

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Čavić, D. 2013. Uporaba ekspandiranega polistirena (EPS) pri geotehničnih gradnjah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Pulko, B.): 97 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Čavić, D. 2013. Uporaba ekspandiranega polistirena (EPS) pri geotehničnih gradnjah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Pulko, B.): 97 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

DARKO ČAVIĆ

**UPORABA EKSPANDIRANEGA POLISTIRENA (EPS)
PRI GEOTEHNIČNIH GRADNJAH**

Diplomska naloga št.: 479/KS

**USE OF EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) IN
GEOTECHNICAL CONSTRUCTION**

Graduation thesis No.: 479/KS

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Somentor:

asist. dr. Boštjan Pulko

Član komisije:

izr. prof. dr. Maruška Šubic Kovač

Ljubljana, 25. 01. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani DARKO ČAVIĆ izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:
“UPORABA EKSPANDIRANEGA POLISTIRENA (EPS) PRI GEOTEHNIČNIH GRADNJAH”.

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

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

Ljubljana, 21. december 2012

Darko ČAVIĆ

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.131:632.125.003/.004(043.2)
Avtor:	Darko Čavić
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar
Somentor:	asist. dr. Boštjan Pulko
Naslov:	Uporaba ekspandiranega polistirena (EPS) pri geotehničnih gradnjah
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	97 str., 18 pregl., 80 sl., 5 graf.
Ključne besede:	ekspandiran polistiren, stiropor, geotehnične gradnje, plaz, servisni plato, Slide 6.0,

Izvleček

Diplomsko delo podaja pregled možne rabe ekspandiranega polistirena (EPS) na splošno, predvsem pa pri geotehničnih gradnjah.

V nadaljevanju naloge sta podana konkretna primera uporabe EPS. Prvi primer obravnava sanacijo plazu, drugi pa stabilizacijo servisnega platoja, cestnega nasipa in pobočja nad njim.

V prvem primeru je podan izračun stabilnosti, ekonomske upravičenosti in časovne izvedbe v primeru uporabe EPS. Te podatke sem primerjal z dejansko izvedeno sanacijo plazu in jih prikazal v preglednicah.

V drugem primeru sem zaradi pomanjkljivosti podatkov stroškovne in časovne analize podal samo izračun stabilnostne analize in ga primerjal z dejansko izvedeno stabilizacijo.

Raziskovalne hipoteze so zastavljene tako, da je z njimi moč preveriti ali uporaba EPS zadovoljuje vse naštetje kriterije, predvsem pa stabilnost plazu in servisnega platoja.

Na koncu naloge sem uvidel, da lahko z uporabo EPS zadovoljimo varnosti tudi bolj zahtevnih konstrukcij in obenem zmanjšamo strošek investicije in čas izvedbe.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	624.131:632.125.003/.004(043.2)
Author:	Darko Čavić
Supervisor:	assoc. prof. Janko Logar, Ph.D.
Cosupervisor:	asist. Boštjan Pulko, Ph.D.
Title:	Use of expanded polystyrene (EPS) in geotechnical construction
Document type:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes:	97 p., 18 tab., 80 fig., 5 graph.
Key words:	expanded polystyrene, geof foam, geotechnical construction, landslide, service plateau, Slide 6.0

Abstract

The project gives an overview of the possible use of expanded polystyrene (EPS) in general and especially, in geotechnical construction.

Two case histories of using EPS are presented here below. The first example deals with the rehabilitation of landslide and the second with stabilization of service plateau, road embankment and slopes above it.

In the first case calculation of stability, economic viability and execution time in the case of using EPS is shown. This information was compared with the actual landslide remediation performed and thereafter displayed in tables.

In the second case due to lack of data on cost and time I have only delivered the stability analyzes calculation and compared it with the actually executed stabilization.

Research hypotheses are planned in such a way that it was possible to check if use of EPS meets all listed criteria, in particular the stability of the landslide and the service plateau.

At the end of the project, I realized that using EPS safety requirements can be satisfied even with more complicated structures and at the same time cost of investment may be reduced as well as execution time.

ZAHVALA

Ob nastajanju diplomske naloge se želim za strokovno pomoč iskreno zahvaliti mentorju, izr. prof. dr. Janku Logarju.

Posebna zahvala gre moji soprogi Niki za podporo in vse nasvete, ki mi jih je nudila, ko sem jih najbolj potreboval, tako pri izdelavi diplomske naloge kakor tudi pri celotnem študiju.

Zahvala tudi moji družini za razumevanje in potrpežljivost tekom celotnega študija.

Zahvaljujem se tudi Nikini družini, ker so mi stali ob strani in me enako podpirali skozi celoten čas študija.

Hvala tudi vsem ostalim, ki so mi vsa ta leta stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

UVOD	1
I. TEORETIČNI DEL	2
1. EKSPANDIRANI POLISTIREN (EPS)	2
1.1 KAJ JE EKSPANDIRANI POLISTIREN (EPS)	2
1.2 ZGODOVINSKI RAZVOJ EPS	3
1.2.1 PROCES POLIMERIZACIJE	3
1.3 PODROČJA UPORABE EPS	4
1.4 STIROPOR – IZOLACIJA PRIHODNOSTI	6
1.5 TEHNIČNE LASTNOSTI EPS	8
1.6 VPLIV NA OKOLJE IN ČLOVEKA	10
1.7 RECIKLIRANJE	11
2. EKSPANDIRANI POLISTIREN V GRADBENIŠTVU	13
2.1. UPORABA EPS V GOSPODARSKE IN ARHITEKTURNE NAMENE	13
2.2 UPORABA STIROPORA PRI GRADNJI PROMETNIC	16
2.3 EPS V GEOTEHNIČNIH GRADNJAH	19
2.4 PODROČJA UPORABE STIROPORA PRI GEOTEHNIČNIH GRADNJAH	20
2.4.1 GRADNJA PODPORNH KONSTRUKCIJ	22
2.4.2 STABILIZACIJA PLAZOV	24
2.4.3 GRADNJA NASIPOV NA NESTABILNIH TLEH	26
2.4.4 GRADNJA PRIKLJUČNIH NASIPOV K PREMOSITVENIM OBJEKTOM	28
II EMPIRIČNI DEL	31
3. OPREDELITEV PROBLEMA	31
4. CILJI IN HIPOTEZE	32
5. METODE DELA	33

5.1 OPIS PRVEGA PRIMERA.....	34
5.1.1 IZVEDENI SANACIJSKI UKREPI.....	34
5.2 OPIS DRUGEGA PRIMERA	37
5.2.1 PREDLAGAN NAČIN STABILIZACIJE	42
5.3 OPIS POSTOPKA.....	42
5.4 OBDELAVA PODATKOV	43
6. SANACIJA PLAZU PRAPRETNO (PRIMER 1) Z UPORABO EPS	44
6.1 PREDLAGANA SANACIJA.....	44
6.2 VARIANTA 1: NIZEK VODOSTAJ IN SLABŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE	45
6.2.1 IZRAČUN STABILNOSTI ZA NIZEK VODOSTAJ IN SLABŠE KARAKTERISTIKE.....	48
6.3 VARIANTA 2: VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE	52
6.3.1 IZRAČUN STABILNOSTI ZA VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE – VARIANTA A	54
6.3.2 IZRAČUN STABILNOSTI ZA VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE – VARIANTA B.....	59
6.4 PRIMERJAVA REZULTATOV STABILNOSTNE ANALIZE	66
6.5 ANALIZA STROŠKOV	67
6.5.1 ANALIZA DEJANSKO IZVEDENE SANACIJE PLAZU	67
6.5.2 ANALIZA STROŠKOV SANACIJE PLAZU Z UPORABO EPS	70
6.5.3 PRIMERJAVA REZULTATOV	72
6.6 ČASOVNA REALIZACIJA PROJEKTA.....	72
7. UGOTOVITVE O PREVERJENIH HIPOTEZAH	73
8. STABILIZACIJA SERVISNEGA PLATOJA (PRIMER 2) Z UPORABO EPS .	75
8.1 RAČUN STABILNOSTI OBSTOJEČEGA STANJA.....	75
8.2 RAČUN STABILNOSTI – PROFIL 4	79

8.3 RAČUN STABILNOSTI – PROFIL 6	83
8.4 RAČUN STABILNOSTI – PROFIL 8	86
8.5 STROŠKOVNA ANALIZA.....	88
9. UGOTOVITVE O PREVERJENI HIPOTEZI.....	89
10. IZKUŠNJE IZ PRETEKLOSTI.....	90
11. ZAKLJUČEK.....	93
VIRI.....	95
UPORABLJENI VIRI.....	95
ELEKTRONSKI VIRI.....	96

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kakovostne karakteristike ekspaniranega polistirena 1	9
Preglednica 2: Kakovostne karakteristike ekspaniranega polistirena 2	10
Preglednica 3: Primerjava predlaganih načinov stabilizacije v karakterističnih profilih..	42
Preglednica 4: Karakteristične lastnosti EPS, ki so uporabljene pri izračunu stabilnosti .	44
Preglednica 5: Karakteristike zemljine – osnovno stanje.....	45
Preglednica 6: Projektne karakte. zemljin vgrajenih v cestni nasip – VARIANTA I.....	48
Preglednica 7: Karakteristike zemljine – osnovno stanje.....	52
Preglednica 8: Projektne vrednosti zemljin vgrajenih v cestni nasip – VARIANTA II ...	53
Preglednica 9: Projektne vrednosti zemljin vgrajenih v cestni nasip – VARIANTA II ..	59
Preglednica 10: Rezultati stabilnosti – VARIANTA I.....	66
Preglednica 11: Rezultati stabilnosti – VARIANTA II	66
Preglednica 12: Strošek rekonstrukcije ceste.....	67
Preglednica 13: Strošek izvedbe pilotne stene	67
Preglednica 14: Strošek izvedbe kamnite zložbe	68
Preglednica 15: Skupni strošek sanacije plazu – OSNOVNO STANJE.....	68
Preglednica 16: Skupni strošek z uporabo EPS	70
Preglednica 17: Karakteristične vrednosti zemljin.....	76
Preglednica 18: Strošek uporabe EPS	89

KAZALO SLIK

Slika 1: Proces polimerizacije	4
Slika 2: Primer uporabe stiropora v gradbeništvu	5
Slika 3: Primer uporabe stiropora kot embalaže	6
Slika 4: Stiroporna plošča z dodatkom delcev grafita	7
Slika 5: Stadioni in gledališča	14
Slika 6: Gledališča	14
Slika 7: Bazeni	15
Slika 8: Zelene strehe	15
Slika 9: Spremembe višine tal	15
Slika 10: Izvedba nasipa iz ekspaniranega polistirena 1	17
Slika 11: Izvedba nasipa iz ekspaniranega polistirena 2	18
Slika 12: Izvedba nasipa iz ekspaniranega polistirena za potrebe železniškega prometa	18
Slika 13: Izvedba priključnega nasipa k premostitvenemu objektu	18
Slika 14: Primer nasutja EPS za podporno konstrukcijo	23
Slika 15: Primer sanacije plazov z uporabo EPS	24
Slika 16: Primeri možnih izvedb za stabilizacijo in sanacijo plazov	25
Slika 17: Postavitev drenažnih cevi za preprečitev dviga nasipa zaradi vzgona	26
Slika 18: Primer uporabe EPS pri gradnji nasipov na slabo nosilnih tleh	27
Slika 19: Primer izvedbe krempljaste plošče za povezovanje EPS blokov	27
Slika 20: Primer izvedbe krempljaste plošče za povezovanje EPS blokov	28
Slika 21: Gradnja priključnega nasipa k premostitvenemu objektu 1	29
Slika 22: Gradnja priključnega nasipa k premostitvenemu objektu 2	29
Slika 23: Vzdržni prež priključnega nasipa k premostitvenemu objektu	30
Slika 24: Poškodovana cesta pred sanacijo	34
Slika 25: Pilotna stena	35
Slika 26: Kamnita zložba	36
Slika 27: Profil 4: Kritična drsina v pobočju	37
Slika 28: Profil 4: Kritična drsina v nasipu	38
Slika 29: Profil 6: Kritična drsina v pobočju	39
Slika 30: Profil 6: Kritična drsina je še zmeraj v pobočju, kljub temu, da smo naredili nasip in izravnali servisni plato	39

Slika 31: Profil 6: Kritična drsina v nasipu po sanaciji zgornjega dela	40
Slika 32: Profil 8: Kritična drsina v pobočju.....	41
Slika 33: Profil 8: Kritična drsina v nasipu	41
Slika 34: Osnovno stanje – geometrija.....	45
Slika 35: Osnovno stanje – kritična drsina.....	46
Slika 36: Kamnita zložba – sloji – nizek vodostaj	47
Slika 37: Geometrija – nizek vodostaj – slabše karakteristike – krožne drsine	49
Slika 38: Kritična drsina – nizek vodostaj – slabše karakteristike – krožne drsine	49
Slika 39: Kritična drsina – nizek vodostaj – slabše karakter. – krožne drsine-globina 1,5m	50
Slika 40: Geometrija – nizek vodostaj – slabše karakteristike – ravne drsine	50
Slika 41: Kritična drsina – nizek vodostaj – slabše karakteristike – ravne drsine	51
Slika 42: Osnovno stanje – geometrija.....	52
Slika 43: Osnovno stanje – kritična drsina.....	53
Slika 44: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine	55
Slika 45: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine	55
Slika 46: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – krožne drsine-globina 1,5m	56
Slika 47: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsine	57
Slika 48: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsine	57
Slika 49: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – ravne drsine-globina 0,2m	58
Slika 50: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine	60
Slika 51: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine	60
Slika 52: Kritična drsina, visok vodostaj, boljše karakte. – krožne drsine-globina 1,5 m	61
Slika 53: Prečni prerez nasipa višine do 2 m	62
Slika 54: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – stopničasto položeni EPS bloki – krožne drsine-globina 0,3 m.....	63
Slika 55: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – krožne drsine-globina 0,3m	63
Slika 56: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsine	64
Slika 57: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsin	65
Slika 58: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – ravne drsine-globina 0,2 m	65

Slika 59: Stabilizacija servisnega platoja – obstoječe stanje – PROFIL 4.....	76
Slika 60: Stabilizacija servisnega platoja – kritična drsina – PROFIL 4	77
Slika 61: Stabilizacija servisnega platoja – obstoječe stanje – PROFIL 6.....	77
Slika 62: Stabilizacija servisnega platoja – kritična drsina – PROFIL 6	78
Slika 63: Stabilizacija servisnega platoja – obstoječe stanje – PROFIL 8.....	78
Slika 64: Stabilizacija servisnega platoja – kritična drsina – PROFIL 8	79
Slika 65: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija – PROFIL 4.....	80
Slika 66: Stab. servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – PROFIL 4 ...	81
Slika 67: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 1,5m – PROFIL 4	81
Slika 68: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – globina	82
Slika 69: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija – PROFIL 6.....	83
Slika 70: Stab. servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – PROFIL 6 ...	84
Slika 71: Stab. serv. platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 3 m – PROFIL 6	84
Slika 72: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 1,5m – PROFIL 6	85
Slika 73: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 0,5m – PROFIL 6	85
Slika 74: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija – PROFIL 8.....	86
Slika 75: Stab. servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – PROFIL 8 ...	87
Slika 76: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 1,5m – PROFIL 8	87
Slika 77: Stab. serv. plai.–predlagana sanacija - kritična drsina–globina 0,2m –PROFIL 8	88
Slika 78: Posedki nasipa pri podvozu Luka	91
Slika 79: Shematska razlaga za zasuk krilnega zidu proti nasipu.....	91
Slika 80: Vzdolžni prerez priključnega nasipa k premostitvenem objektu.....	92

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Skupni stroški brez DDV – OSNOVNO STANJE.....	69
Grafikon 2: Skupni stroški plus 20% DDV – OSNOVNO STANJE.....	69
Grafikon 3: Skupni stroški brez DDV – SANACIJA Z EPS	71
Grafikon 4: Skupni stroški plus 20% DDV – SANACIJA Z EPS	71
Grafikon 5: Primerjava analize stroškov	72

UVOD

Že od nekdaj je znano, da na slabo nosilnih tleh lahko pride do porušitve temeljnih tal in visokih nasipov ter drugih objektov, ki so zgrajeni na njih. Zato je pri takih tleh potrebno pri gradnji nasipov in drugih geotehničnih objektov posebno pozornost nameniti raziskavi temeljnih tal in temu prilagoditi vrsto materiala, ki bi se uporabila v določenih primerih.

V diplomski nalogi bom obravnaval uporabo ekspaniranega polistirena (EPS), znanega tudi kot stiropor pri gradnji geotehničnih objektov na tleh slabše nosilnosti.

Diplomska naloga je razdeljena na teoretični in empirični del.

V teoretičnem delu bom podal osnovne karakteristike, področja, prednosti in pomanjkljivosti uporabe EPS v gradbeništvu na splošno in pri geotehničnih gradnjah.

V empiričnem delu je naloga razdeljena na dve poglavji.

Prvo poglavje obravnava primerjavo sanacije plazu Prapretno med že dejansko izvedeno sanacijo in mojim primerom sanacije z uporabo EPS. Primerjava obsega stabilnostno, stroškovno in časovno analizo sanacije v primeru uporabe EPS. Za ta primer so postavljeni cilji in hipoteze ter na koncu predstavljene ugotovitve o postavljenih hipotezah.

Drugo poglavje empiričnega dela obravnava stabilizacijo servisnega platoja, cestnega nasipa ter pobočja nad nasipom v primeru stabilizacije z EPS. Zaradi manjkajočih podatkov stroškovne in časovne analize je v nadaljevanju tega poglavja podana samo stabilnostna analiza in primerjava z že obstoječo, dejansko izvedeno stabilizacijo. Stroškovna in časovna komponenta sta samo ocenjeni.

Na koncu je kot opozorilo na izkušnje iz preteklosti podana razlaga, ki se nanaša na izvedbo nasipa Srmin ob podvozu Luka na AC Klanec – Srmin.

I. TEORETIČNI DEL

1. EKSPANDIRANI POLISTIREN (EPS)

1.1 KAJ JE EKSPANDIRANI POLISTIREN (EPS)

Ekspandirani polistiren (EPS) je vsestranski lahek material, ki se v proizvodnih procesih lahko proizvede v obliki različnih produktov. EPS ali STIROPOR je trda pena z zaprto celično strukturo in predstavlja material z izjemnimi lastnostmi in neomejenimi možnostmi uporabe. Je sintetični produkt izdelan iz polimera polistirena t.j. ogljikovodika stirena, ena izmed frakcij predelave nafte, snežno bele barve z zaprto celično strukturo majhnih celic z ovojem v obliki poliedra, polnjenega z zrakom. V STIROPORU je kar 98% plinov. Če ekspanzija poteka v omejenem prostoru (bloku ali kalupu) se kroglice medsebojno sprimejo, kar predstavlja veliko ekološko, tehnično in ekonomsko prednost – v procesu izdelave niso potrebna nikakršna veziva ali lepila. Gostota penjenega STIROPORA znaša od 10 do 30 kg/m³ in od nje so odvisne mnoge fizikalne lastnosti, medtem ko sta kemijska odpornost in temperaturna obstojnost praktično neodvisni od gostote (Kunič, 2010, str. 1395).

Celična struktura nudi STIROPORU veliko mehansko trdnost kljub izredno majhni volumski teži. STIROPOR, neodvisno od lastne gostote, sam ne sprejema vlage iz okolice – z drugimi besedami ni higroskopičen. Ne predstavlja hrane za organizme, ne podpira ali pospešuje rasti mikroorganizmov, ne gnije, ne propada in ne plesni. Postopek izdelave surovine, kot tudi predelava v končni izdelek ni škodljiva okolju ali ozonski plasti in ne vsebuje plinov, kot so klorfluoroogljikovodiki, CFC, HCFC, HFC ali FCKV. Ker je sestavljen le iz polimera polistirena, brez dodatnih veziv ga je možno v celoti reciklirati. Zaradi omenjenih lastnosti ima STIROPOR najpomembnejša področja uporabe v gradbeništvu in tudi pri embaliranju izdelkov (zrak je stisljiv in ima efekt kompenziranja udarcev), (Kunič, 2010, str. 1395).

Izdelek je odporen na vodo in vlago – ob prisotnosti vode ali vlage ne popusti – torej se ne topi, kot je primer raztapljanja veziva pri mnogih drugih izolacijskih materialih. V primeru zmrzali ne spreminja svojih mehanskih lastnosti, je hidrofobičen oz.

vodoodbojen. Ne povzroča nobene nevarnosti zdravju (se ne drobi, ne vsebuje vlaken in ne škoduje dihalom), ne pika in ne bode, je dimenzijsko stabilen – ohranja stabilno obliko in ima izredno dolgo življenjsko dobo. V materialu se ne bodo razvile plesni, alge ali kakšne druge bakterije (Kunič, 2010, str. 1395).

1.2 ZGODOVINSKI RAZVOJ EPS

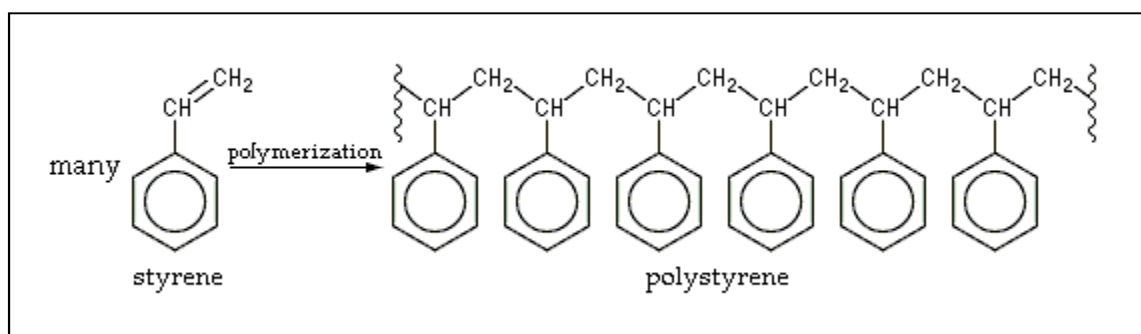
Polistiren ima za sabo dolgo zgodovino razvoja. Leta 1839 je nemški farmacevt Eduard Simon odkril polistiren. Od stiraks smole, ki ju je dobil iz turškega drevesa *Liquidambar orientalis* (ambrovec), je destiliriral mastno snov monomer, ki jo je imenoval styrol. Nekaj dni kasneje je Simon ugotovil, da se je styrol zgostil, verjetno zaradi oksidacije in je strjeno želatinasto maso poimenoval »Styroloxyd«. Leta 1845 sta angleška in nemška kemika John Blyth in August Wilhelm von Hofmann pokazala, da transformacija oz. preoblikovanje styrola poteka tudi v odsotnosti kisika. Svojo nastalo snov sta imenovala »Metastyrol«. Kasnejša analiza je pokazala, da je bila snov po kemični sestavi enaka kot »Styroloxyd«. Leta 1866 je Marcellin Barthelotom pravilno prepoznal preoblikovanje styrola kot polimerizacijski proces, (<http://www.achfoam.com/>, 19.7.2012).

1.2.1 PROCES POLIMERIZACIJE

Stiropor pridobivajo s polimerizacijo stirena in dodajanjem pogonskega plina pentana. Izdelujejo ga v naslednjih fazah:

- ❖ predekspanzija – kroglice polistirena grejejo z vodno paro tako, da se razširijo oz. povečajo svojo prostornino;
- ❖ vmesno zorenje – ker v predhodnem procesu prihaja do povečanja prostornine kroglic, se z zorenjem oz. staranjem v silosih zrnca umirijo pred naslednjo fazo obdelave;
- ❖ končna sinterizacija – v tem postopku kroglice zvarijo v končni izdelek;

- ❖ dimenzijska stabilizacija – skoraj končni izdelek je potrebno še enkrat oblikovati, saj se pri procesu izdelave oblika nekoliko spremeni;
- ❖ razrez stiropora – stiropor z vročo žico ali laserjem razrežejo v plošče različnih dimenzij, (<http://www.lep-planet.si/kaj-lahko-recikliramo/embalaza/stiropor/>, 22.7.2012).



Slika 1: Proces polimerizacije

(<http://www.achfoam.com/>, 22.7.2012)

Še eden nemški kemik Hermann Staudinger se je zavedal, da je bil Simonov styrol sestavljen iz dolgih verig molekul styrena, ki so bili plastični polimeri. Leta 1922 je Hermann objavil svojo teorijo o osnovi polimerov, ki navaja, da so tudi naravne gume sestavljene iz dolgih ponavljajočih verig monomerov, ki dajejo gumi elastičnost. Dodal je tudi, da se material v proizvodnji s toplotno obdelavo styrena obnaša podobno kot guma. To so bili visoki polimeri vključujoči polistiren. Leta 1949 je firma BASF (Badische Anilin & Soda-Fabrik) zaprosila za patent, ki je bil izdan istega leta (<http://www.achfoam.com/>, 19.7.2012).

