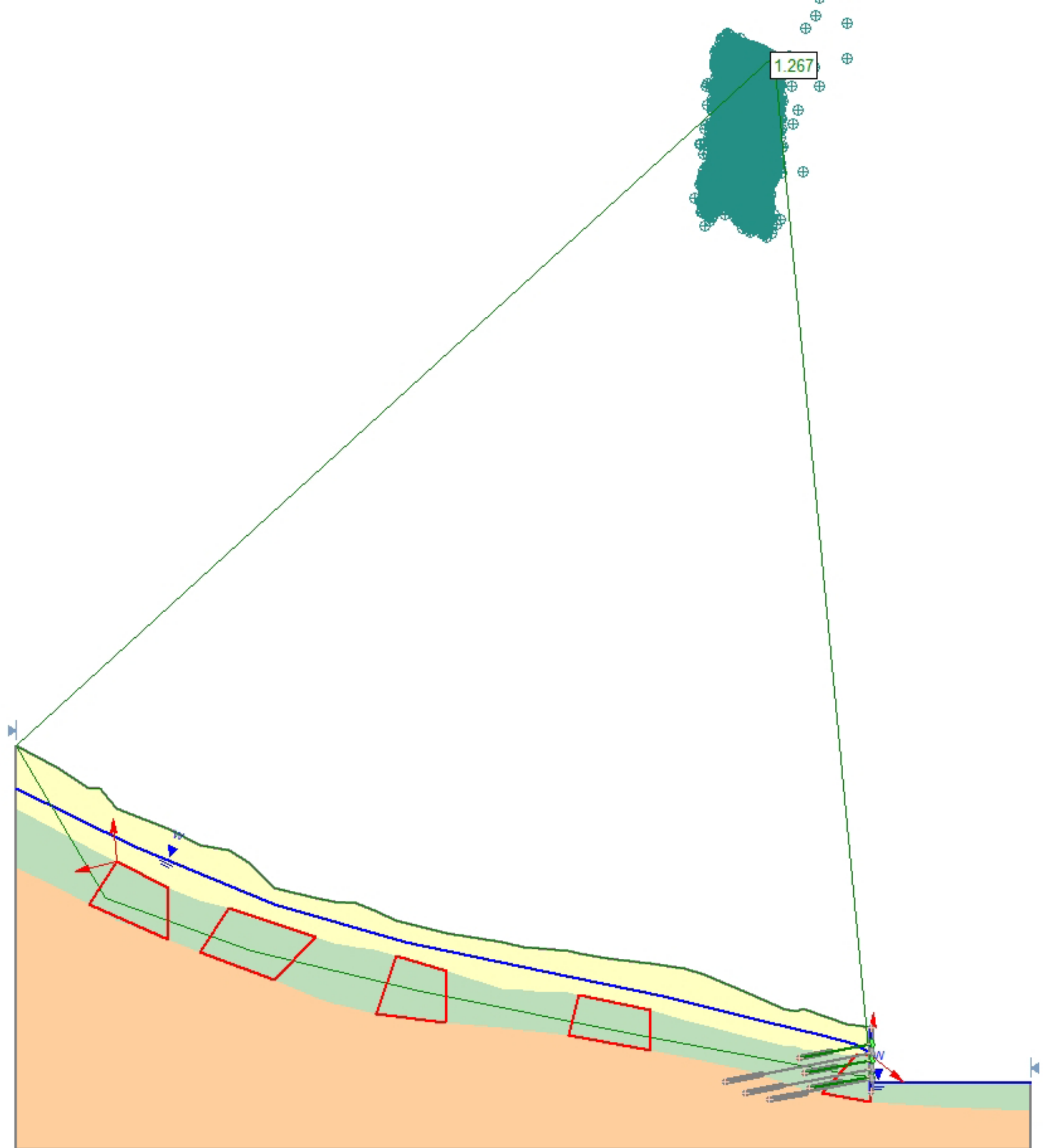
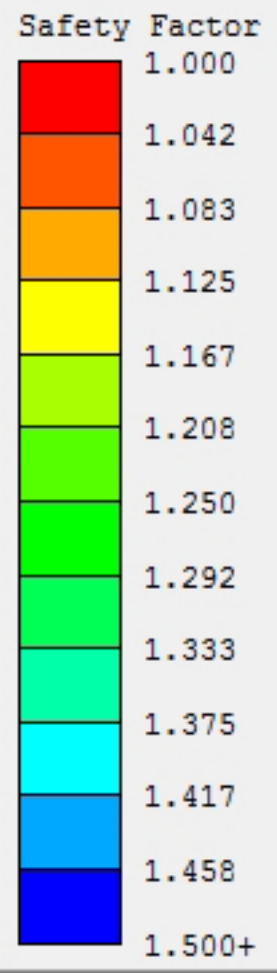
Material: Preperel glinast skrilavec
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 26 degrees

Material: GI skrilavec
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 100 kPa
Friction Angle: 30 degrees

Global Minimums

Method: spencer
FS: 1.266990
Resisting Moment=2.73186e+006 kN-m
Driving Moment=2.15618e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=13628.4 kN
Driving Horizontal Force=10756.5 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.232030
Resisting Moment=2.72832e+006 kN-m
Driving Moment=2.2145e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=13549.1 kN
Driving Horizontal Force=10997.4 kN



VARNOST PO DODANIH SIDRIH

File Name: P10_Dodatno sidro.sli

Material Properties

Material: Grušč peščenjaka in skrilavca
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 28 degrees

Material: Preperel glinast skrilavec
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 26 degrees

Material: GI skrilavec
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 24 kN/m³
Cohesion: 100 kPa
Friction Angle: 30 degrees

Global Minimums

Method: spencer
FS: 1.266990
Resisting Moment=2.73186e+006 kN-m
Driving Moment=2.15618e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=13628.4 kN
Driving Horizontal Force=10756.5 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.232030
Resisting Moment=2.72832e+006 kN-m
Driving Moment=2.2145e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=13549.1 kN
Driving Horizontal Force=10997.4 kN