1.3 PODROČJA UPORABE EPS

Ekspandirani polistiren ali STIROPOR ima zelo širok spekter uporabe. V Evropi in svetu se uporablja že desetletja. Zaradi svojih mehanskih in izrednih toplotno-izolacijskih lastnosti je stiropor še danes na prvem mestu kot termoizolacijski material v gradbeništvu.

V gradbeništvu se uporablja za:

- ❖ fasade: toplotno zaščito objektov s fasadnimi ploščami,
- ❖ ravne strehe: toplotno zaščito ravnih streh s kaširanimi stiropor ploščami,
- ❖ podzemno toplotno zaščito zunanjih zidov s ploščami,
- ❖ tlake: zaščita proti udarnemu zvoku,
- ❖ zvočno zaščito,
- ❖ dekorativne fasadne profile: okenski profili, vogalni kamni,
- ❖ gradbene dilatacije,
- ❖ montažne betonske elemente,
- ❖ opaže: tako imenovan izgubljeni opaž,
- ❖ gospodarske in arhitekturne namene,
- ❖ pri gradnji prometnic,
- ❖ konstrukcijske in geotehnične gradnje.



Slika 2: Primer uporabe stiropora v gradbeništvu

(<http://www.achfoam.com/>, 22.7.2012)

Poleg tega se uporablja tudi kot embalaža.



Slika 3: Primer uporabe stiropora kot embalaže

(<http://www.achfoam.com/>, 22.7.2012)

S stiroporom se danes srečujemo na vseh področjih in nam že dobrih 60 let služi kot odličen izolator, kot zaščita pri transportu in v prehrambeni industriji (<http://www.lep-planet.si/kaj-lahko-recikliramo/embalaza/stiropor/>, 22.7.2012).

1.4 STIROPOR – IZOLACIJA PRIHODNOSTI

Energetsko varčnih stavb in kvalitetnih bivalnih prostorov si ne moremo predstavljati brez stiropora, izdelanega iz drobnih, zaprtih kroglic polistirena. V mnogih konstrukcijskih sklopih je zaradi izjemnih fizikalnih lastnosti nenadomestljiv, kljub izredno majhni gostoti je čvrst in trajen izolacijski material. Energija, ki je potrebna za celoten postopek izdelave stiropora, se z energetskega stališča izredno hitro povrne – v najbolj ugodnih primerih celo prej kot v šestih mesecih. Samo en kilogram pravilno uporabljenega stiropora prihrani v petdesetih letih 400 litrov kurilnega olja. Kemično je popolnoma nevtralen in je poleg tega edini toplotnoizolacijski material, ki omogoča 100-odstotno reciklažo. To pa zato, ker vsebuje samo en polimer in nima nikakršnih veziv ali impregnacij. Reciklaža poteka brez velikega dodajanja energije (<http://www.fragmat.si/download/clanki/Stiropor%20izolacijski%20material%20bodocnosti.pdf>, 10.12.2012).

Paroprepustnost ekspaniranega polistirena - stiropora, ki ga namenimo kontaktnim toplotnoizolacijskim fasadam (kot npr. fasadni sistem Demit, TIM Laško) znaša okrog 30, kar pomeni, da toplotnoizolacijski material še zdaleč ni parozaporen, kot je napačno uveljavljeno mnenje, ampak toplotnoizolacijski material stiropor še vedno omogoča kontinuiran stacionaren pretok difuzijske pare. Ko govorimo o paroprepustnosti, naj poudarimo, da je difuzijski koeficient vodne pare za stiropor celo nižji kot pri lesu (<http://www.fragmat.si/download/clanki/Stiropor%20izolacijski%20material%20bodocnosti.pdf>, 10.12.2012).

Novost je posebna surovina za proizvodnjo ekspaniranega polistirena (EPS), kateri so dodani posebni delci (običajno grafit), ki zmanjšujejo radiacijsko sevanje znotraj posameznih celic in med sosednjimi celicami stiropora. Takšne plošče stiropora so temno sive, skoraj črne (v TIM-u jih imenujejo Timpor EPS, v Fragmatu pa Fragmat EPS Super) in imajo za približno 15 % do 20 % boljšo toplotno izolativnost, kar z drugimi besedami pomeni, da se doseže enako toplotno izolativnost pri šestino tanjšem sloju toplotne izolacije. Uporaba je enaka kot pri običajnemu stiroporu s poudarkom na tistih konstrukcijskih sklopih, kjer nas omejuje debelina toplotnoizolativne plasti (terase, balkoni, ravne strehe, fasade, tlaki, tla na terenu in podobno), (<http://www.fragmat.si/download/clanki/Stiropor%20izolacijski%20material%20bodocnosti.pdf>, 10.12.2012).



Slika 4: Stiroporna plošča z dodatkom delcev grafita
(Fragmat EPS Super, <http://www.fragmat.si/slo/index.htm>, 22.7.2012)

Stiropor je vsestransko uporaben proizvod, ki je tekom zgodovinskega razvoja dobil pomembno mesto v različnih proizvodnih panogah. Stiropor kot tak se v prihodnosti ne bo veliko spreminjal, razvijal se bo še naprej, mogoče postal celo boljši in lažji izolator. Je najbolj priročna stvar, ki se lahko uporabi za toplotno izolacijo in verjetno tudi najcenejša.

1.5 TEHNIČNE LASTNOSTI EPS

Penjeni (ekspandirani) polistiren (EPS) se uporablja v gradbeništvu, za embalažo itd. Ekspandirani polistiren (stiropor) izdelujejo tako, da impregnirana zrnca s segrevanjem ekspandirajo. Je najlažja pena, saj 98 % prostornine predstavlja ujeti zrak. Ima zelo nizko toplotno prevodnost, visoko tlačno, natezno in upogibno trdnost, majhno vodovpojnost, je brez vonja in okusa, na njem ne nastajajo plesni in je kemično nevtralen. Zaradi teh lastnosti je primeren za embaliranje živil in za varovanje izdelkov pred udarci (blazinjenje). V gradbeništvu uporabljajo EPS za toplotno in zvočno izolacijo. Stiropor za izolacije je samougasljiv in gori le v prisotnosti plamena; ko plamen odstranimo, ugasne. Stiropor je prijazen okolju, saj ne vsebuje škodljivih snovi, ni zdravju nevaren in je primeren za reciklažo (<http://www.google.si/#hl=sl&scient=psy-ab&q=polimerni+materiali+lastnosti>, 22.7.2012).

Glede na področja uporabe so tudi lastnosti in minimalne kakovostne zahteve za EPS različne. Ekstremna majhna teža, nizek elastični modul (okrog 9 MPa) in dinamičen modul (tipično 5,5 MPa), majhno navzemanje vode in velika izolativnost so najpomembnejše lastnosti EPS-a za izvedbo nasipov (Kunič, 2010, str. 1397).

Tip ekspaniranega polistirena - EPS				
opis zahteve	enota	EPS 100	EPS 150	EPS 200
tlačna napetost pri 10% deformaciji	kPa	> 100	> 150	> 200
tlačna napetost pri 2% deformaciji	kPa	> 20	> 30	> 40
dopustna enakomerna tlačna obremenitev na enoto površine pri 10% deformaciji	kg/m ²	2000	3000	4000
natezna trdnost	kPa	200	300	400
upogibna trdnost	kPa	150	200	300
strižna trdnost	kPa	120-150	120-150	190-220
nazivna volumska teža oziroma gostota	kg/m ³	> 20	> 25	> 30
koeficient toplotne prevodnosti (λ) pri 20°C	W/(mK)	< 0,037	< 0,034	< 0,034
koeficient difuzijskega upora prehoda vodne pare	μ	30 - 70	35 - 80	40 - 100
specifična toplotna kapaciteta	J/(kgK)	1260	1260	1260
modul elastičnosti (E) tlačni preskus	N/mm ²	4,40 - 5,40	4,40 - 540	7,40 - 9,00
razred gorljivosti po DIN 4102	-	B1 - težko vnetljivo / samougasljiv		
razred gorljivosti po EN 13501-1	-	E - težko vnetljivo / samougasljiv		
temperaturno območje uporabe	°C	od -200°C do +80°C		
kratkotrajna toplotna obstojnost	°C	100		
dolgotrajna toplotna obstojnost	°C	80		
dimenzijska obstojnost pri 70°C, 48 ^h	%	< 0,50		
linearni razteznostni koeficient (α)	10 ⁻⁵ .(1/K)	5,0 - 7,		
vpijanje vode	vol%	< 4	< 4	< 2
difuzni pretok vodne pare	mg / (Pa h m)	0,010 - 0,024	0,010 - 0,024	0,007 - 0,018

Preglednica 1: Kakovostne karakteristike ekspaniranega polistirena 1
(Kunič, 2010, str. 1397).

Tip ekspandiranega polistirena - EPS				
opis zahteve	enota	EPS 100	EPS 150	EPS 200
prehod iz elastičnega v plastično področje	% deformacije	0,6		1
največja dovoljena statična obremenitev	kPa	20		60
največja ciklična / občasna obremenitev	kPa	35		60
elastični modul	MPa	6,2		12,4
dinamični modul	MPa	-	min. 5,5	-
youngov modul	MPa	7,5		12

Preglednica 2: Kakovostne karakteristike ekspandiranega polistirena 2

(Kunič, 2010, str. 1397).

1.6 VPLIV NA OKOLJE IN ČLOVEKA

Zrak

Zaradi plina pentana je stiropor hitro vnetljiv, vendar pa imajo ob gorenju sproščeni plini relativno blag vpliv na okolje, medtem ko ima stisnjeni (ekstrudirani) polistiren XPS, ki je izdelan iz delno halogeniranega klorofluorogljikovodika (HCFC), 1000–krat večji vpliv na učinek tople grede kot sam ogljikov dioksid.

Voda

Je kemično nevtralen, netopen in v vodi ne oddaja snovi, s katerimi bi lahko onesnažil podtalnice. Po podatkih podjetja BASF se ga lahko popolnoma reciklira in pri tem porabi manj energije kot na primer pri recikliranju lesa, vendar se velik problem nahaja v njegovi velikosti oziroma količini, ki se letno proizvede in se po uporabi ne reciklira ali uniči primerno. Stiropor posledično konča na divjih odlagališčih in v morju, kjer v primeru zaužitja blokira prebavni trakt živali in zaradi izstradanja povzroči njihovo smrt.

Hrana

Veliko polemik se pojavlja glede stiropora in hrane. Obstajajo namreč namigovanja, da stiren migrira v hrano. Testni podatki ameriške agencije FDA (Food and Drug Administration) so pokazali, da je migracija stirena do polistirenih izdelkov majhna in je bistveno nižja (10.000-krat nižja) od varnostnih omejitev, ki jih je FDA postavila glede dovoljenega dnevnega vnosa.

Iz ameriške agencije FDA so zagotovili, da kljub stiku stirena s hrano skozi stiroporna pakiranja, razlogov za zaskrbljenost ni.

Zdravje

Desetletja, odkar se stiropor uporablja, ni znano, da bi le-ta kakorkoli škodoval zdravju. Stiren je naravno prisoten v okolju in hrani kot npr. v cimetu, govedini, fižolu, arašidih, pšenici, jagodah in breskvah. Stiren se tudi uporablja pri peki, zamrznjenih izdelkih, sladkarijah, želatinah, vinu, siru.

Zaužitje majhne količine stiropora za človeka ne predstavlja nevarnosti, saj se kemijsko nespremenjen izloči iz telesa (<http://www.lep-planet.si/kaj-lahko-recikliramo/embalaza/stiropor/>, 22.7.2012).

1.7 RECIKLIRANJE

Stiropor nosi simbolno oznako 6, zato spada v zabojnik za embalažo. Določena komunalna podjetja ga spravljajo v posebne zabojnike. Večje kose stiropora odložimo v zbirnih centrih.

Podjetja, specializirana za reciklažo stiropora, lahko le-tega reciklirajo na več načinov:

Taljenje

Stiropor razrežejo na majhne koščke in jih v naslednjem procesu izpostavijo vročini in pritisku, kjer se spremeni v osnovni stirenski polimer. Iz tega nato oblikujejo nov stiropor.

Sežig

Če polistiren, iz katerega je izdelan stiropor, pravilno sežgejo pri visoki temperaturi, se kot rezultat ustvarijo voda, ogljikov dioksid, mešanica hlapnih spojin in ogljikovih saj. Končna prostornina znaša 1% začetne, večina polistirena se pretvori v ogljikov dioksid, vodno paro in toploto.

Zaradi ogromne količine sproščene toplote, se le-ta včasih uporablja kot vir energije za proizvodnjo pare in elektrike.

VENDAR:

Te naprave so ogromen finančni zalogaj zaradi česar večina podjetij po svetu stiropor sežiga pri nižji temperaturi (okoli 800 °C - 900°C), kjer se sprošča več kot 90 različnih nevarnih plinov.

V primeru sežiganja stiropora doma ali zunaj se sproščajo zdravju in okolju nevarni plini kot so policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH), saje, ogljikov monoksid in stirenov monomer, zato, če le lahko, stiropor odložimo v primerne zabojnike ali v podjetjih specializiranih za reciklažo!

Brušenje

Z brušenjem uporabljenega stiropora pridobivajo mnoge druge izdelke, ki se kasneje uporabijo v gradbeništvu in tudi vrtnarstvu.

Zakop

Stiroporne izdelke lahko na odlagališčih tudi varno zakopljejo, saj je stiropor stabilen kot beton in ne škoduje zemlji ali zraku (<http://www.lep-planet.si/kaj-lahko-recikliramo/embalaza/stiropor/>, 22.7.2012).

2. EKSPANDIRANI POLISTIREN V GRADBENIŠTVU

1. Uporaba EPS v gospodarske in arhitekturne namene,
2. uporaba EPS pri gradnji prometnic,
3. uporaba EPS v konstrukcijskih in geotehničnih gradnjah.

2.1. UPORABA EPS V GOSPODARSKE IN ARHITEKTURNE NAMENE

Majhna teža stiropora je idealna lastnost pri uporabi le tega za različne gospodarske in arhitekturne namene. Stiropor je enostaven za uporabo, ker je sama namestitvev enostavna, skrajša se čas dela, posledično pa se čas montaže opazno zmanjša. Njegova tlačna trdnost zagotavlja potrebno stabilnost v kombinaciji z betonom ali drugimi elementi.

Lahko ga uporabljamo v različne namene:

- ❖ sedeži stadionov,
- ❖ gledališča,
- ❖ spremembe višin tal,
- ❖ zelene strehe,
- ❖ zaščita pred hrupom in vibracijami,
- ❖ zaščita pred zmrzaljo ...



Slika 5: Stadioni in gledališča

(<http://www.achfoam.com/>, 6.11.2012)



Slika 6: Gledališča

(<http://www.achfoam.com/>, 6.11.2012)



Slika 7: Bazeni

(<http://www.achfoam.com/>, 6.11.2012)



Slika 8: Zelene strehe

(<http://www.achfoam.com/>, 6.11.2012)



Slika 9: Spremembe višine tal

(<http://www.achfoam.com/>, 6.11.201

2.2 UPORABA STIROPORA PRI GRADNJI PROMETNIC

Prometni zastoji na cestah povzročajo veliko skrbi gradbenikom. Iz leta v leto se zastoji povečujejo tako kot se povečuje število vozil. Potovalne razmere na cestah in mostovih se slabšajo. Za pomoč pri lajšanju te vse večje preobremenjenosti je treba povečati zmogljivosti na cestah. V mnogih primerih pa se lahko že obstoječe ceste razširijo z nasipi, vkopi, ... v nekaterih je treba nove trase zgraditi na mehkih ali zelo mehkih temeljnih tleh, ki ne morejo podpirati povečane obremenitve tal. V takih primerih, ki zahtevajo takšno vrsto posega, se moramo zateči k uporabi inovativnih materialov, ki s svojo majhno težo zmanjšajo vertikalne obremenitve na osnovna temeljna tla.

V ta namen nam v veliko pomoč pride uporaba EPS, ki zaradi svojih lastnosti, med drugim ekstremno majhne teže v primerjavi s tlačno trdnostjo, zmanjša vertikalne obremenitve na osnovna tla (<http://www.achfoam.com/>, 28.7.2012).

Prva uporaba EPS v transportne namene se je začela leta 1972 na Norveškem. Takrat je EPS bil uporabljen za dvigovanje linije zmrzali, s pomočjo katerega so zmanjšali vplive ciklusa zmrzovanje-odtajanje na poškodbe voziščne konstrukcije. Istega leta so na Norveškem cestni organi sprejeli EPS kot lahki polnilni material za cestne nasipe (<http://www.achfoam.com/>, 28.7.2012).

V ta namen (zmanjšanje vertikalne obremenitve na nosilna tla), je bil v Sloveniji poleti leta 1982 na območju sedanje industrijske cone Rudnik zgrajen poskusni nasip iz stiropora in lendopora. Med in po končani gradnji so bile na nasipu in v laboratorijih izvršene številne meritve in preiskave, ki so pokazale, da je domače zelo lahke materiale mogoče uspešno uporabiti pri gradnji cestnih nasipov in to pri novogradnjah in rekonstrukcijah cest (Prah, Di Batista, Vilhar, 1984, str.1).

EPS v prometne namene lahko uporabljamo pri gradnji:

- ❖ cest,
- ❖ avtocest,
- ❖ železnic,

- ❖ vzletno-pristajalnih stez,
- ❖ priključnih nasipov k premostitvenim objektom,
- ❖ podpornih zidov.

Primeri uporabe:



Slika 10: Izvedba nasipa iz ekspaniranega polistirena 1
(<http://www.achfoam.com/>, 28.7.2012)



Slika 11: Izvedba nasipa iz ekspaniranega polistirena 2
(<http://www.achfoam.com/>, 28.7.2012)



Slika 12: Izvedba nasipa iz ekspaniranega polistirena za potrebe železniškega prometa
(<http://www.achfoam.com/>, 28.7.2012)



Slika 13: Izvedba priključnega nasipa k premostitvenem objektu
(<http://www.achfoam.com/>, 28.7.2012)

2.3 EPS V GEOTEHNIČNIH GRADNJAH

Slabo ali izredno slabo nosilna tla lahko utrdimo na različne načine: z zamenjavo zemljine, obtežitvijo zemljine s predobtežbami, izvedbo temeljenja na pilotih ali pa uporabimo izredno učinkovito in hitro izvedbo temeljenja s pomočjo polistirenskih blokov. Obstaja več razlogov zaradi katerih bi bila tako tehnično, kakovostno in ekonomsko upravičena uporaba ekspaniranega polistirena – EPS, poznanega tudi pod imenom STIROPOR, za namene temeljenja na slabo nosilnih zemljinah pod cestami, železnicami, zelenimi urbanimi področji, za zapolnitev ob opornih zidovih, nasipih, brežinah in pod dovoznimi rampami. Poleg hitrejše in cenejše izvedbe so dodatne vzpodbude že več kot 45-letne izkušnje v Skandinaviji, Nemčiji, Kanadi, na Japonskem in Nizozemskem in, kar je še toliko bolj pomembno, tudi že več kot 25 let od uspešne uporabe v Sloveniji. Tehnične prednosti so predvsem v teži (več kot 40-krat manjši od običajnih materialov namenjenih nasipom), izredni nosilnosti, zaščiti pred zmrzaljo, dolgi življenjski dobi, odpornosti na gnitje in razpadanje ter splošno degradacijo. Ekonomičnost se izkaže v izredno hitri gradnji in cenejših transportih, v enostavnem razstavljanju STIROPORNIH blokov in predvsem v možnosti recikliranja, saj je EPS iz enega samega polimera, brez dodanih veziv in ga zlahka v celoti recikliramo ali na novo uporabimo (Kunič, 2010, str. 1394).

Tradicionalni zemeljski materiali so težki in lahko povzročijo posedanje, nestabilnost in prevelike pritiske v zemljini. Drugi polnilni materiali, kot so penasti betoni, odpadne pnevmatike, lesni odpadki, lesna vlakna, itd. imajo višje gostote in niso zasnovani za to področje uporabe. Ravno tako obstajajo omejitve pri ravnanju s temi materiali, ker so občutljivi na vremenske razmere. Poleg tega uporaba teh materialov zahteva postopno gradnjo in predobremenitve, preobremenitve, sušenje, ...

Stiropor v geotehničnih gradnjah uporabljamo v različne namene. Najbolj razširjeno področje uporabe stiropora v geotehniko je izdelava nasipov.

2.4 PODROČJA UPORABE STIROPORA PRI GEOTEHNIČKIH GRADNJAH

Pomembna lastnost uporabe stiropora pri geotehničnih gradnjah je v tem, da se zmanjšajo vertikalni in bočni pritiski, kar je zlasti pomembno pri gradnjah na stisljivih in malo nosilnih tleh. Njegova prednost je tudi v tem, da je preprost za namestitev, ne potrebuje preobremenitve in je stroškovno inženirsko učinkovita rešitev.

Gradnja cestnih nasipov in drugih geotehničnih objektov na mehkih temeljnih tleh, kot so šote, gline in melji predstavljajo velik problem. Dva glavna pristopa za obvladovanje tega problema sta izboljšanje mehanske lastnosti temeljnih tal, kot so na primer strižna trdnost in stisljivost temeljnih tal ali zmanjšanje teže nasipa in s tem posledično problema prekomerne obremenitve temeljnih tal.

EPS pri geotehnični gradnjah uporabljamo v naslednjih primerih:

- ❖ zmanjšanje posedanja,
- ❖ **gradnja podpornih konstrukcij,**
- ❖ **stabilizacija plazov,**
- ❖ **gradnja nasipov na nestabilnih tleh,**
- ❖ **gradnja priključnih nasipov k premostitvenim objektom,**
- ❖ zaščita pred zmrzovanjem,
- ❖ predorski projekti in razni podvozi (<http://www.benchmarkfoam.com/>, 1.8.2012).

**Številne prednosti uporabe ekspandiranega polistirena v nasipih in temeljenju
(Kunič Roman, 2010, str. 1396):**

- ❖ manjša obtežba, razbremenitve in veliko znižanje lastne teže, pri velikih višinah nasipov so razlike v obtežbi (lastni teži) lahko izredno velike (tudi več kot 16 kN za vsak dodatni višinski meter nasipa),
- ❖ v večini primerov pomeni uporaba EPS-a tudi znižanje stroškov, saj lahko zmanjšamo dolžine viaduktov, nadomestimo viadukte z lahкими nasipi in tudi skrajšamo čas izvedbe,
- ❖ EPS nudi bolj enakomerno porazdelitev obtežbe na slabo nosilnih tleh,
- ❖ pod nasipom zaradi toplotnoizolacijskih lastnosti STIROPORA ni nevarnosti zmrzali,
- ❖ zaprta celična struktura zagotavlja majhno vodonavzemanje vode, medtem ko v medcelični prostor slabo zvarjenih celic STIROPORA manjše gostote voda zlahka najde prost vstop,
- ❖ tako zgrajeni nasipi ne potrebujejo vzdrževanja,
- ❖ za razliko od sipkih materialov v nasipu so nagibi bočnih stranic nasipov s pomočjo EPS-a bolj strmi, s čimer v veliki meri privarčujemo na širini potrebne trase in s tem tudi na površini zemljišč,
- ❖ ker ni sipek material ne povzroča horizontalnih sil na podpornike in zidove,
- ❖ STIROPOR je odporen na zmrzal in nizke temperature,
- ❖ odporen je na gnitje,
- ❖ ekološka neoporečnost, ugoden izkaz stroškov v življenjskem ciklusu (LCC – stroški v življenjskem ciklusu),
- ❖ ni onesnaževanja podtalnice,
- ❖ v primeru cest in še bolj železnic, služi nasip iz EPS-a tudi kot izredno dober dušilec zvoka, tresljajev in vibracij,
- ❖ dušenje pri potresu, tako amplitude nihanja kot tudi pospeškov.

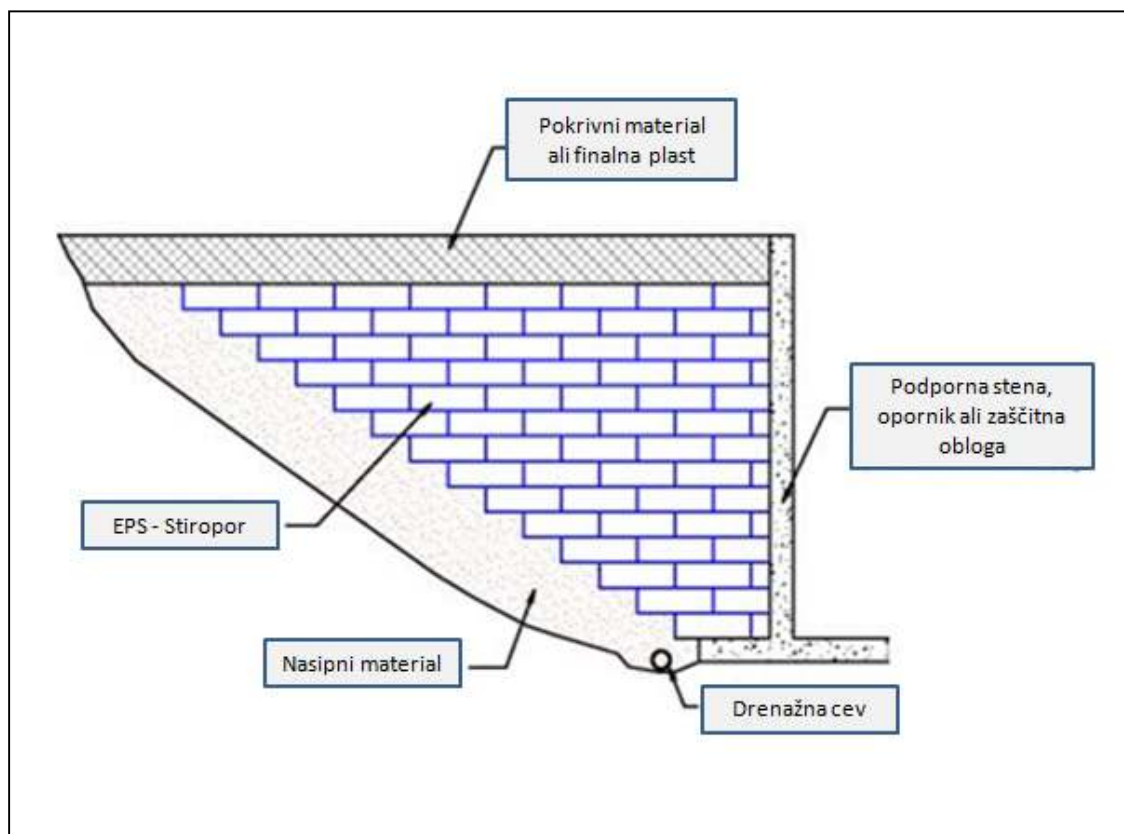
Slabosti in možne težave lahko strnemo v sledeče:

- ❖ zaradi izredno majhne teže obstaja nevarnost vzgona ob potopitvi ali poplavljanju, posebej še v času vgradnje,
- ❖ cestišče se obnaša podobno kot na področjih premostitvenih objektov (mostovi, nadvozi, viadukti, odprta parkirišča), površina se lahko hitro segreje in tudi hitro ohladi, kar povečuje nevarnosti zmrzali in poledice,
- ❖ neodpornost na ogenj, ob prisotnosti plamena se topi, vendar je samougasljiv. Nevarnost je strnjena v prvi vrsti na čas skladiščenja in transporta. Po vgradnji je močno zmanjšan vpliv slabše odpornosti na ogenj, saj je zaradi dobre zaščite in omejenega dostopa kisika pojav in vzdrževanje plamena onemogočeno, ker je STIROPOR organskega izvora, je neodporen na mnoga organska topila, olja, nafto, bencin in druge naftne derivate (Kunič, 2010, str. 1396).

2.4.1 GRADNJA PODPORNIH KONSTRUKCIJ

Vgradnja ekspandiranega polistirena pri gradnji podpornih konstrukcij lahko ponudi številne prednosti kot so:

- ❖ zmanjšanje bočnih pritiskov,
- ❖ zmanjšanje posedkov,
- ❖ zmanjšanje prepustnosti,
- ❖ boljša toplotna izolacija,
- ❖ toplotna izolacija temeljev.



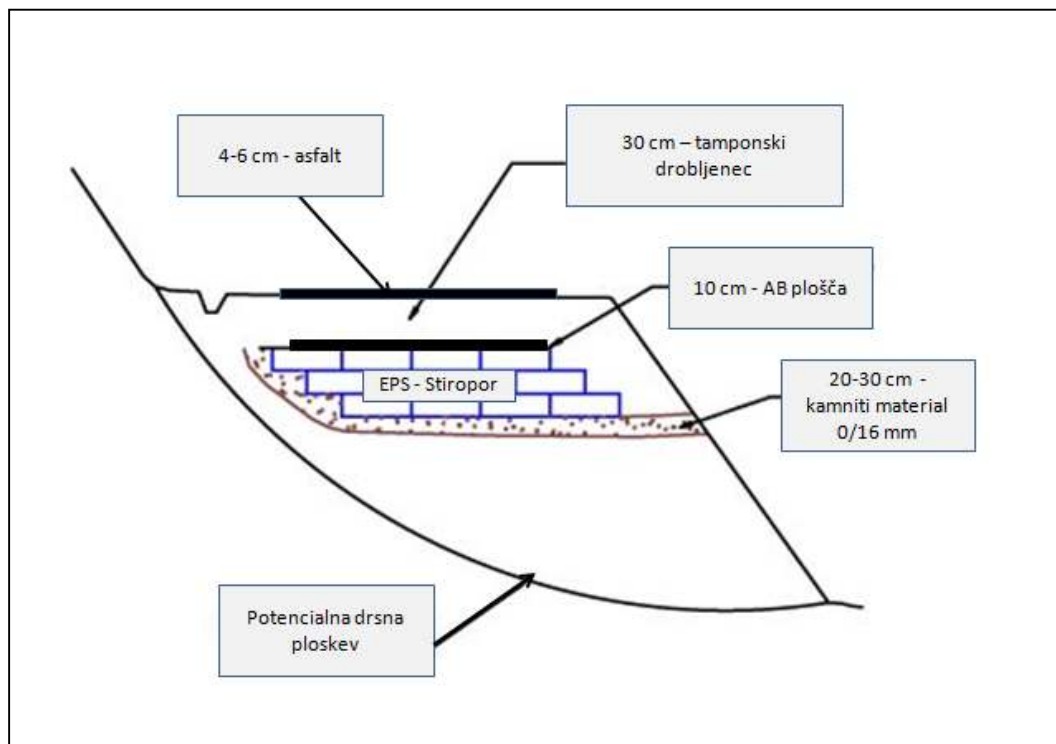
Slika 14: Primer nasutja EPS za podporno konstrukcijo
(http://geof foam.syr.edu/GRC_back.asp , 16.10.2012)

Glavna ideja uporabe stiropora pri gradnji podpornih konstrukcij je nadomestiti čim več nasipnega materiala, ki deluje kot aktivni zemeljski pritisk, z lahkim nasipnim materialom kot je stiropor. Ker je gostota stiropora nizka, od 10 do 30 kg/m³, so vertikalni pritiski, ki se razvijejo za podpornim zidom v primerjavi s klasičnim nasipnim materialom, zelo nizki. To pomeni manjše posedke in počasnejše posedanje.

Zaradi izredno majhne teže mora biti prehodna cona med stiroporom in zemljino drenirana. Potrebno je zagotoviti ustrezno stransko odvajanje vode, da se prepreči razvoj hidrostatskih tlakov in vzgona. V končni fazi izgradnje je potrebno zaradi zavarovanja podporne konstrukcije izgraditi pokrov, ki je lahko iz klasičnega nasipnega materiala ali pa kot klasična armiranobetonska plošča (http://geof foam.syr.edu/GRC_back.asp , 16.10.2012).

2.4.2 STABILIZACIJA PLAZOV

Geotehnični inženirji se že vrsto let zavedajo prednosti uporabe ekspaniranega polistirena. Prednost uporabe EPS se kaže predvsem v zmanjšanju mase in s tem povezanimi zemeljskimi pritiski v zemljini.



Slika 15: Primer sanacije plazov z uporabo EPS
(http://geofoam.syr.edu/GRC_Slope.asp, 2.11.2012)

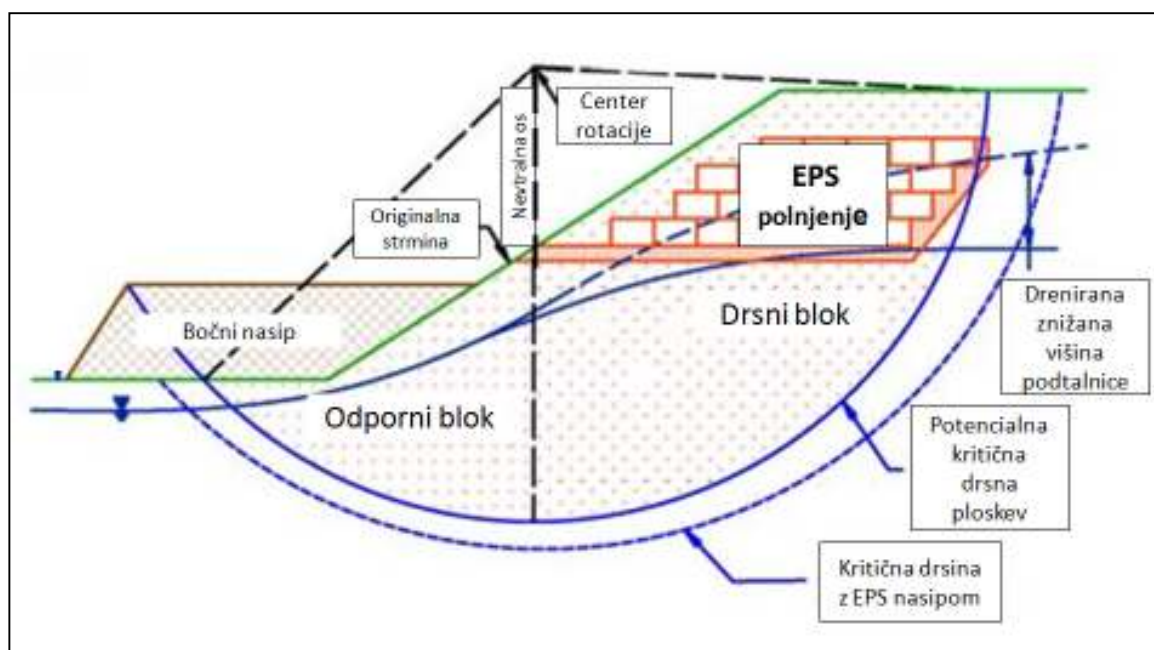
Ugodnosti za uporabo EPS-a za stabilizacijo plazov lahko vključujejo:

- ❖ zmanjšanje celotne teže materiala nad potencialno drsno ploskvijo,
- ❖ povečanje faktorja varnosti proti zdrsu,
- ❖ hitrejša in bolj čista izvedba sanacije.

Za izboljšanje varnostnega faktorja proti zdrsu pri sanaciji plazov lahko pristopimo na različne načine. Konceptualna shema stabilizacije plazov z uporabo EPS je prikazana

spodaj. Osnovna ideja je v tem, da je treba vzpostaviti ravnotežje med drsnim in odpornostnim delom znotraj potencialne drsne mase. Potencialni drsni blok je razdeljen na zgornji in spodnji del. Zgornji del povzroča drsenje in nestabilnost in se imenuje aktivni del. Spodnji del drsnega bloka prispeva k povečanju odpornosti ali stabilnosti in se imenuje odpornostni ali pasivni del drsnega bloka.

Za povečanje odpornosti in stabilnosti lahko znižujemo višino podtalnice, zamenjamo material (predvsem zgornji del drsnega bloka) ali odpornost povečamo z izdelavo bočnih nasipov, ali podpornih konstrukcij, ki so po potrebi lahko sidrane.



Slika 16: Primeri možnih izvedb za stabilizacijo in sanacijo plazu

(http://geofom.syr.edu/GRC_Slope.asp, 2.11.2012)

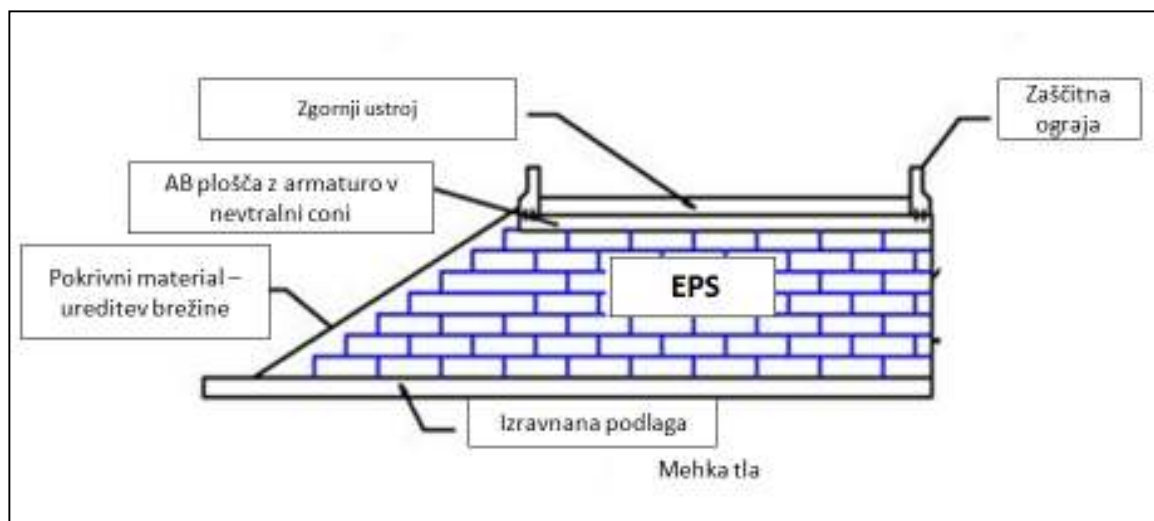
Prostorninska teža EPS je 50 – 100 krat manjša od klasičnega nasipnega materiala. Sprejemljivo izboljšanje varnostnega faktorja je mogoče doseči z izkopom tal in nadomeščanjem z EPS nasipom na aktivnem delu. Takšno izboljšanje se lahko izvede, ne da bi spremenili geometrijo v zgornjem delu pobočja. Pod EPS nasipom se izvede drenažna plast iz dobro prepustnih materialov, znotraj EPS nasipa se položijo drenažne cevi (slika 17), s pomočjo katerih se drenira podtalnica in preprečuje nevarnost proti vzgonu ob poplavljanju (http://geofom.syr.edu/GRC_Slope.asp, 2.11.2012)



Slika 17: Postavitev drenažnih cevi za preprečitev dviga nasipa zaradi vzgona

2.4.3 GRADNJA NASIPOV NA NESTABILNIH TLEH

Konceptualna shema uporabe EPS pri gradnji nasipov je prikazana na sliki 18. Na slabo nosilna tla se uredi delovni plato iz gramoznega materiala debeline 20-30 cm premera zrn 0-16 mm na predhodno položeno geotekstilijo. Zaradi slabše nosilnosti temeljnih tal se običajno izvede ročno, ali z zelo lahko mehanizacijo. Delovni plato se mora izvesti kolikor se da ravno, zaradi čim boljšega stika EPS blokov. Lahko se izvede tudi v naklonu, ki je enak naklonu voziščne konstrukcije, da se izognemo izvedbi različne debeline AB plošče. EPS bloke se med seboj spoji s pomočjo krempljastih plošč (slika 19), s pomočjo točkovnega lepljenja z bitumnom ali z medsebojno povezavo blokov s horizontalnimi vezmi iz armaturnih palic.

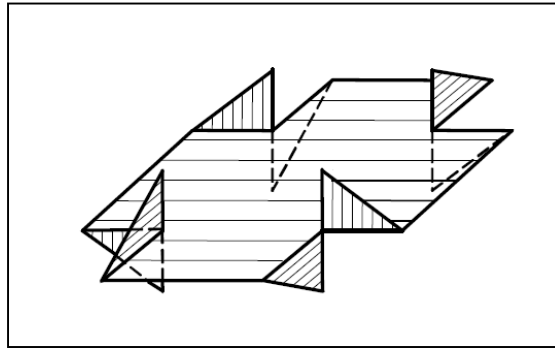


Slika 18: Primer uporabe EPS pri gradnji nasipov na slabo nosilnih tleh
(http://geofoam.syr.edu/GRC_embnk.asp, 6.11.2012)

Na tako položene EPS bloke se izvede AB plošča z armaturo v nevtralni coni debeline 10-15 cm, ki je dilatirana v vzdolžni smeri na vsakih 10 m in služi za enakomerno porazdelitev obtežbe. Če AB plošče ne bi vgradili, bi bilo potrebno zgornji ustroj narediti bistveno debelejši, da bi dosegli ustrezno nosilnost in nepodajnost vozišča (http://geofoam.syr.edu/GRC_embnk.asp, 6.11.2012).



Slika 19: Primer izvedbe krempljaste plošče za povezovanje EPS blokov
(<http://www.foam-control.com/default.asp>, 2.11.2012)



Slika 20: Primer izvedbe krempljaste plošče za povezovanje EPS blokov
- horizontalna smer, jeklena pločevina 330 x 330 x 0,6 (0,8) mm, kot je bil uporabljen pri izgradnji poskusnega nasipa na Rudniku pri Ljubljani (Oblakt, 2006, str. 157).

2.4.4 GRADNJA PRIKLJUČNIH NASIPOV K PREMOSITVENIM OBJEKTOM

Pri gradnji premostitvenih objektov (mostov, podvozov, nadvozov, viaduktov) se velikokrat zgodi, da moramo ob krajnih opornikih premostitvenih objektov zgraditi zelo visoke priključne nasipe. Še večji izziv predstavlja gradnja priključnih nasipov na zelo mehkih temeljnih tleh, če so temelji premostitvenih objektov zgrajeni na pilotih. Obstaja več možnih rešitev gradnje priključnih nasipov. Ena od rešitev je gradnja priključnih nasipov iz EPS blokov (slika 21).



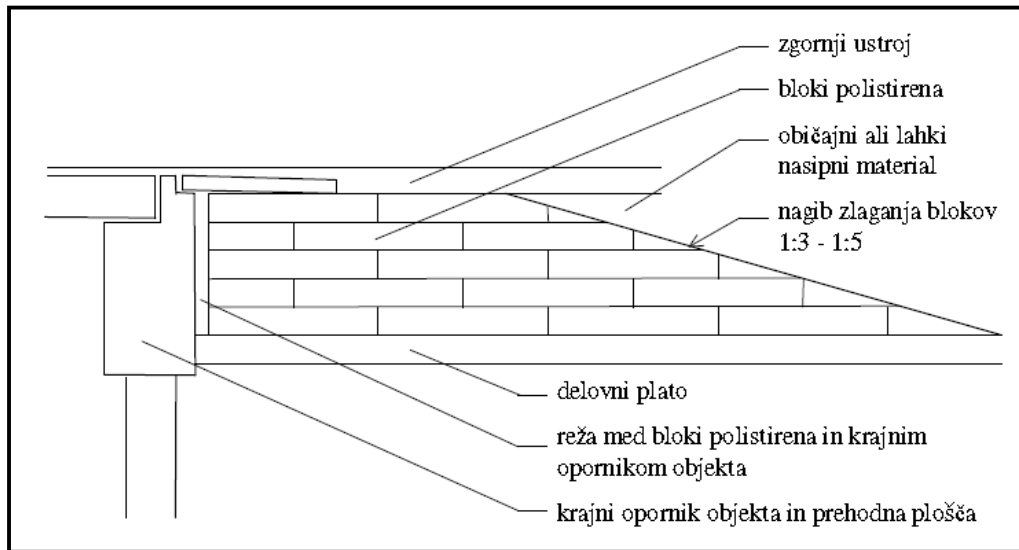
Slika 21: Gradnja priključnega nasipa k premostitvenemu objektu 1
(<http://www.achfoam.com/media/docs/Projects/Cottonwood%20Street.pdf>, 2.11.2012)



Slika 22: Gradnja priključnega nasipa k premostitvenemu objektu 2
(<http://www.achfoam.com/media/docs/Projects/Cottonwood%20Street.pdf>, 2.11.2012)

Pri gradnji priključnih nasipov na premostitvene objekte se bloki zelo lahkega materiala ne zložijo do krajnega opornika objekta, ampak se vmes pusti nekaj centimetrov široko režo, ki se jo premosti s prehodno ploščo. Tako na krajni opornik premostitvenega objekta ne delujejo nobeni zemeljski pritiski. Prehod iz zelo lahkega nasipnega materiala

v običajni nasipni material v vzdolžni smeri se izvede v naklonu 1:5, kot je razvidno s slike 23 (Oblak, 2006, str. 158).



Slika 23: Vzdolžni prerez priključnega nasipa k premostitvenemu objektu
(Oblak, 2006, str. 158).

II EMPIRIČNI DEL

3. OPREDELITEV PROBLEMA

Zaradi vse hitrejšega tempa gradnje in kratkih rokov izvedbe projekta se na slabo nosilnih tleh lahko pojavijo porušitve temeljnih tal. Pri tem je treba premisliti ali se pri tako hitrih gradnjah in slabo nosilnih tleh lahko zanesemo na drugačen način gradnje. V geotehniko je znano, da lahko na različne načine zagotovimo stabilnost nekega nasipa ali pobočja. Poleg vseh teh načinov je ena od možnosti uporaba lahkih materialov za nasipe kot je na primer ekspanirani polistiren.

Kako lahko klasičen nasipni material nadomestimo z lahkimi bloki ekspaniranega polistirena in dobimo ustrezno nosilen nasip? Ali je uporaba ekspaniranega polistirena pri geotehničnih gradnjah ekonomsko upravičena? Ali s hitrejšo gradnjo lahko privarčujemo na celotnem projektu? To so samo nekatera vprašanja, ki sem si jih zastavljal na začetku pisanja diplome. Zato sem se odločil odgovoriti nanje.

4. CILJI IN HIPOTEZE

Glede na raziskovalni problem sem postavil naslednje cilje:

PRIMER I:

- ❖ Ugotoviti, ali lahko zagotovimo stabilnost plazuz z uporabo ekspandiranega polistirena kot lahkega nasipnega materiala v primerih, ko imamo nizko in visoko podtalno vodo.
- ❖ Primerjati, kako na časovni potek sanacije plazuz vpliva uporaba ekspandiranega polistirena glede na klasičen nasipni material.
- ❖ Raziskati, ali je uporaba ekspandiranega polistirena pri tovrstni gradnji ekonomsko upravičena.

PRIMER II:

- ❖ Z uporabo ekspandiranega polistirena preveriti stabilnost cestnega nasipa in pobočja nad njim v primerjavi z že narejenim cestnim nasipom.

Skladno s postavljenimi cilji sem opredelil naslednje hipoteze:

PRIMER I:

- ❖ **H1** Z uporabo ekspandiranega polistirena zagotovimo stabilnost plazuz v primeru nizke vode.
- ❖ **H2** Z uporabo ekspandiranega polistirena zagotovimo stabilnost plazuz v primeru visoke vode, ki se pod cestnim nasipom drenira na nivo visoke vode.
- ❖ **H3** Z uporabo ekspandiranega polistirena zagotovimo stabilnost plazuz v primeru visoke vode, ki se pod cestnim nasipom drenira na nivo nizke vode.
- ❖ **H4** Uporaba EPS je pri sanaciji plazuz ekonomsko upravičena.
- ❖ **H5** Hitrost sanacije plazuz se z uporabo EPS v primerjavi s klasičnim nasipnim materialom, poveča.

PRIMER II:

- ❖ **H6** Cestni nasip in pobočje sta v primeru uporabe EPS stabilna.

5. METODE DELA

V geotehniko se za izračun stabilnosti lahko uporabljajo različne metode dela. Najbolj razširjena metoda je metoda končnih elementov (MKE). V tej diplomski nalogi sem za izračun stabilnosti uporabil program SLIDE 6.0, ker sem se s tem programom že srečal tekom študija.

V diplomski nalogi bom obravnaval dva primera pri katerih se lahko ekspanirani polistiren uporablja kot lahki nasipni material.

5.1 OPIS PRVEGA PRIMERA

V prvem primeru bom obravnaval sanacijo plazu PRAPRETNO, ki je poškodoval lokalno cesto Novi dom - Prapretno v naselju Prapretno v občini Hrastnik.



Slika 24: Poškodovana cesta pred sanacijo
(Marodi, 2011, str. 3)

5.1.1 IZVEDENI SANACIJSKI UKREPI

Glede na ugotovljeno sestavo tal in konfiguracijo terena se je cesta sanirala z izvedbo pilotne stene pod cesto. Ker je bilo tudi pobočje nad cesto nestabilno, pilotna stena ne bi stabilizirala drsin z izrivom ob vznožju cestnega vkopa, zato se je brežina zavarovala z oporno kamnito zložbo (Marodi, 2011, str. 11).

Dolžina pilotne stene na zunanji strani ceste je 80 m. Izvedlo se je 19 pilotov, katerih dolžina je znašala 9 m, premer 1m, v trdno podlago pa so se zvrtili približno 5 m. Izvedeni so bili v razmaku 3 m ter na vrhu povezani z AB gredo. Pred pilotno steno se je

izvedla vzdolžna drenaža z dnom v prepereli laporasti glini in iztokom v obstoječo kanalizacijo (Marodi, 2011, str. 11).



Slika 25: Pilotna stena
(Marodi, 2011, str. 12).

Pilotna stena nima povsem ravne oblike, tako v vertikalni kot v horizontalni smeri (Slika 25 in Slika 26). V horizontalni smeri se os vzdolž konstrukcije dvakrat lomi, z namenom prilagajanja liniji terena. V vertikalni smeri pa je sredinski del konstrukcije nekoliko nižji, saj je na tem mestu urejen iztok v obstoječo kanalizacijo iz novozgrajene drenaže pred pilotno steno (Marodi, 2011, str. 12).

Kamnita zložba na vkopni strani je dolga 60 m. Temeljenje zložbe ni bilo možno v trdni podlagi, zato se jo je temeljilo vsaj 2 m pod niveleto ceste v težko gnetni peščeni glini. V dnu temelja zložbe se je izvedla drenaža, ki bo preprečevala dvig vodostaja v pobočju nad cesto. Z izvedbo drenaže naj bi se tudi izboljšale geotehnične karakteristike peščene gline in s tem povečala stabilnost plitvejših drsin v pobočju nad cesto. Brežina nad kamnito zložbo se je uredila v blagem naklonu – 1 :2 (Marodi, 2011, str. 13).



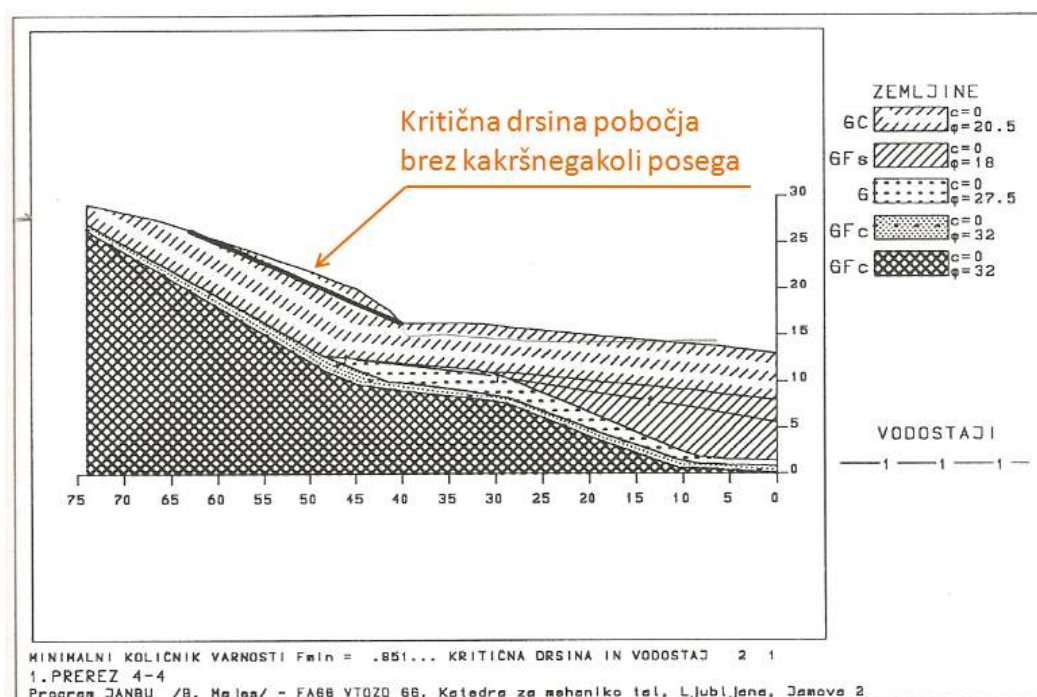
Slika 26: Kamnita zložba
(Marodi, 2011, str. 13).

5.2 OPIS DRUGEGA PRIMERA

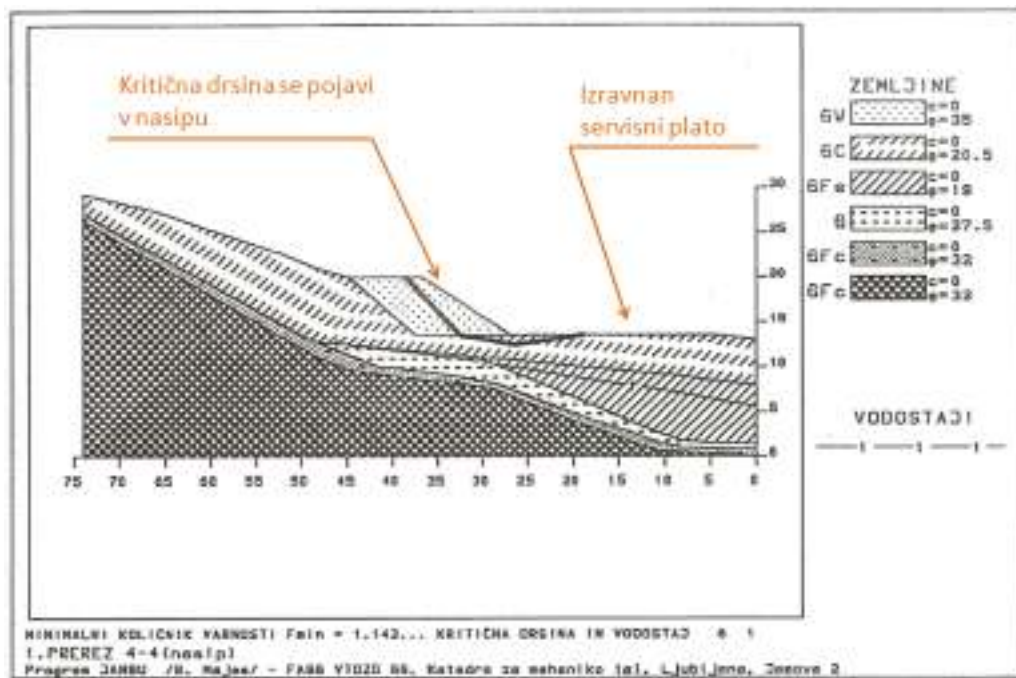
Drugi primer obravnava izvedbo cestnega nasipa za lokalno cesto v Radečah, kjer se je morala zaradi gradnje bencinskega servisa os ceste premakniti proti strmejšem delu pobočja na projektiran nasip. Zaradi splošne nestabilnosti pobočja je bilo potrebno zagotoviti stabilnost servisnega platoja, ki leži delno v vkopu in tudi cestnega nasipa, ki se v zgornjem delu naslanja na nestabilno pobočje v spodnjem pa na servisni plato. Kot sem že omenil je pobočje nad servisnim platojem na meji stabilnosti že brez kakršnegakoli gradbenega posega vanj.

Glede na razpoložljivo literaturo v nadaljevanju podajam izračun stabilnosti za tri značilne geološke prereze osnovnega stanja.

Prvi profil: PROFIL 4

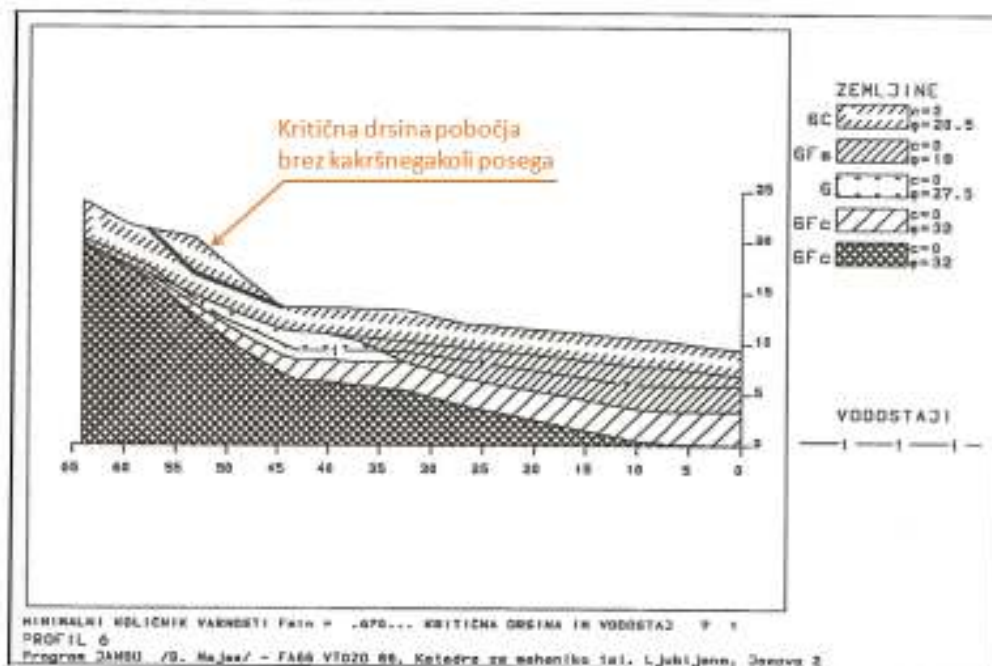


Slika 27: Profil 4: Kritična drsina v pobočju
(Vojinovič, 1994, str. 39)

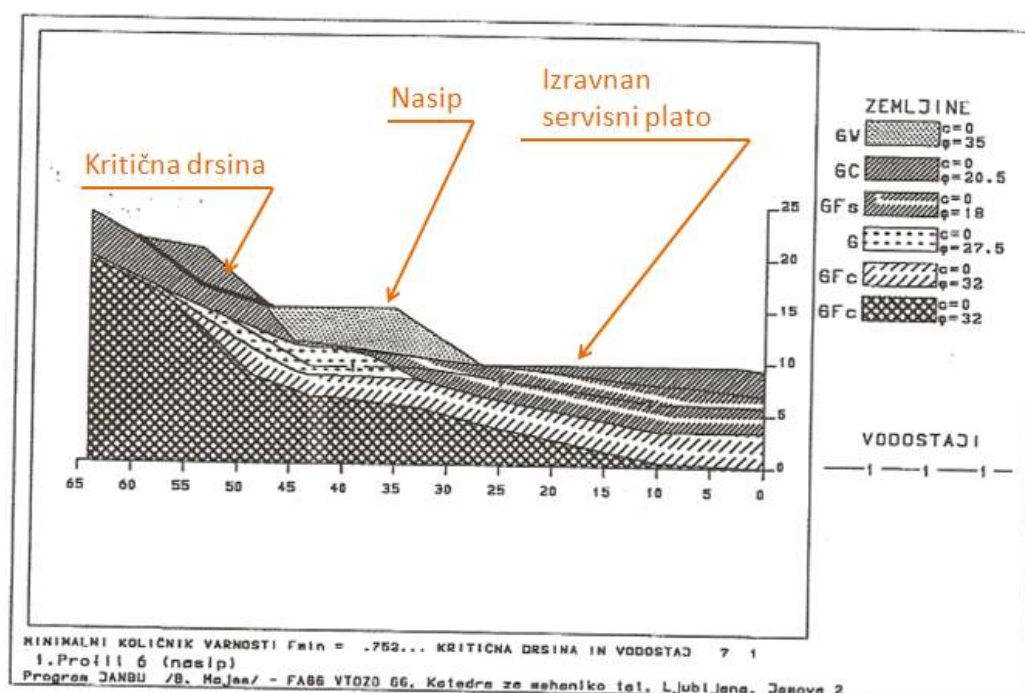


Slika 28: Profil 4: Kritična drsina v nasipu
1 (Vojinovič, 1994, str. 41)

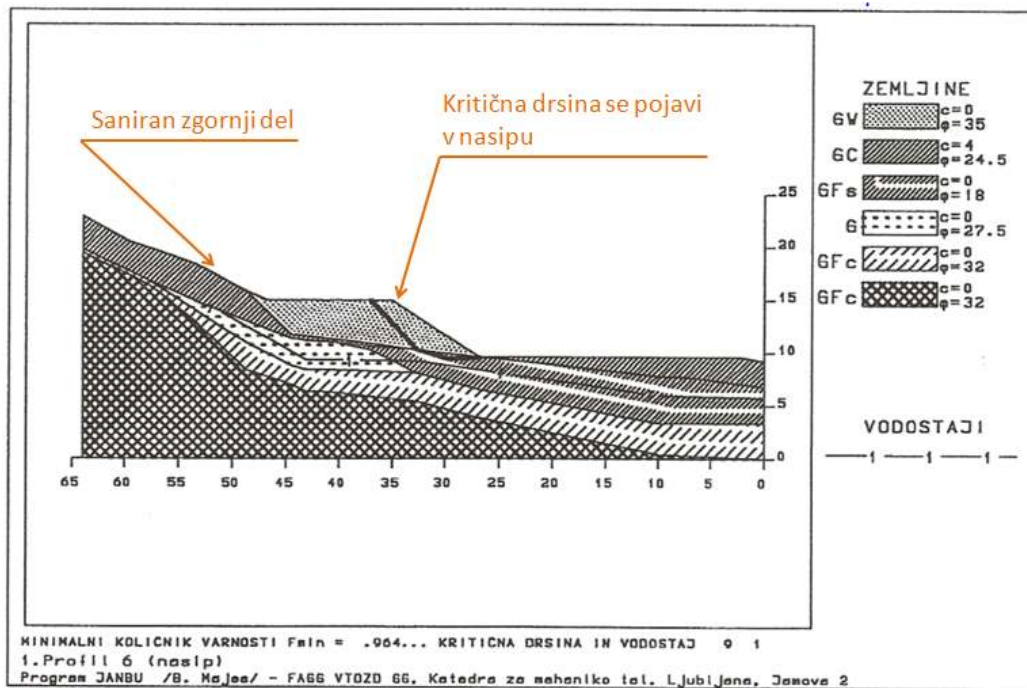
Drugi profil: PROFIL 6



Slika 29: Profil 6: Kritična drsina v pobočju
(Vojinovič, 1994, str. 45)

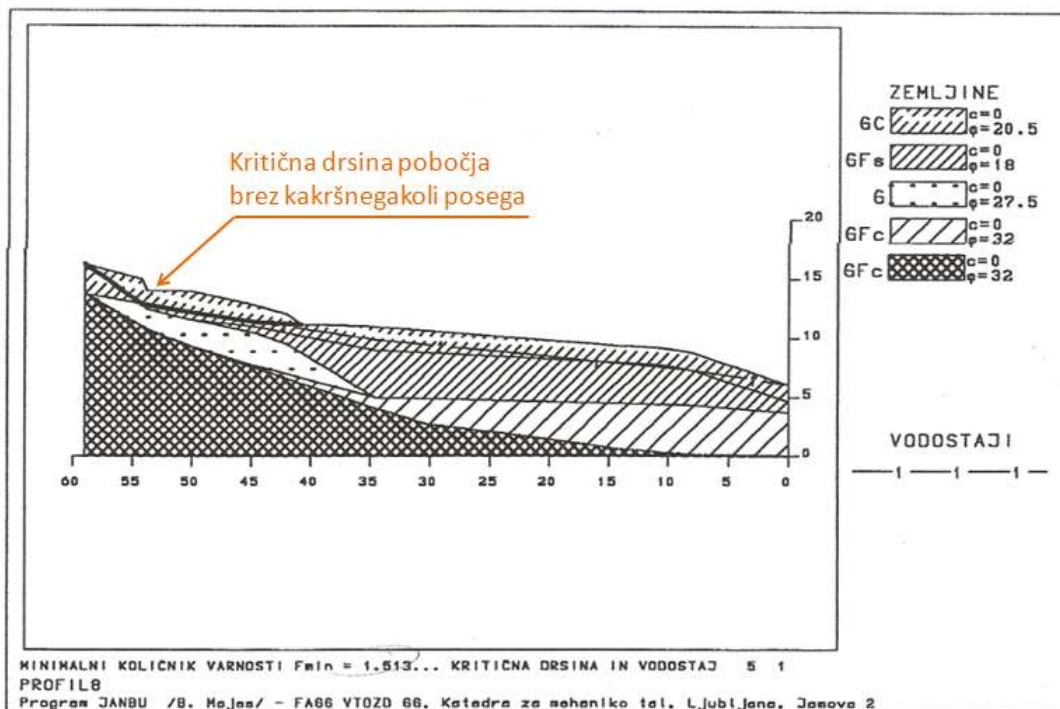


Slika 30: Profil 6: Kritična drsina je še zmeraj v pobočju, kljub temu, da smo naredili nasip in izravnali servisni plato
(Vojinovič, 1994, str. 47)

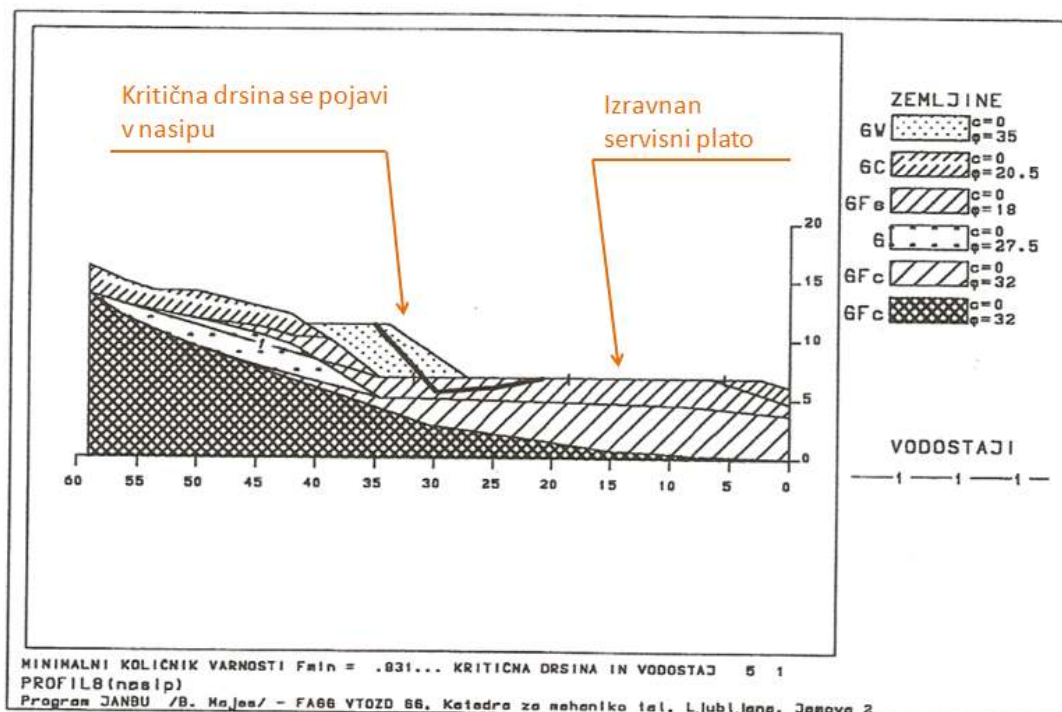


Slika 31: Profil 6: Kritična drsina v nasipu po sanaciji zgornjega dela
(Vojinovič, 1994, str. 51)

Tretji profil: PROFIL 8



Slika 32: Profil 8: Kritična drsina v pobočju
(Vojinovič, 1994, str. 55)



Slika 33: Profil 8: Kritična drsina v nasipu
(Vojinovič, 1994, str. 57)

5.2.1 PREDLAGAN NAČIN STABILIZACIJE

	PROFIL 4	PROFIL 6	PROFIL 8
Konzolna pilotna stena	16,83	17,24	16,97
Sidrana pilotna stena	8,17	6,44	6,84

Preglednica 3: Primerjava predlaganih načinov stabilizacije v karakterističnih profilih

(Vojinovič, 1994, str. 35)

Predlagana je bila izvedba enkrat sidrane pilotne stene, katere izvedba je sicer bolj zahtevna, toda dolžina pilotov pri konzolni pilotni steni (glej zgornjo tabelo), je po izračunu globin v profilu 4 daljša za 106 % ali 8,66 m, v profilu 6 so piloti daljši za 168 % ali 10,80 m in v profilu 8 za 148 % ali 10,13 m (Vojinovič, 1994, str. 35).

Dodatno predlagamo še stabilizacijo pobočja v profilu 6, ker pilotna stena ne vpliva na zgornji del pobočja. Predlagamo stabilizacijo zgornjega dela pobočja na naslednji način: od stika nasipa s pobočjem navzgor odziv zemljine približno vzporedno s pobočnico do maksimalne globine 1,8 metra ter ureditev brežine. Sanirano pobočje je potrebno po ureditvi naknadno površinsko zaščititi proti eroziji (zatraviti). Pri analizi stabilnosti saniranega stanja se je pokazalo, da bi tak poseg v profilu 6 zagotavljal stabilnost pobočja na tem delu (Vojinovič, 1994, str. 36).

5.3 OPIS POSTOPKA

Na podlagi že narejenih diplomskih nalog »Analiza in sanacija plazu Prapretno« (Marodi, 2011) in »Stabilizacija servisnega platoja v Radečah« (Vojinovič, 1994) bom primerjal, kako na ta dva primera vpliva uporaba ekspandiranega polistirena.

V nadaljevanju naloge bom podal izračune stabilnosti plazu in pobočja z nasipom z uporabo ekspandiranega polistirena kot lahkega nasipnega materiala. Obenem bom skušal

izračunati, ali je tak tip gradnje ekonomsko upravičen in kako vpliva na samo hitrost izvedbe.

Kot sem že omenil, bom stabilnostne analize izračunal s programom Slide 6.0.

5.4 OBDELAVA PODATKOV

V diplomskem delu bom izhajal iz že obstoječih podatkov, ki so uporabljeni v zgoraj omenjenih diplomskih nalogah. Na podlagi dobljenih rezultatov stabilnostnih analiz bom izvedel primerjavo in rezultate prikazal v tabelah.

Na podlagi dobljenih dejanskih stroškov in časovne komponente bom primerjal ekonomsko komponento, časovno pa bom skušal oceniti.

Analiza sanacije plazu Prapretno je razdeljena na dva dela.

- VARIANTA 1: NIZEK VODOSTAJ IN SLABŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE;
- VARIANTA 2: VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE.

Razlog za to je, da je s preizkusi na terenu bilo določeno približno območje, znotraj katerega se nahajajo trdnostne karakteristike obravnavanih slojev. Hkrati je bil s preiskavami ugotovljen precej nizek vodostaj. Zato je v varianti 1 kot vzrok za splazitev predpostavljen nizek vodostaj, ki je ustrezal ugotovljenemu stanju na terenu.

Terenske preiskave, pri katerih je bil vodostaj izmerjen, so bile izvedene v sušnem obdobju. Posledično je bolj verjetno, da je bil ob splazitvi vodostaj bistveno višji. Zato je v drugem primeru povratne analize varianta 2 ocenjen višji vodostaj, ki pa mu ustrezajo povišane vrednosti karakteristik zemljin.

6. SANACIJA PLAZU PRAPRETNO (PRIMER 1) Z UPORABO EPS

6.1 PREDLAGANA SANACIJA

Glede na lastnosti EPS, ki deluje kot lahek nasipni material in zmanjšuje celotno maso plazljivega materiala, lahko sanacijo izvedemo na dva načina. Glede na razpoložljive podatke stabilnostne analize osnovnega stanja in na vidne lokalne zdrse v zgornjem delu ceste je razvidno, da moram zgornji del pobočja stabilizirati s pomočjo podperne konstrukcije. V dejanski sanaciji je uporabljena kamnita zložba. V mojem primeru bom izhajal iz osnovnega stanja.

Prva oblika sanacije bi bila takšna, da bi na zgornji strani ceste postavili kamnito zložbo izdelano z betonom C25/30 ($\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$), enako kot v dejanski izvedbi. Na spodnji strani pred kamnito zložbo sem predvidel nasip iz EPS.

V primeru, da s tem načinom ne zagotovim stabilnosti, predlagam, da za kamnito zložbo izvedem odziv zemljine v višini 1,8 m in ga nadomestim z nasipom iz EPS, da zmanjšam zemeljske pritiske za kamnito zložbo, ki povečujejo lokalno stabilnost za kamnito zložbo in globalno stabilnost celotnega plazu.

V obeh primerih je potrebno pobočje nad kamnito zložbo urediti v naklonu 20° od vrha kamnite zložbe, humusirati in zatraviti.

Table 1. Shear strength parameter of EPS geof foam.		
Density of EPS geof foam (kN/m^3)	Cohesion (kPa)	Angle of internal friction ($^\circ$)
0.15	30.75	3.0
0.20	36.00	4.0
0.22	40.25	4.5
0.30	59.75	6.0

Preglednica 4: Karakteristične lastnosti EPS, ki so uporabljene pri izračunu stabilnosti

(http://www.eurogeo5.org/img/5_i.pdf, 1.11.2012)

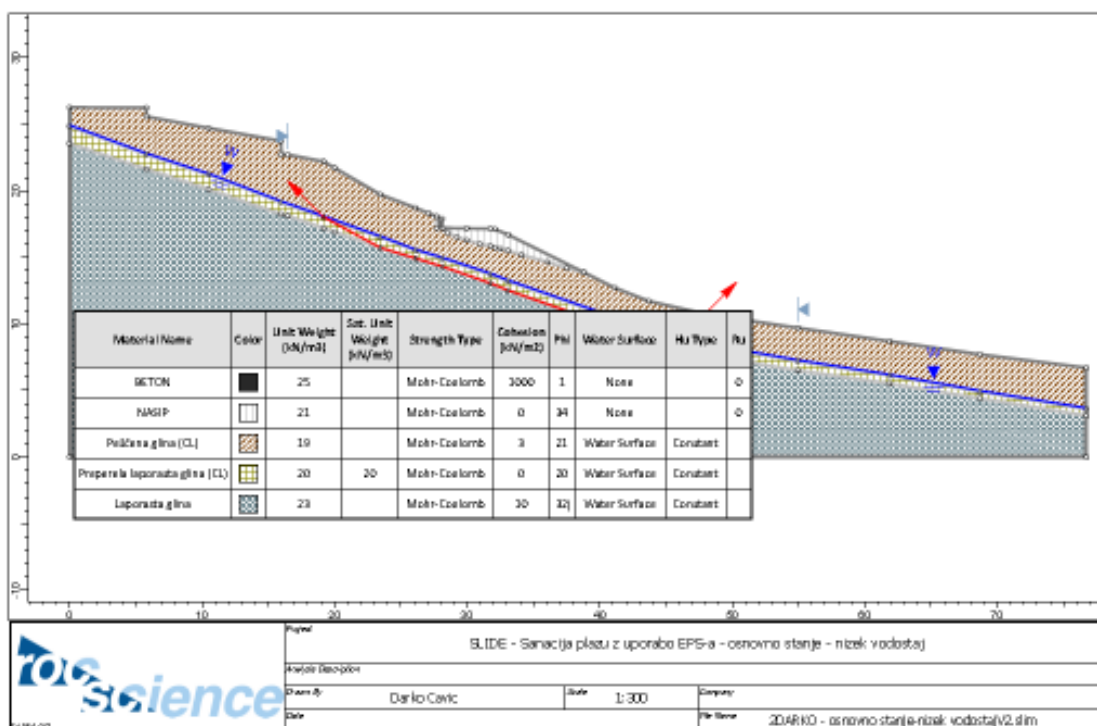
6.2 VARIANTA 1: NIZEK VODOSTAJ IN SLABŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE

V tem primeru je prikazano osnovno stanje, ki odgovarja dejanskemu stanju. Tukaj je prikazan nizek vodostaj in slabše karakteristike zemljine. Varnostni faktor je blizu 1.

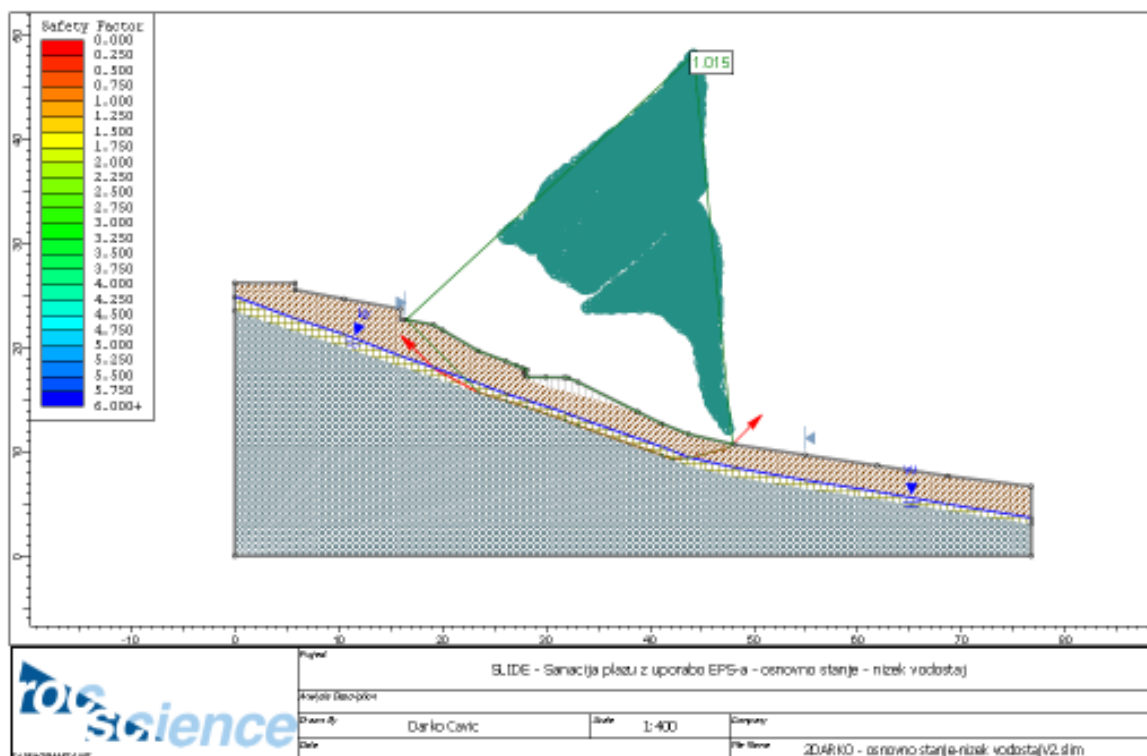
VARIANTA I				
	Nasip	Peščena glina	Preperela laporasta glina	Laporasta glina
Prostorninska teža (γ) [kN/m ³]	21	19	20	23
Kohezija (c) [kN/m ²]	0	3	0	10
Strižni kot (φ) [°]	34	21	20	32

Preglednica 5: Karakteristike zemljine – osnovno stanje

(Marodi, 2011, str. 22).



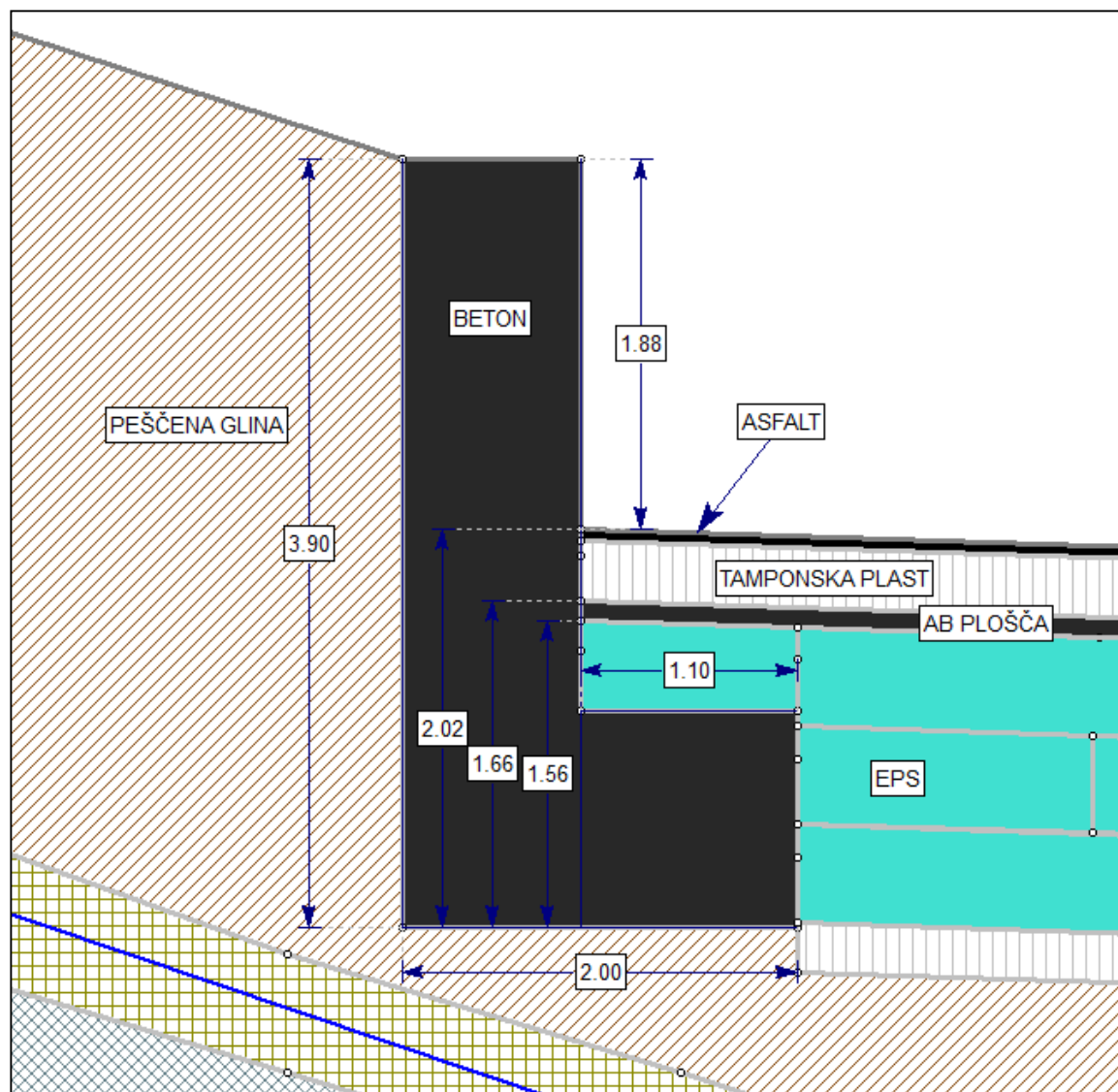
Slika 34: Osnovno stanje – geometrija



Slika 35: Osnovno stanje – kritična drsina

$$F = 1,015$$

Na podlagi izhodiščnega stanja za nizek vodostaj in slabše karakteristike zemljine bom v spodnjem delu pobočja oz. zgornjem delu cestnega nasipa postavil kamnito zložbo, ki odgovarja dejanskemu stanju. Obenem bom v cestnem telesu izvedel lahek nasip iz EPS. Za tako prikazano stanje bom preveril stabilnost z uporabo metode poligonalnih drsin (Janbu) in metodo z uporabo krožnih drsin (Bishop).



Slika 36: Kamnita zložba – sloji – nizek vodostaj

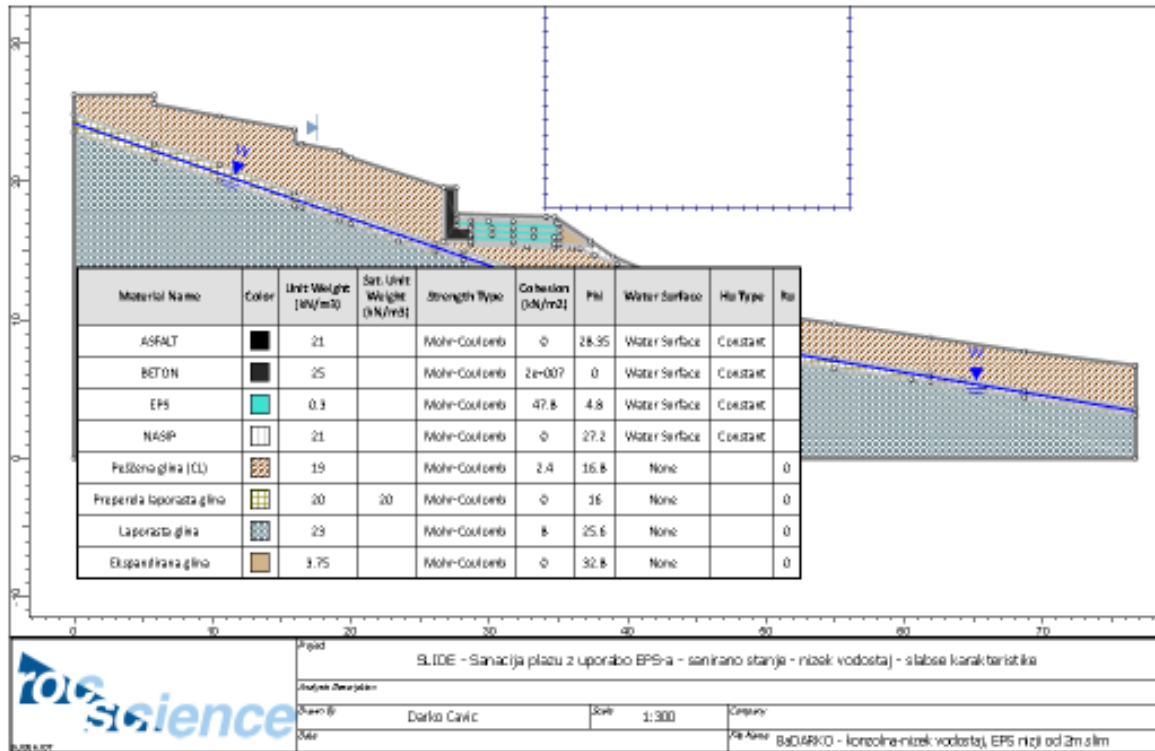
6.2.1 IZRAČUN STABILNOSTI ZA NIZEK VODOSTAJ IN SLABŠE KARAKTERISTIKE

Če pogledam dobljene rezultate, vidim, da je pri krožni drsini majhen varnostni faktor (Slika 38), $F = 0,736$. Moram se zavedati, da je to lokalni zdrs brežine, katero stabiliziram s humusiranjem in vegetacijo. Če preverim stabilnost za drsine minimalne globine 1,5 m (slika 39), vidim, da se na tej globini pojavi kritična drsina, ki ima varnost $F = 0,977$, kar pomeni, da nismo zadostili zahtevani varnosti. Pri premikanju drsne ploskve v globino se vrednost varnostnega faktorja povečuje.

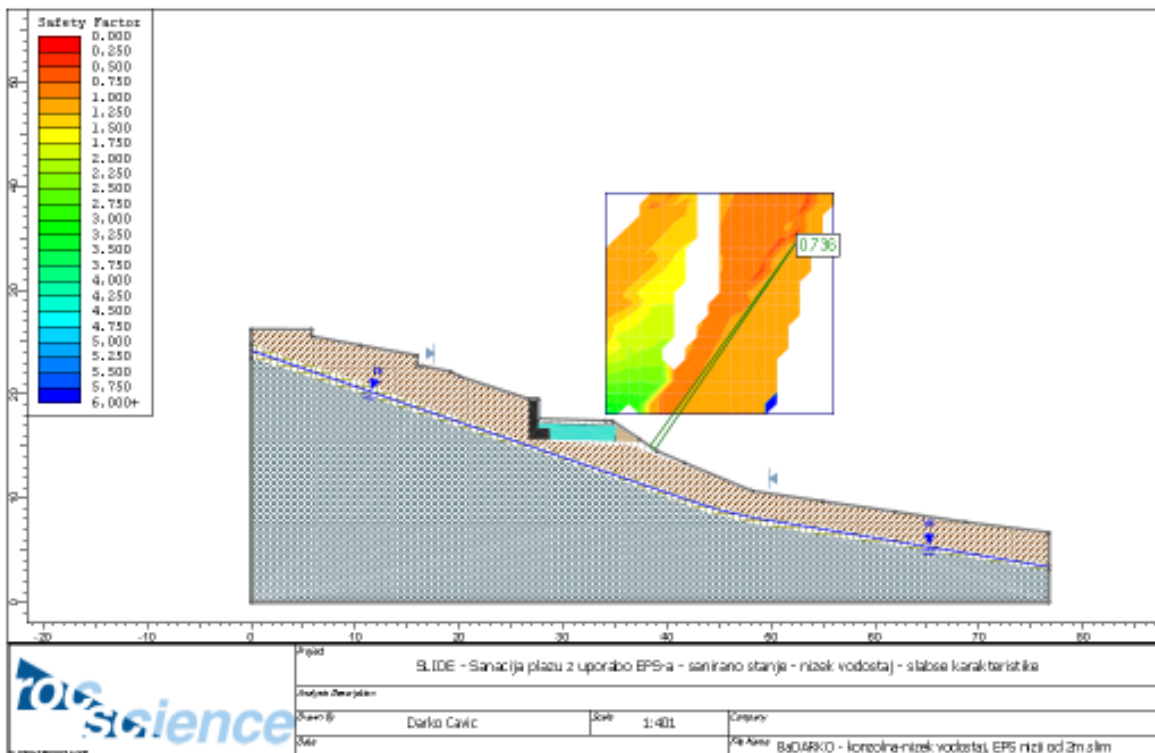
V primeru uporabe ravnih drsin se globalna varnost poveča in sicer na $F = 1,238$ (slika 41), drsna ploskev je na kontaktu laporaste in preperela laporaste glin. Bolj ko premikam drsno ploskev proti površju, bolj se varnost manjša, kar pomeni, da je z lokalnimi zdrsi enako kot pri krožnih drsinah, kjer je varnost približno enaka $F = 1$.

VARIANTA I						
	Nasip	Peščena glina	Preperela laporasta glina	Laporasta glina	Ekspandirana glina	EPS
Prostorninska teža (γ) [kN/m^3]	21	19	20	23	3,75	0,3
Kohezija (c) [kN/m^2]	0	2,4	0	8	0	47,8
Strižni kot (φ) [$^\circ$]	27,2	16,8	16	25,6	32,8	4,8

Preglednica 6: Projektne karakteristike zemljin vgrajenih v cestni nasip – VARIANTA I

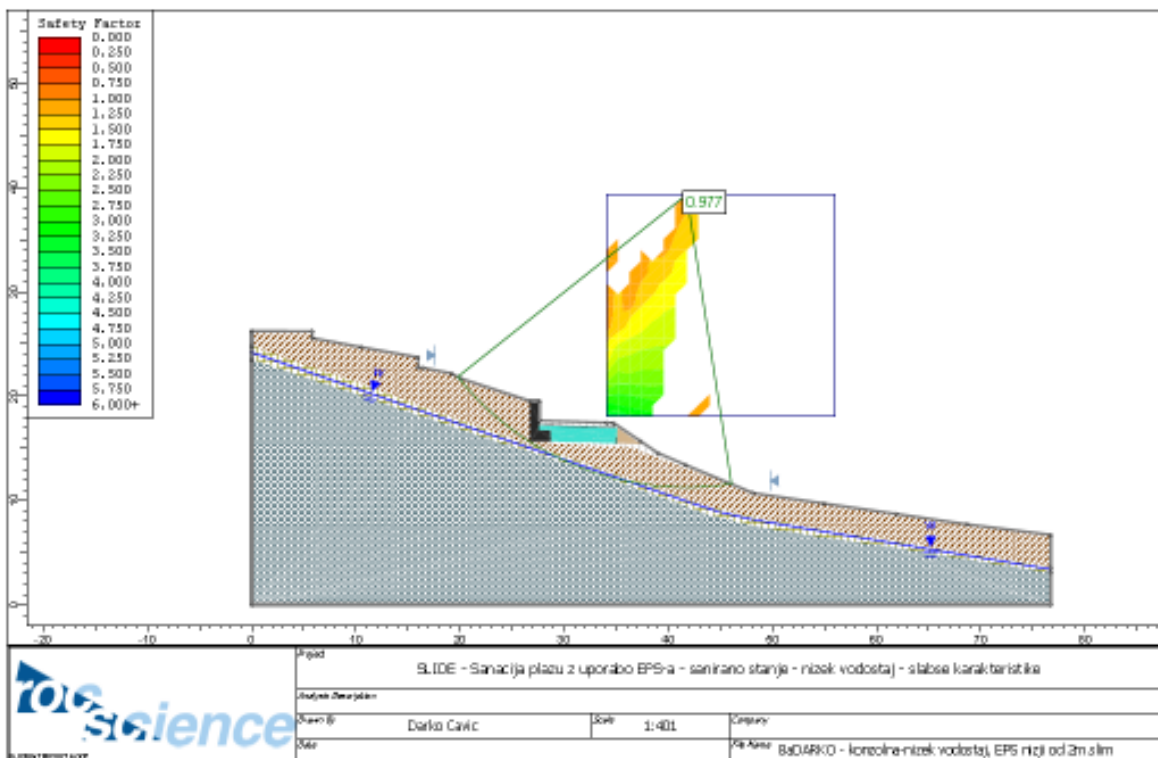


Slika 37: Geometrija – nizek vodostaj – slabše karakteristike – krožne drsine

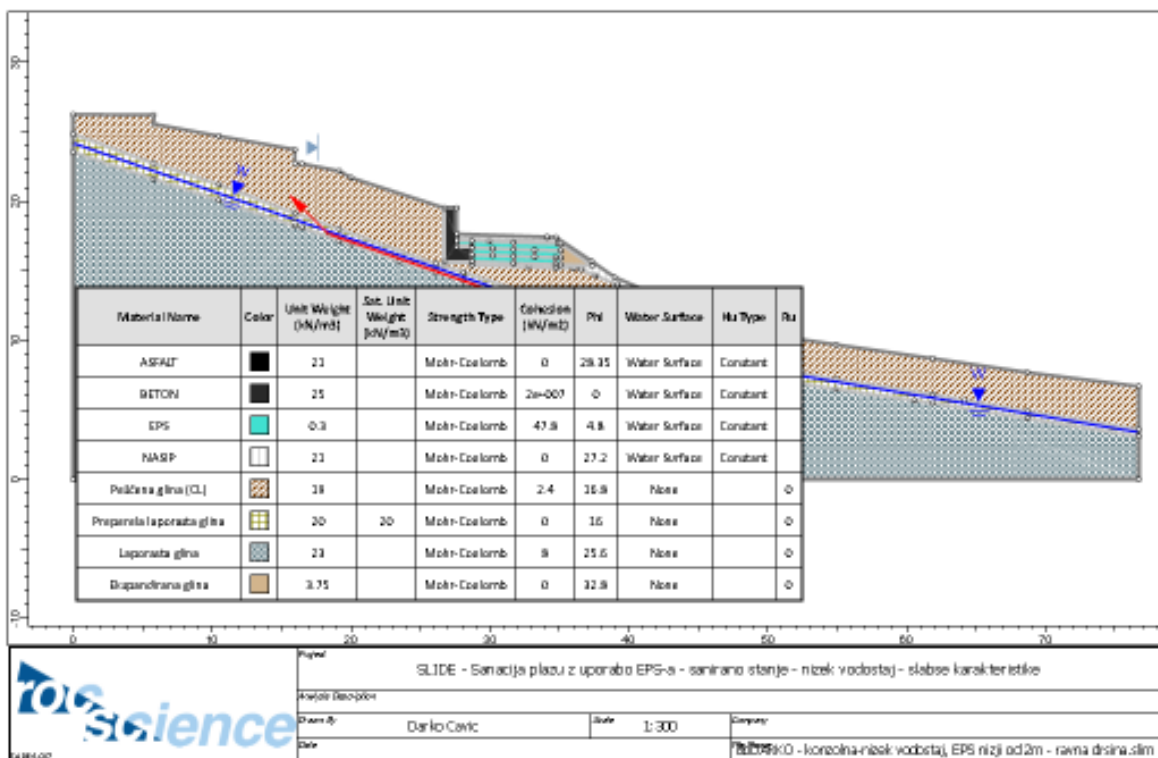


Slika 38: Kritična drsina – nizek vodostaj – slabše karakteristike – krožne drsine

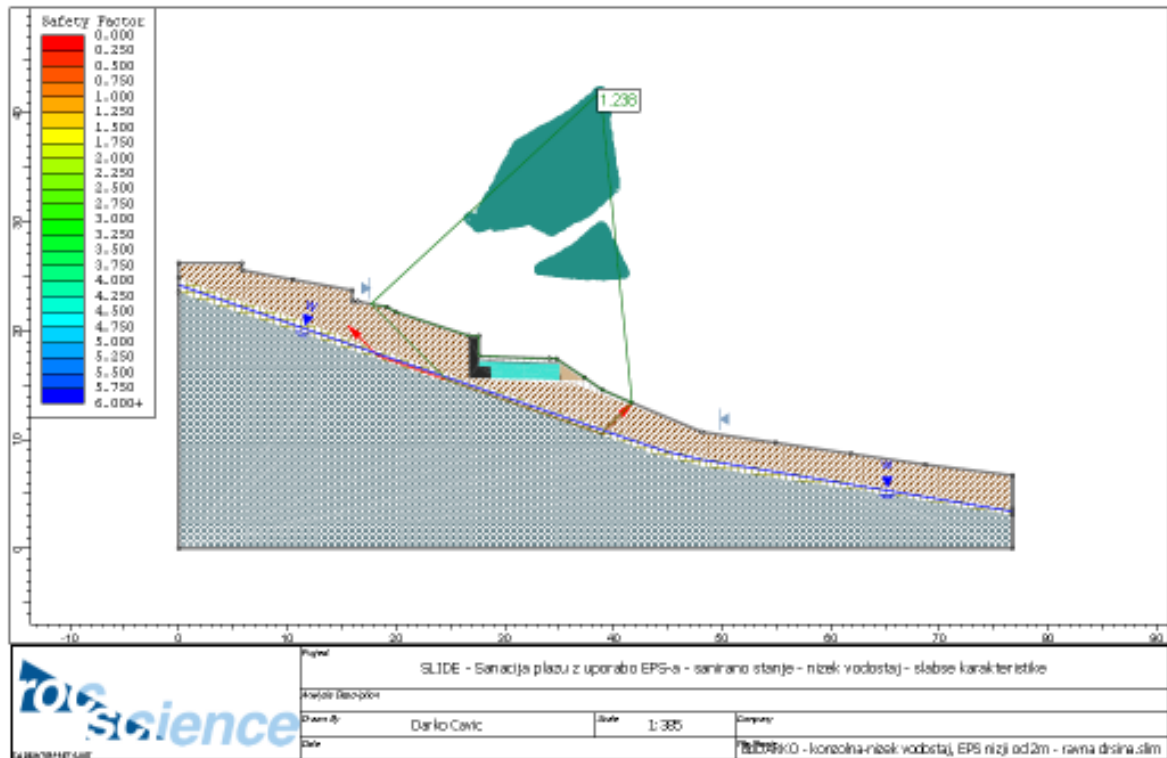
$$F = 0,736$$



Slika 39: Kritična drsina – nizek vodostaj – slabše karakter. – krožne drsine-globina 1,5m
 $F = 0,977$



Slika 40: Geometrija – nizek vodostaj – slabše karakteristike – ravne drsine



Slika 41: Kritična drsina – nizek vodostaj – slabše karakteristike – ravne drsine

$$F = 1,238$$

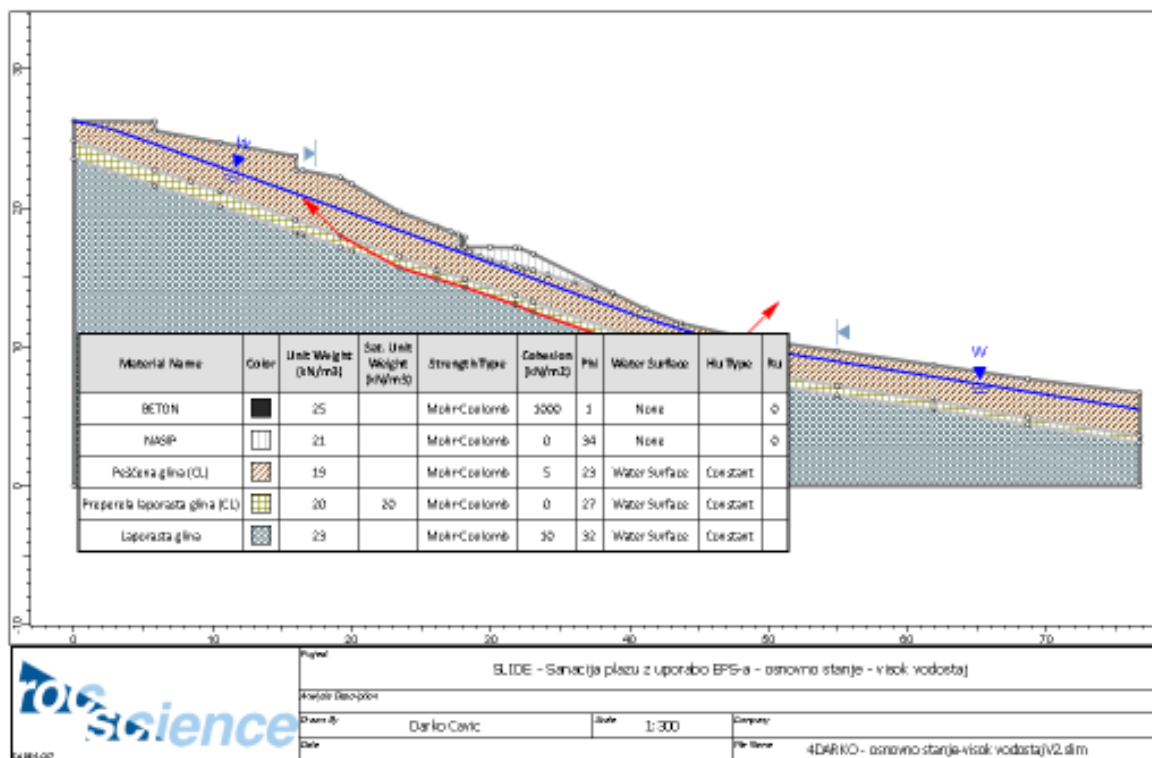
6.3 VARIANTA 2: VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE

V primeru visoke vode in boljših karakteristik zemljine je varnost podobna kot v prvem primeru in je blizu $F = 1$. V tem primeru govorim o varnosti osnovnega stanja pred izvedeno sanacijo.

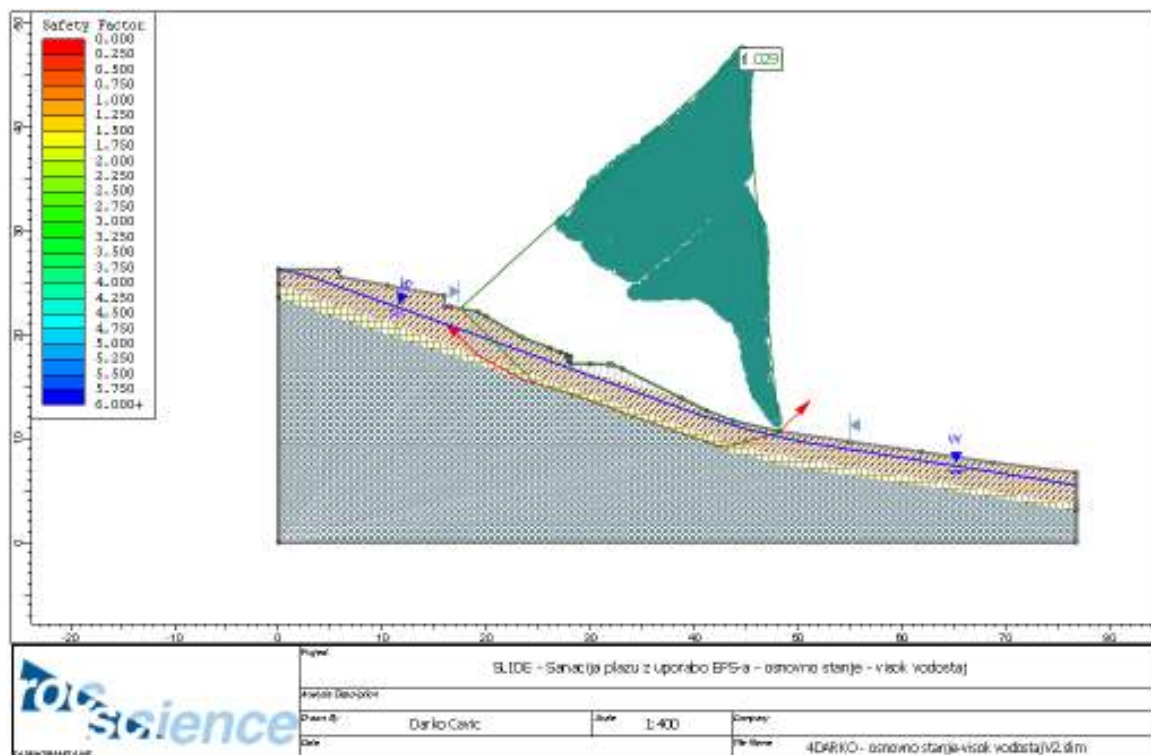
VARIANTA I				
	Nasip	Peščena glina	Preperela laporasta glina	Laporasta glina
Prostorninska teža (γ) [kN/m^3]	21	19	20	23
Kohezija (c) [kN/m^2]	0	5	0	10
Strižni kot (φ) [$^\circ$]	34	23	27	32

Preglednica 7: Karakteristike zemljine – osnovno stanje

(Marodi, 2011, str. 23).



Slika 42: Osnovno stanje – geometrija



Slika 43: Osnovno stanje – kritična drsina

$$F = 1,029$$

Enako kot v prvem primeru bom v spodnjem delu pobočja postavil kamnito zložbo. Pred zložbo bom izvedel cestni nasip iz EPS.

VARIANTA II						
	Nasip	Peščena glina	Preperela laporasta glina	Laporasta glina	Ekspanirana glina	EPS
Prostorninska teža (γ) [kN/m ³]	21	19	20	23	3,75	0,3
Kohezija (c) [kN/m ²]	0	4	0	8	0	47,8
Strižni kot (φ) [°]	27,2	18,4	21,6	25,6	32,8	4,8

Preglednica 8: Projektne vrednosti zemljin vgrajenih v cestni nasip – VARIANTA II

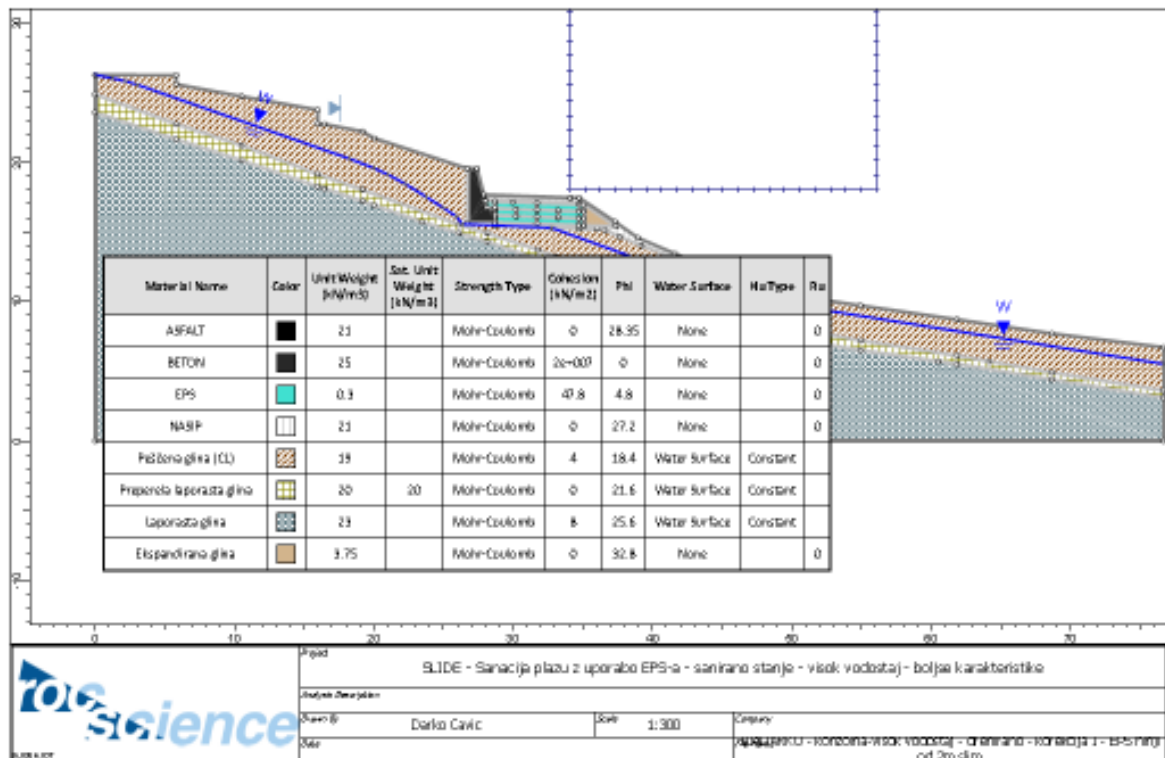
V primeru, ko je voda visoka, bom obravnaval dve varianti. Za kamnito zložbo bo izvedena drenaža, ki bo visok vodostaj pred kamnito zložbo drenirala pod kamnito zložbo in cestni nasip iz EPS.

- ❖ VARIANTA A obravnava primer, ko se visoka voda pod kamnito zložbo drenira na nivo oz. ostane v nivoju visoke vode naprej od cestnega nasipa po pobočju navzdol.
- ❖ VARIANTA B pa obravnava primer, ko se visoka voda pod kamnito zložbo drenira na nivo nizke vode naprej od cestnega nasipa po pobočju navzdol.

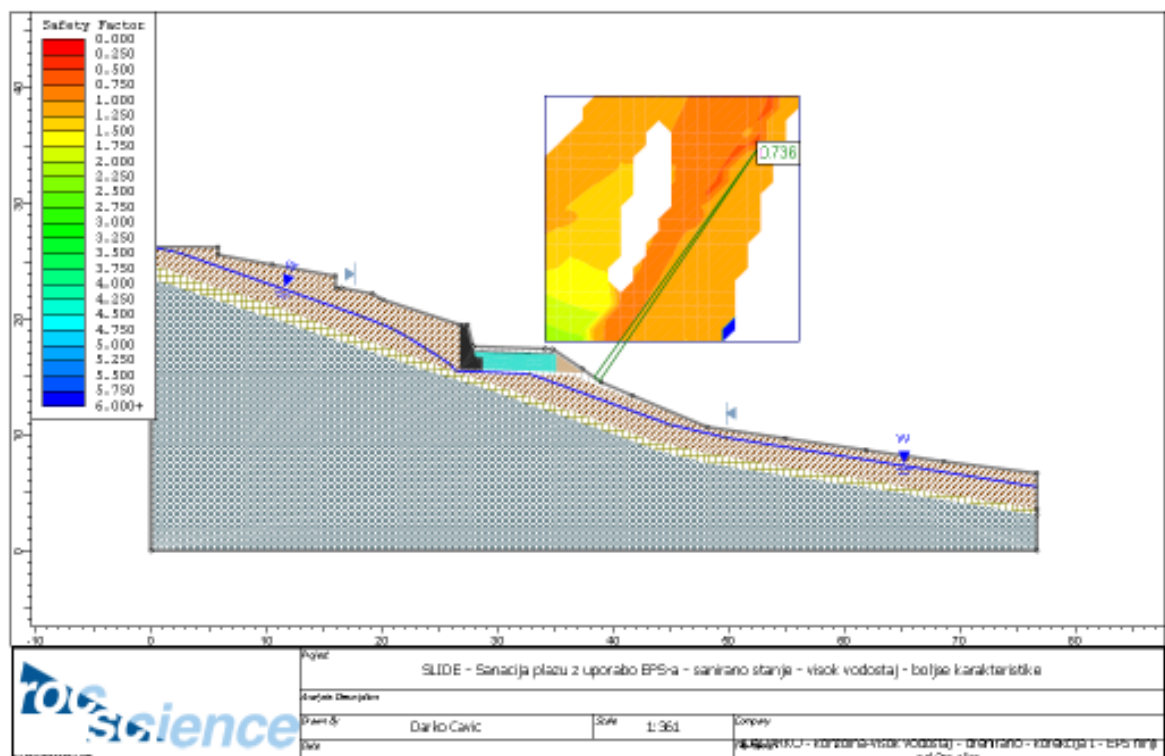
V nadaljevanju podajam izračune stabilnosti obeh primerov.

6.3.1 IZRAČUN STABILNOSTI ZA VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE – VARIANTA A

Pri krožnih drsinah se nestabilnost kaže v nestabilnosti brežine, katero rešujem s humusiranjem in zatravitvijo. Pri pregledu vseh drsin se poleg majhne varnosti brežine, pojavijo najmanjši varnostni faktorji, ko drsina poteka skozi sloj preperete laporaste gline. V tem primeru je pobočje na meji zdrsa in ima varnost $F = 1,005$. Pri premikanju drsne ploskve navzdol ali navzgor, se varnostni faktor povečuje. Vendar moram opozoriti, da se pri premikanju drsne ploskve navzgor do območja brežine nasipa varnost spet spusti pod vrednost $F = 1$. To lahko pripišem materialu, ki v tem primeru sestavlja brežine nasipa. Kot sem že omenil, bom ta problem stabilnosti rešil s humusiranjem in zatravitvijo.

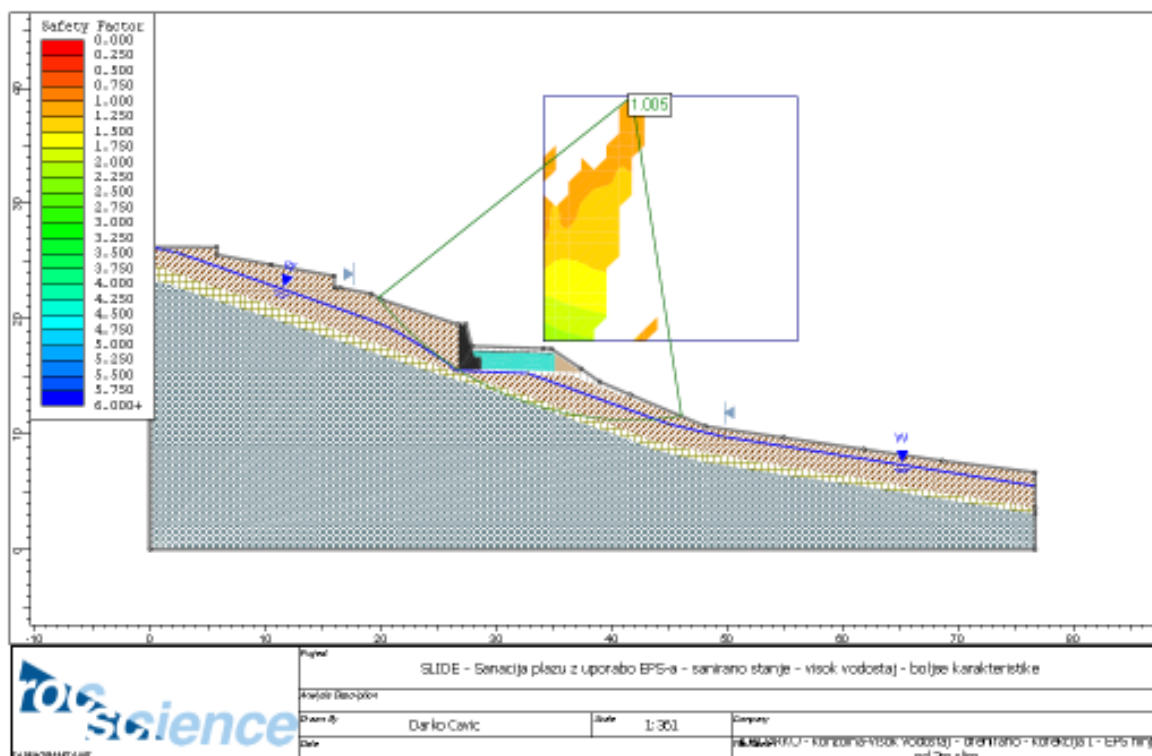


Slika 44: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine



Slika 45: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine

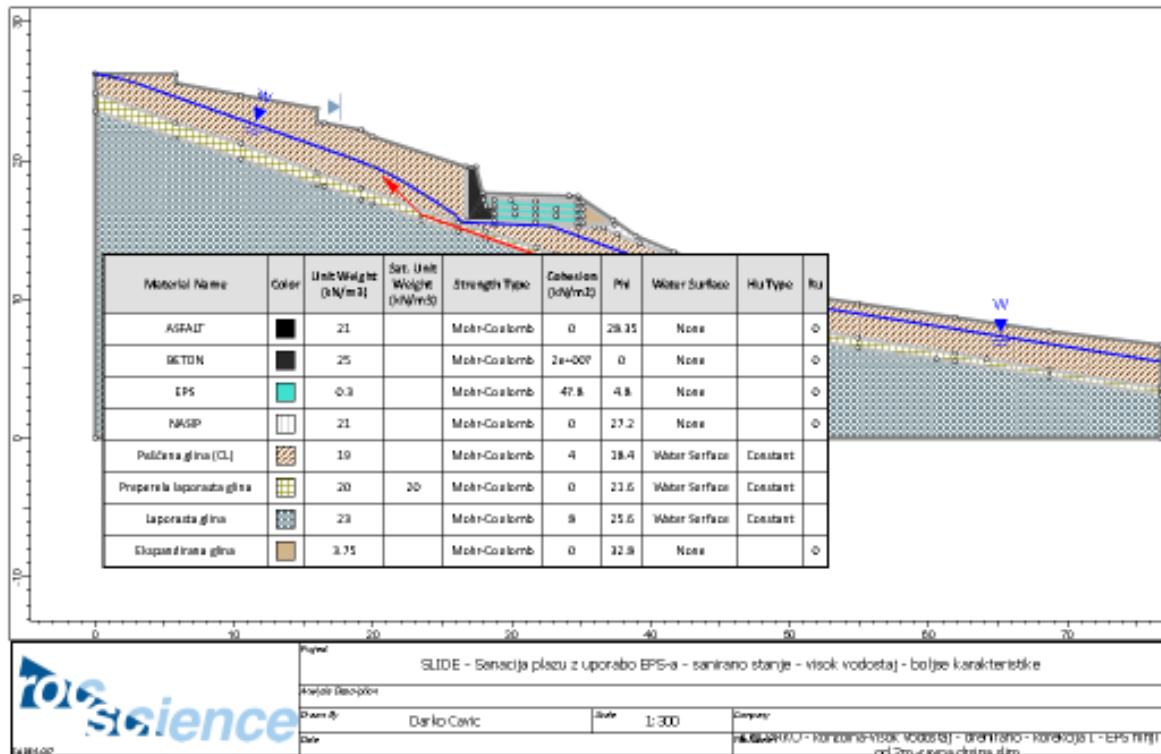
$$F = 0,736$$



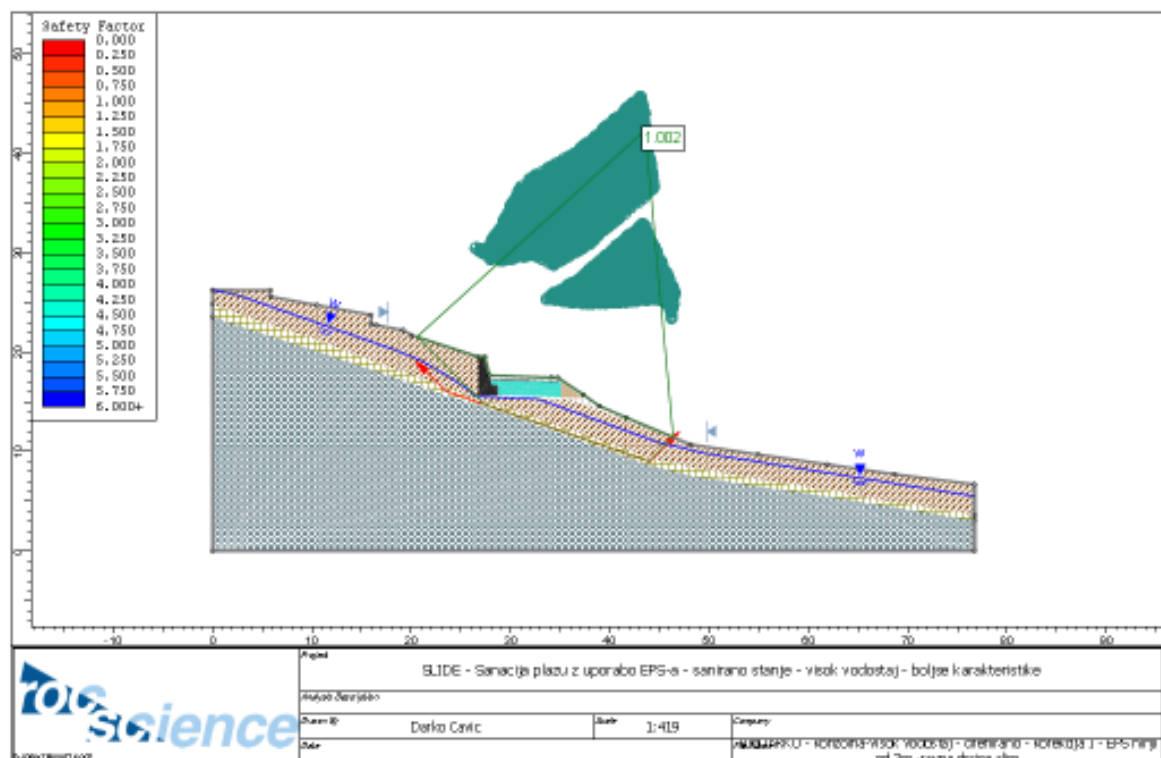
Slika 46: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – krožne drsine-globina 1,5m

$$F = 1,005$$

Pri ravnih drsinah se pojavijo enaki problemi kot pri krožnih drsinah. Pri premikanju drsne ploskve navzdol ali navzgor se varnost povečuje, vse do območja brežine nasipa, kjer je vrednost okrog $F = 1$. To premikanje je najbolj opazno v območju preperelo laporaste glin. V območju tega sloja so vrednosti manjše. Če računam stabilnost na globini, ki je meja med preperelo laporasto glino in spodnjim ali zgornjim slojem, se vrednost varnosti F poveča. To lahko pripišem karakteristikam tega sloja, saj je vrednost kohezije v tem sloju enaka 0.

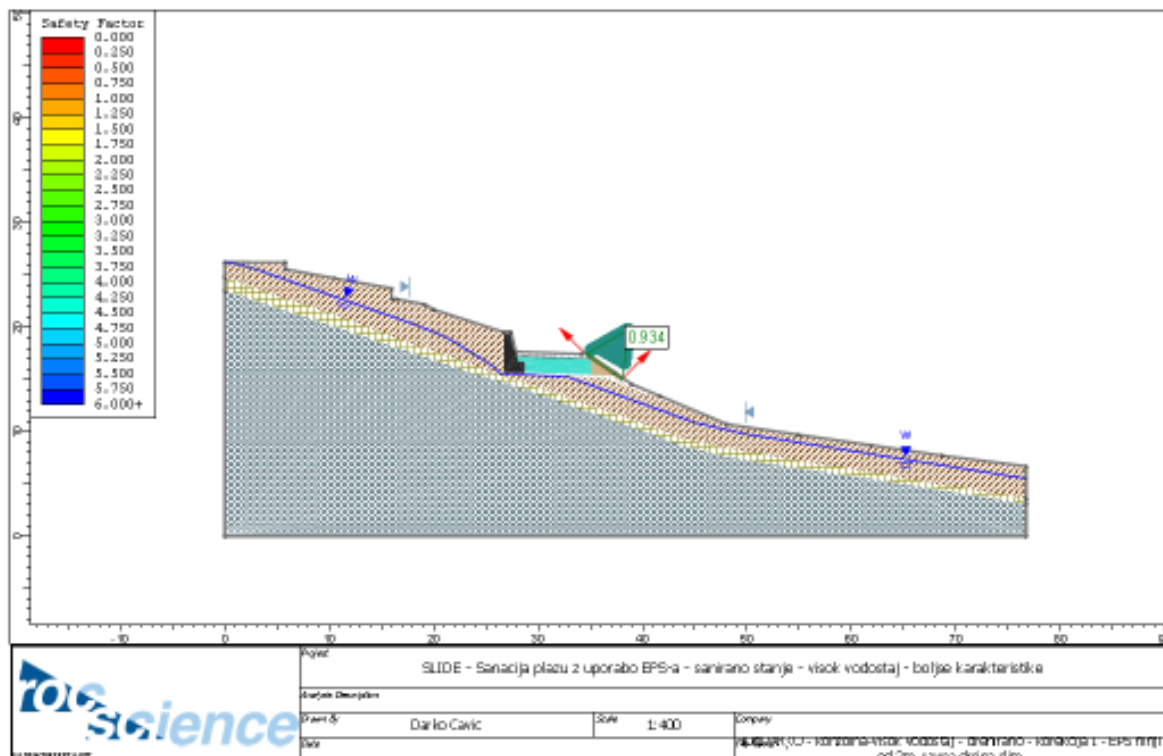


Slika 47: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsine



Slika 48: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsine

$$F = 1,002$$



Slika 49: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – ravne drsine-globina 0,2m

$$F = 0,934$$

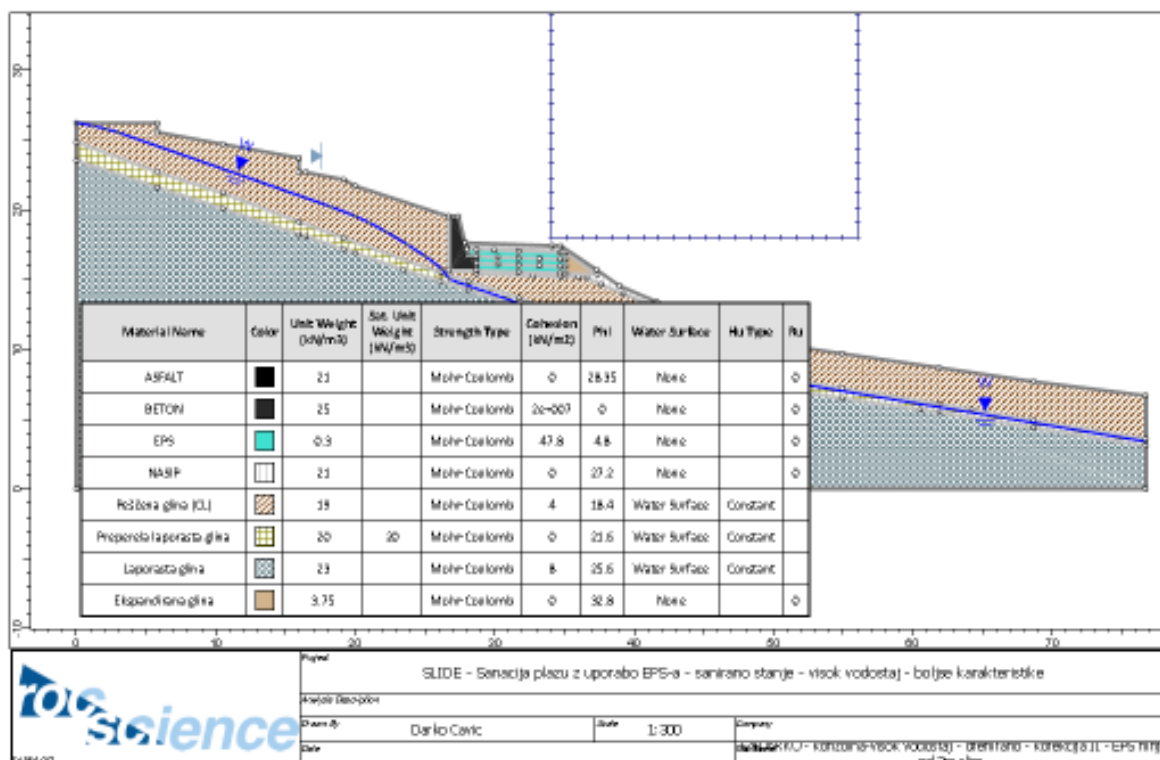
6.3.2 IZRAČUN STABILNOSTI ZA VISOK VODOSTAJ IN BOLJŠE KARAKTERISTIKE ZEMLJINE – VARIANTA B

Druga varianta obravnava primer, ko se visoka voda od kamnite zložbe in cestnega nasipa, spusti naprej po pobočju navzdol na nivo nizke vode (slika 50).

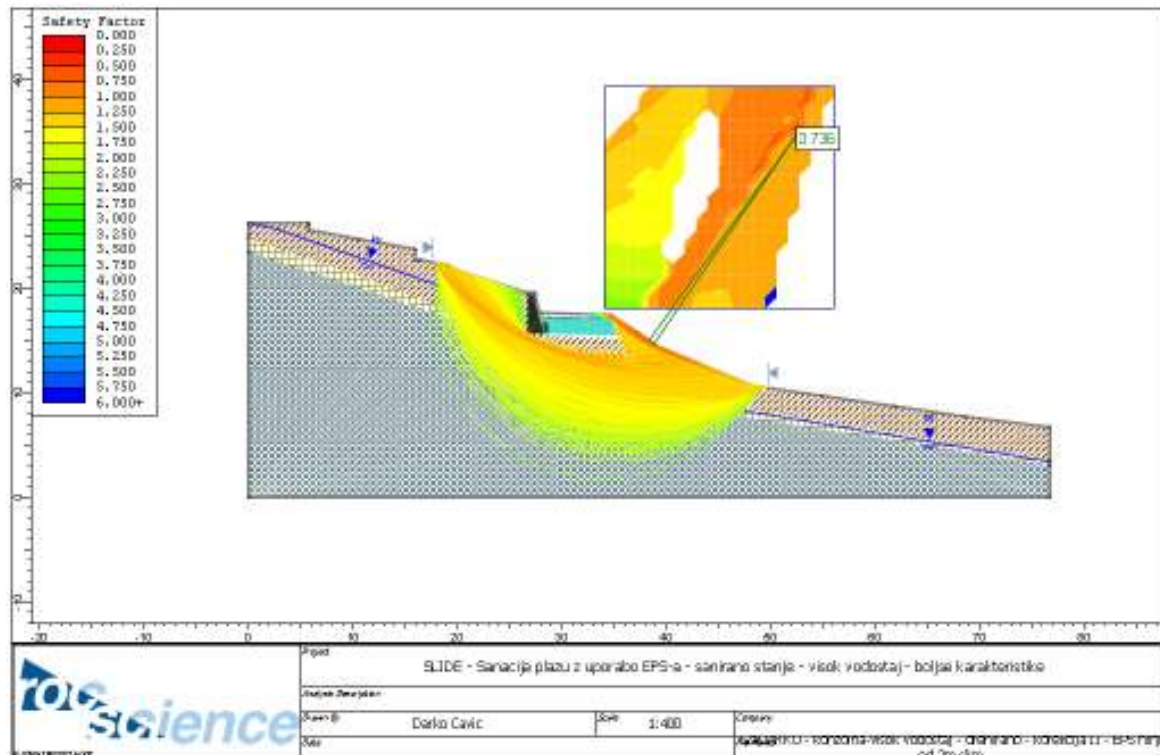
VARIANTA II						
	Nasip	Peščena glina	Preperela laporasta glina	Laporasta glina	Ekspanirana glina	EPS
Prostorninska teža (γ) [kN/m ³]	21	19	20	23	3,75	0,3
Kohezija (c) [kN/m ²]	0	4	0	8	0	47,8
Strižni kot (φ) [°]	27,2	18,4	21,6	25,6	32,8	4,8

Preglednica 9: Projektne vrednosti zemljin vgrajenih v cestni nasip – VARIANTA II

Pri tem primeru vidim, da se je globalna stabilnost povečala (slika 52) in je varnostni faktor večji od $F = 1,2$. Problem se ponovno pojavi pri lokalnih zdrsih brežine (slika 51), pri čemer je vrednost varnosti pod $F = 1$. Stabilizacija brežine bo potekala na enak način kot sem navedel v prejšnjih primerih.

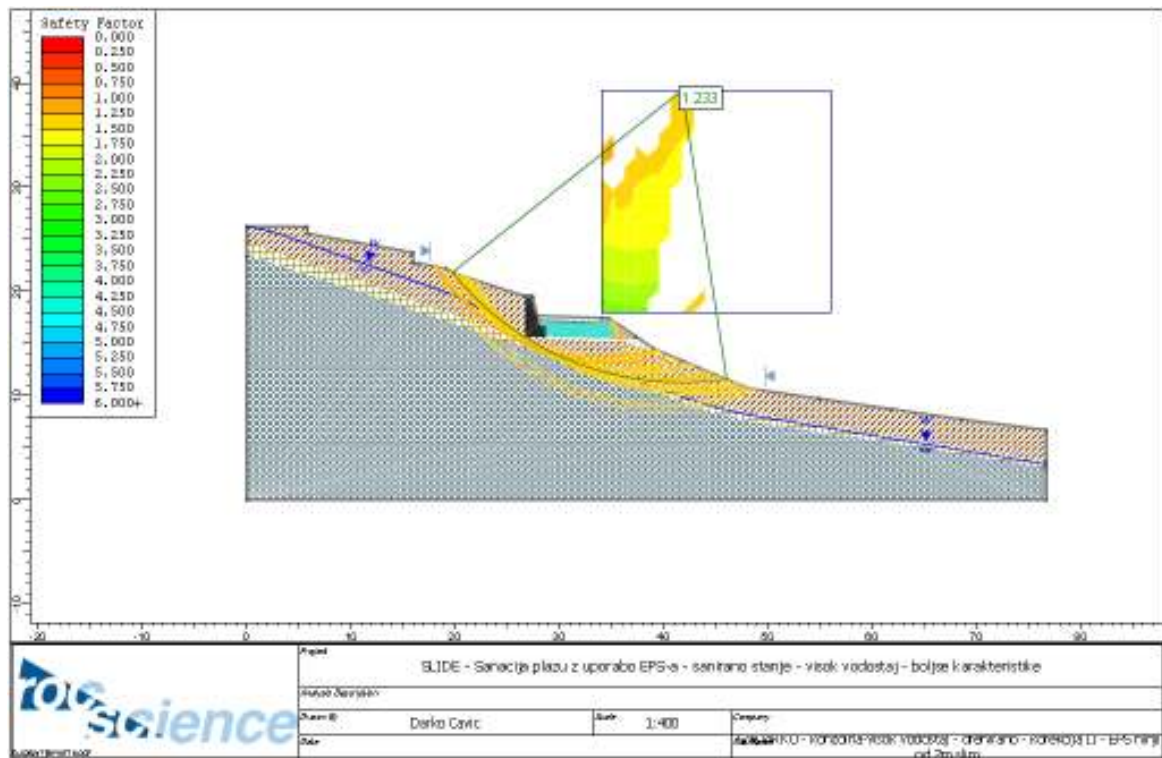


Slika 50: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine



Slika 51: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – krožne drsine

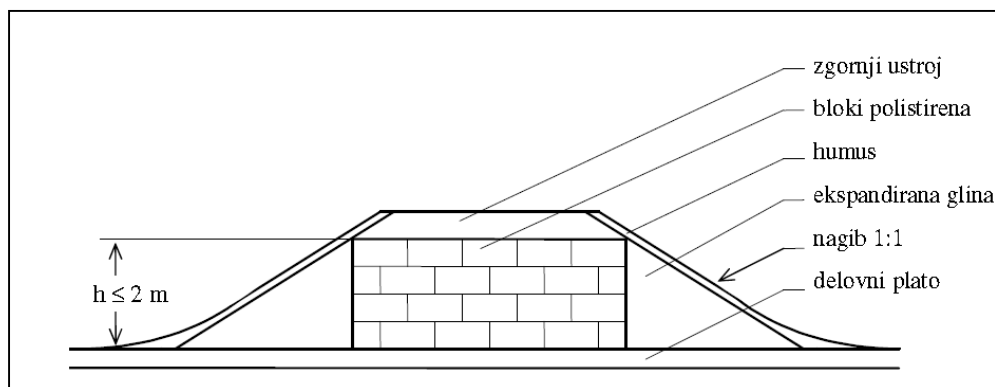
$$F = 0,736$$



Slika 52: Kritična drsina, visok vodostaj, boljše karakteristike. – krožne drsine-globina 1,5 m

$$F = 1,233$$

V vseh primerih je višina EPS nasipa 1,5 m. Pri gradnji nasipov nižjih od 2 m se EPS bloki zlagajo v ravni vertikalni črti (slika 53) in ne stopničasto, kot pri nasipih višjih od 2 m.



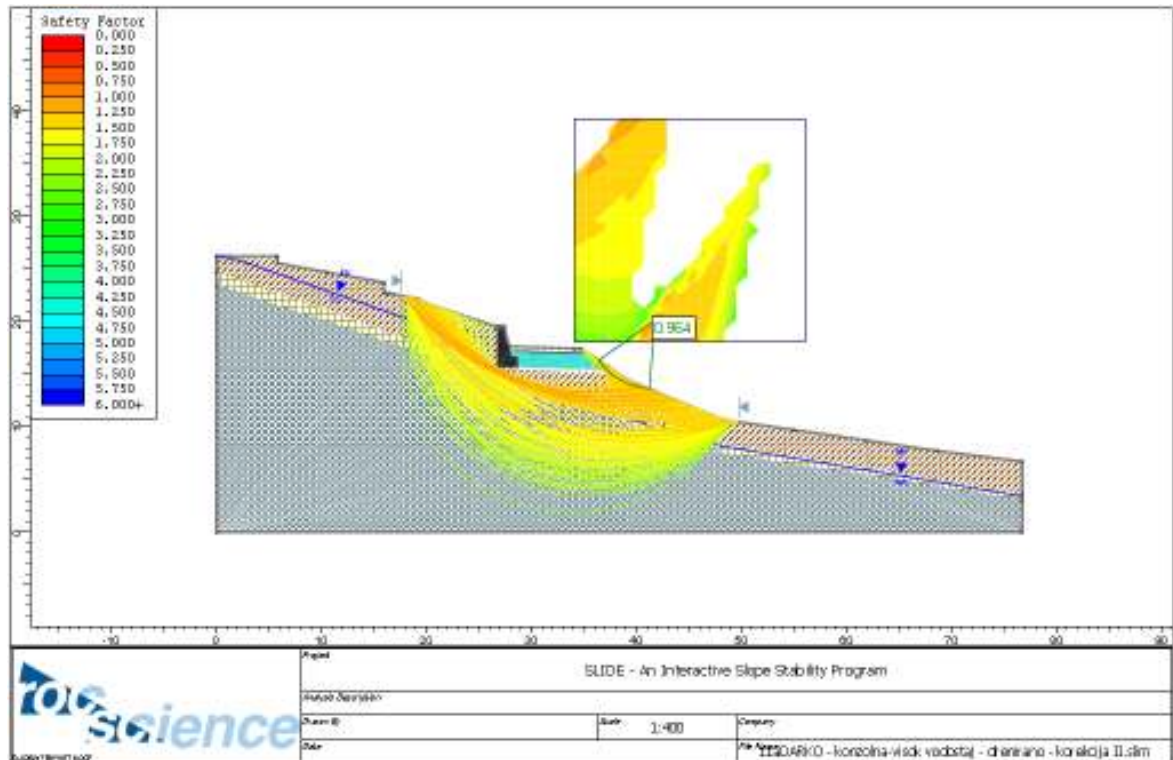
Slika 53: Prečni prerez nasipa višine do 2 m

(Oblak, 2006, str. 158)

V nadaljevanju bom podal izračun stabilnosti (slika 54), ko so EPS bloki zloženi stopničasto.

V tem primeru (slika 54) opažam, da je na globini 0,3 m varnostni faktor v območju brežine izpod vrednosti $F = 1$.

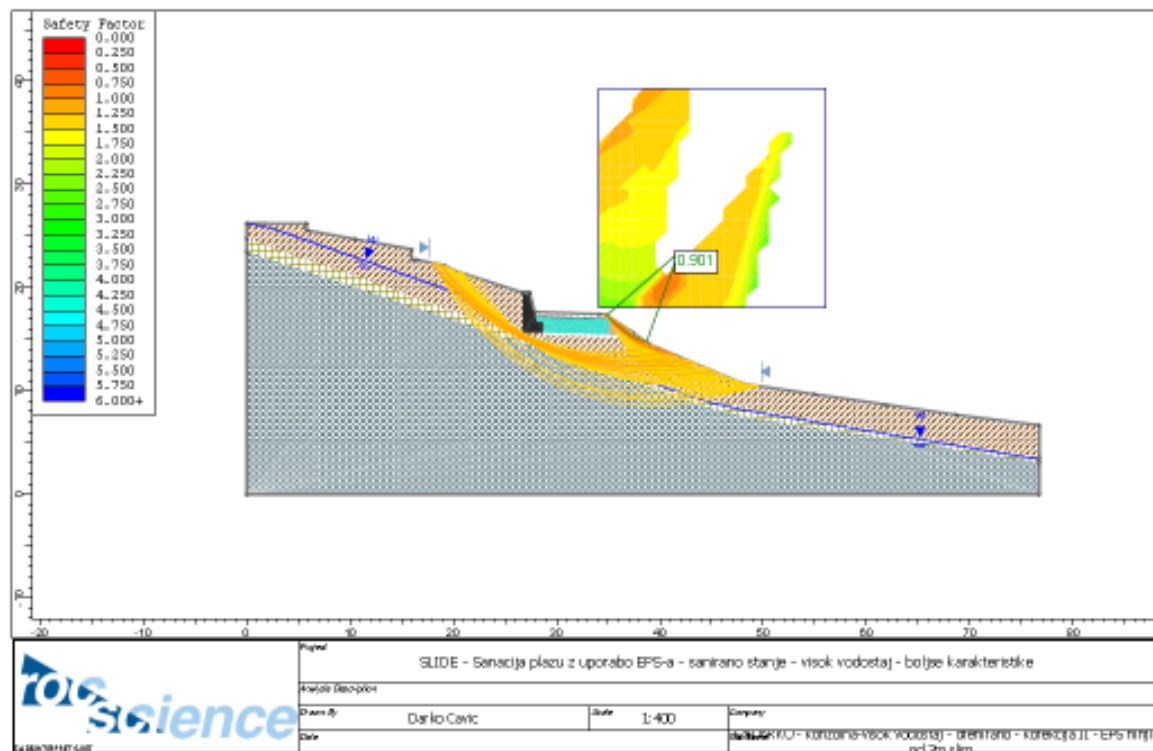
Če primerjam varnost na enaki globini pri ravno položenem EPS (slika 55) in stopničastem ne opazim velike razlike v vrednosti, vendar so pri ravno položenem vidne manjše varnosti, ki so v delovni skici spodaj prikazane z drugačno barvo, kar je pričakovano, ker je ta del pobočja zasut z ekspandirano glino, ki ima vrednost kohezije 0.



Slika 54: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – stopničasto položeni

EPS bloki – krožne drsine-globina 0,3 m

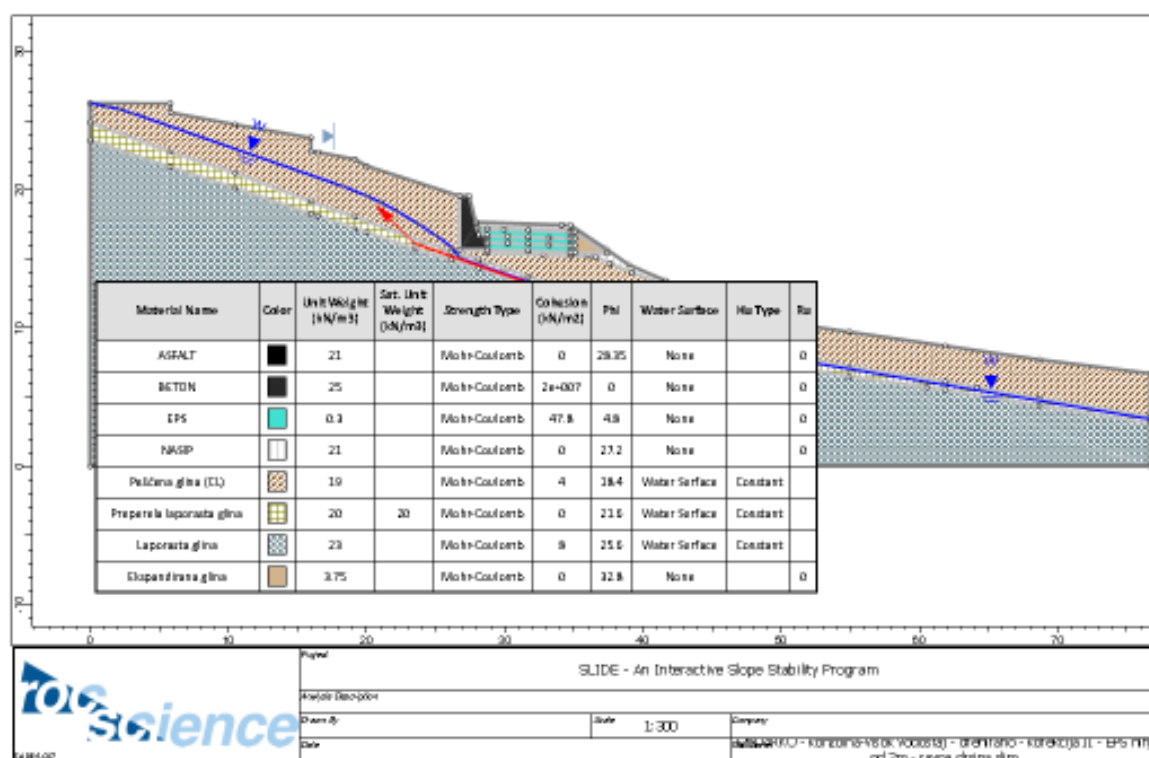
$$F = 0,964$$



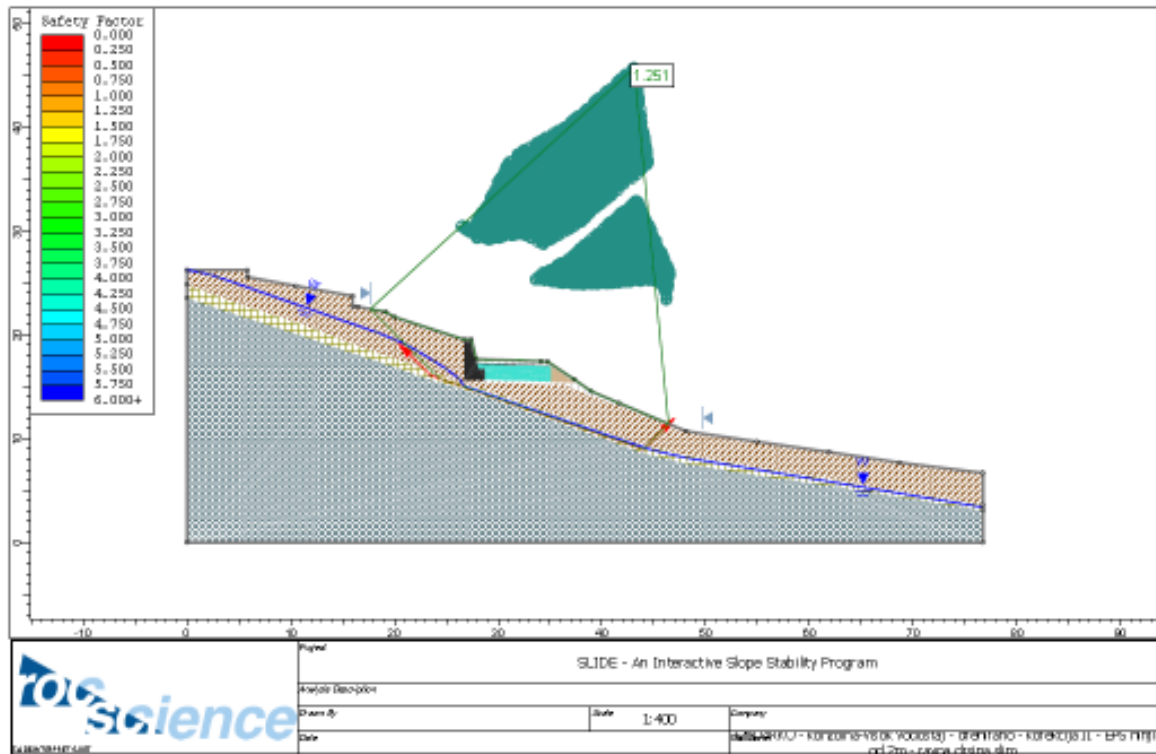
Slika 55: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – krožne drsine-globina 0,3m

$$F = 0,901$$

Pri izračunu varnosti v VARIANTI B pri ravni drsini je vrednost varnostnega faktorja (slika 57) nad $F = 1,2$, torej enaka kot pri krožnih drsinah. Tu mislim na globalno stabilnost pobočja. Ko pogledam varnosti plitvih drsin (slika 58), so vrednosti v primerjavi s krožnimi drsinami malenkost večje. Razlog za to: ravna drsina ni natančno na globini 0,2 m.

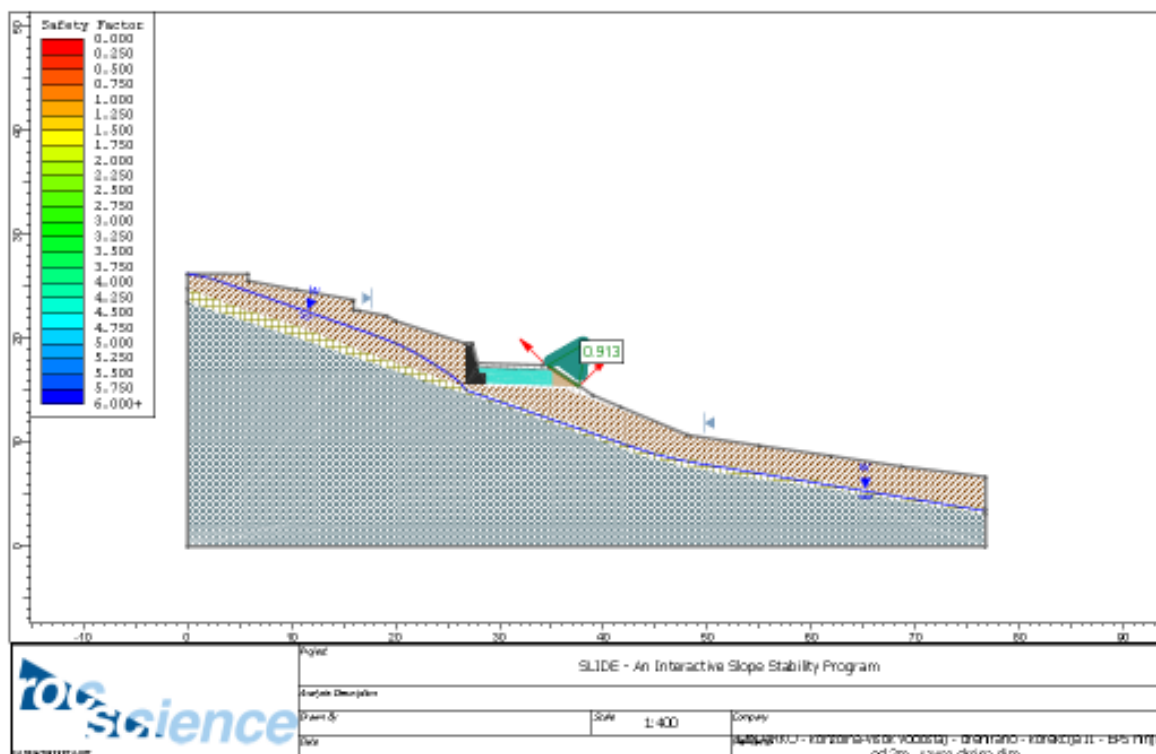


Slika 56: Geometrija – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsine



Slika 57: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakteristike – ravne drsin

$$F = 1,251$$



Slika 58: Kritična drsina – visok vodostaj – boljše karakte. – ravne drsine-globina 0,2 m

$$F = 0,913$$

6.4 PRIMERJAVA REZULTATOV STABILNOSTNE ANALIZE

V spodnjih dveh tabelah podajam rezultate izvedene stabilnostne analize za predlagano sanacijo za dve varianti. V tabeli so vpisani varnostni faktorji za določen primer. Moramo se zavedati, da so pri izračunu predlaganih sanacij upoštevane projektne vrednosti strižnih parametrov zemljin, kateri sta reducirani z delnim faktorjem γ_ϕ in $\gamma_c = 1,25$.

Globalna stabilnost je ustrezna, če je minimalni faktor varnosti F_{min} večji ali enak vrednosti $F = 1,0$.

VARIANTA I [F]					
OSNOVNO STANJE		PREDLAGANA SANACIJA			
KROŽNA DRSINA	RAVNA DRSINA	KROŽNA DRSINA		RAVNA DRSINA	
		PLITVA DRSINA	GLOBOKA DRSINA	PLITVA DRSINA	GLOBOKA DRSINA
	1,015	0,736	0,977		1,238

Preglednica 10: Rezultati stabilnosti – VARIANTA I

VARIANTA II [F]									
OSNOVNO STANJE		PREDLAGANA SANACIJA							
KROŽNA D.	RAVNA D.	VARIANTA A				VARIANTA B			
		KROŽNA DRSINA	RAVNA DRSINA	KROŽNA DRSINA	RAVNA DRSINA	KROŽNA DRSINA	RAVNA DRSINA	KROŽNA DRSINA	RAVNA DRSINA
		PLITVA D.	GLOB. D.	PLITVA D.	GLOB. D.	PLITVA D.	GLOB. D.	PLITVA D.	GLOB. D.
	1,029	0,736	1,005	0,934	1,022	0,736	1,233	0,913	1,251

Preglednica 11: Rezultati stabilnosti – VARIANTA II

Na podlagi zgornjih rezultatov ugotavljam, da ko imamo nizko vodo in slabše projektne vrednosti zemljin, smo na meji zdrsa.

V drugem primeru stabilnost zagotovimo samo v varianti B, tj. ko se visoka voda drenira na nivo nizke vode po pobočju navzdol.

6.5 ANALIZA STROŠKOV

6.5.1 ANALIZA DEJANSKO IZVEDENE SANACIJE PLAZU

V spodnjih tabelah podajam analizo stroškov glede na dejansko izvedeno sanacijo.

Omeniti želim, da se je cesta sanirala z izvedbo pilotne stene pod cesto dolžine 80 m (19 pilotov, premera 1 m, dolžine 9 m). Na vrhu so piloti povezani z AB gredo. Pobočje nad cesto se je saniralo z izvedbo kamnite zložbe dolžine cca 60 m. V spodnjih preglednicah podajam analizo stroškov dejansko izvedene sanacije (Ozzing, Trbovlje).

VRSTA DEL	VREDNOST [€]
PREDDELA	1.326,00
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	2.014,70
VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE	9.721,00
ODVODNJAVANJE	3.295,00
OPREMA CEST	3.523,00
TUJE STORITVE IN OSTALO	2.360,00
SKUPAJ	22.239,70

Preglednica 12: Strošek rekonstrukcije ceste

VRSTA DEL	VREDNOST [€]
PREDDELA	1.488,00
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	26.652,10
ODVODNJAVANJE	7.450,00
GRADBENA IN OBRTNIŠKA DELA	81.957,69
TUJE STORITVE IN OSTALO	26.348,00
SKUPAJ	143.895,79

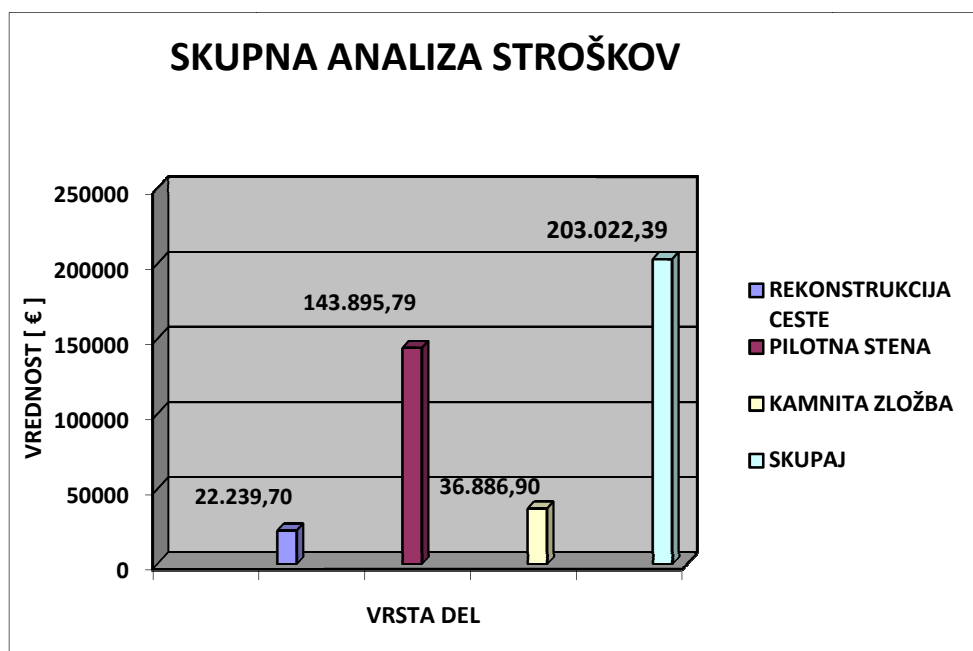
Preglednica 13: Strošek izvedbe pilotne stene

VRSTA DEL	VREDNOST [€]
PREDDELA	311,00
ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE	2.653,90
ODVODNJAVANJE	930,00
GRADBENA IN OBRTNIŠKA DELA	30.642,00
TUJE STORITVE IN OSTALO	2.350,00
SKUPAJ	36.886,90

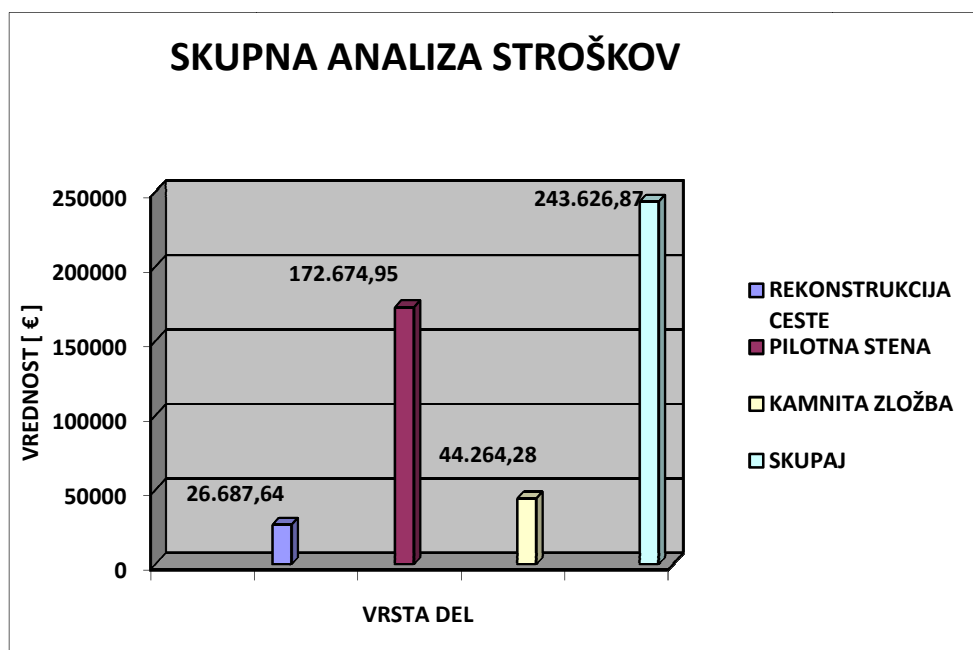
Preglednica 14: Strošek izvedbe kamnite zložbe

VRSTA DEL	VREDNOST [€]
A. REKONSTRUKCIJA CESTE	22.239,70
B. PILOTNA STENA	143.895,79
C. KAMNITA ZLOŽBA	36.886,90
SKUPAJ	203.022,39
DDV 20%	40.604,48
SKUPAJ	243.626,87

Preglednica 15: Skupni strošek sanacije plazu – OSNOVNO STANJE



Grafikon 1: Skupni stroški brez DDV – OSNOVNO STANJE



Grafikon 2: Skupni stroški plus 20% DDV – OSNOVNO STANJE

6.5.2 ANALIZA STROŠKOV SANACIJE PLAZU Z UPORABO EPS

V spodnji preglednici podajam OCENJENO analizo stroškov za izvedbo sanacije z uporabo EPS. Analizo stroškov → rekonstrukcije ceste in izvedbe EPS nasipa sem združil v eno, ker sta tesno povezani, kamnito zložbo pa sem privzel iz dejanskega stanja. Rekapitulacije za pilotno steno nisem upošteval. Rekapitulacijo stroškov EPS nasipa sem izračunal na podlagi dobljene ponudbe s strani proizvajalca EPS blokov »FRAGMAT TIM«.

Izhodiščna cena za 1 m³

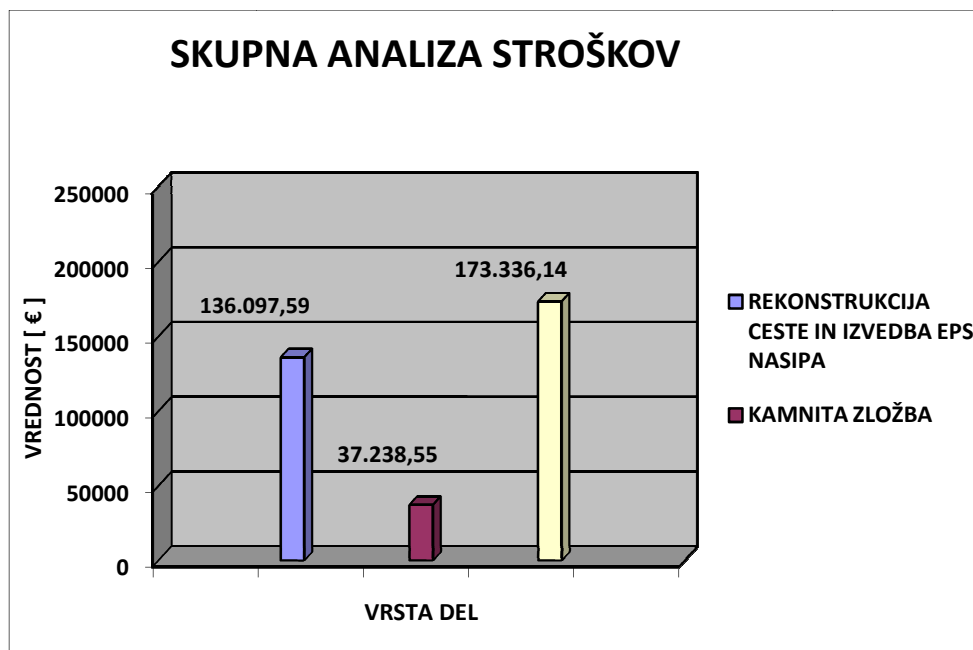
$$\text{EPS 150} = 111,00 \text{ €/m}^3 + \text{DDV}$$

$$\text{EPS 200} = 131,00 \text{ €/m}^3 + \text{DDV}$$

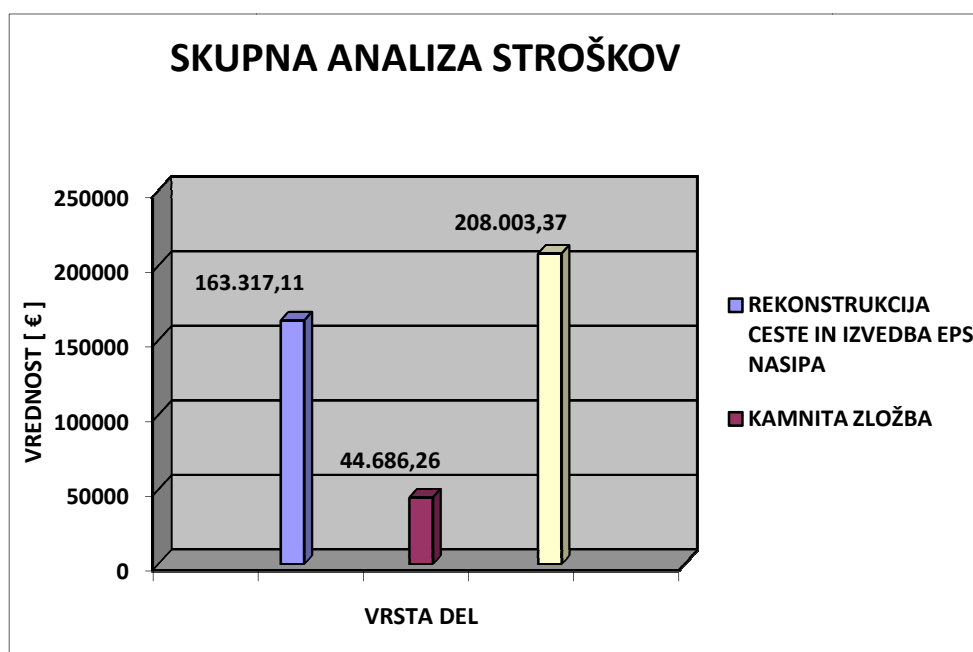
Količina uporabljenih blokov je 739,35 m³, število uporabljenih krempljastih plošč iz jeklene pločevine: 1915 kosov (2 plošči po kvadratnem metru plasti) (Prah, Di Batista, Vilhar, 1984, str. 31).

VRSTA DEL		VREDNOST [€]
A.	REKONSTRUKCIJA CESTE IN IZVEDBA EPS NASIPA	136.097,59
B.	KAMNITA ZLOŽBA	37.238,55
	SKUPAJ	173.336,14
	DDV 20%	34.667,23
	SKUPAJ Z DDV	208.003,37

Preglednica 16: Skupni strošek z uporabo EPS

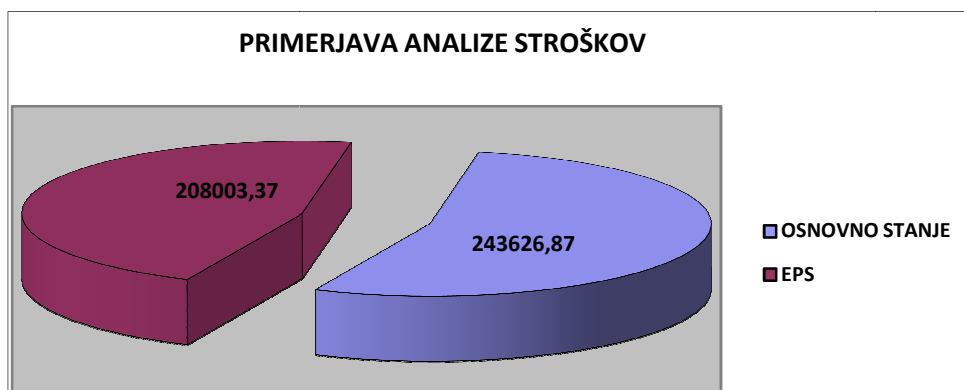


Grafikon 3: Skupni stroški brez DDV – SANACIJA Z EPS



Grafikon 4: Skupni stroški plus 20% DDV – SANACIJA Z EPS

6.5.3 PRIMERJAVA REZULTATOV



Grafikon 5: Primerjava analize stroškov

6.6 ČASOVNA REALIZACIJA PROJEKTA

Na podlagi dobljenih podatkov (Ozzing – Trbovlje, 45 str.) je dejanska sanacija trajala 61 dni \pm 5 dni.

Pri dejanski sanaciji je izdelava pilotne stene trajala cca 40 dni. Glede na to, da pri izvedbi sanacije z uporabo EPS-a ne bomo gradili pilotne stene, lahko sklepam, da bi bil v tem primeru čas trajanja sanacije krajši.

7. UGOTOVITVE O PREVERJENIH HIPOTEZAH

Na osnovi dobljenih rezultatov ugotavljam naslednje:

H1: Z uporabo ekspaniranega polistirena zagotovimo stabilnost plazov v primeru nizke vode.

❖ Hipoteza 1 je ovržena.

V primeru nizke vode in slabše karakteristike zemljine je rezultat z uporabo EPS na meji zahtevane varnosti. To lahko pripišem poteku kritične drsine skozi sloj, v katerem je nivo vodostaja. Z boljšimi karakteristikami zemljine bi se vrednost varnosti povečala in bi dosegla zahtevano varnost.

H2: Z uporabo ekspaniranega polistirena zagotovimo stabilnost plazov v primeru visoke vode, ki se pod cestnim nasipom drenira na nivo visoke vode.

❖ Hipoteza 2 je ovržena.

Glede na dobljene rezultate (Preglednica 11) niso dosežene zahtevane vrednosti varnosti v primeru, ko se visoka voda pred kamnito zložbo zaradi drenaže spusti na nivo visoke vode pod cestnim nasipom in naprej po pobočju. Problem predstavlja globalna stabilnost pobočja. Varnostni faktor je nad zahtevano vrednostjo, vendar ne dovolj, da lahko potrdimo hipotezo. Pobočje je na meji zdrsa. V vseh primerih govorim o globalni varnosti in o globokih drsinah. Vse plitve drsine so na globini cca 20 cm. Ta problem se rešuje s humusiranjem in zatratitvijo.

H3: Z uporabo ekspaniranega polistirena zagotovimo stabilnost plazov v primeru visoke vode, ki se pod cestnim nasipom drenira na nivo nizke vode.

❖ Hipoteza 3 je potrjena.

Tukaj so vrednosti varnostnih faktorjev nad zahtevano vrednostjo. Problemi plitvih drsin v pobočju se rešujejo z že znanimi ukrepi.

H4: Uporaba EPS je pri sanaciji plazu ekonomsko upravičena.

❖ Hipoteza 4 je potrjena.

Uporaba EPS v konkretnem primeru bi bila ekonomsko upravičena. Če pogledam dobljene rezultate (grafikona 2 in 4) vidim, da so stroški izdelave pilotne stene večji od skupnih stroškov rekonstrukcije ceste in izvedbe EPS nasipa. Omeniti moram, da so stroški z uporabo EPS približni, vendar je še vedno dovolj razlike v skupni vrednosti celotnega projekta (grafikon 5).

H5: Hitrost sanacije plazu se z uporabo EPS-a v primerjavi s klasičnim nasipnim materialom, poveča.

❖ Hipoteza 5 je potrjena.

Glede na čas gradnje oz. sanacije osnovnega stanja lahko trdim, da bi se z uporabo EPS čas gradnje zmanjšal.

8. STABILIZACIJA SERVISNEGA PLATOJA (PRIMER 2) Z UPORABO EPS

Kot sem že povedal, obravnava drugi primer izvedbo cestnega nasipa za lokalno cesto v Radečah, katere os se je morala zaradi gradnje bencinskega servisa premakniti proti strmejšem delu pobočja na projektiran nasip. Zaradi splošne nestabilnosti pobočja je bilo potrebno zagotoviti stabilnost servisnega platoja, ki leži delno v vkopu in cestnega nasipa, ki se v zgornjem delu naslanja na nestabilno pobočje, v spodnjem pa na servisni plato. Pobočje nad servisnim platojem je na meji stabilnosti že brez kakršnegakoli gradbenega posega vanj.

Pri dejansko izvedenem projektu je za zagotovitev stabilnosti servisnega platoja in pobočja nad njim izvedena pilotna stena v dolžini 110 m.

Na samem začetku računa stabilnosti, torej pri postavitvi robnih pogojev v programu Slide, sem bil prepričan, da bi se z uporabo EPS-a zagotovila stabilnost omenjenega pobočja. Moja lastna ocena je, da bi v primeru uporabe EPS zmanjšali težo cestnega nasipa in posledično celotno težo nad drsno ploskvijo.

V nadaljevanju podajam izračun stabilnosti za tri značilne geološke prereze stabilizacije servisnega platoja z uporabo EPS.

8.1 RAČUN STABILNOSTI OBSTOJEČEGA STANJA

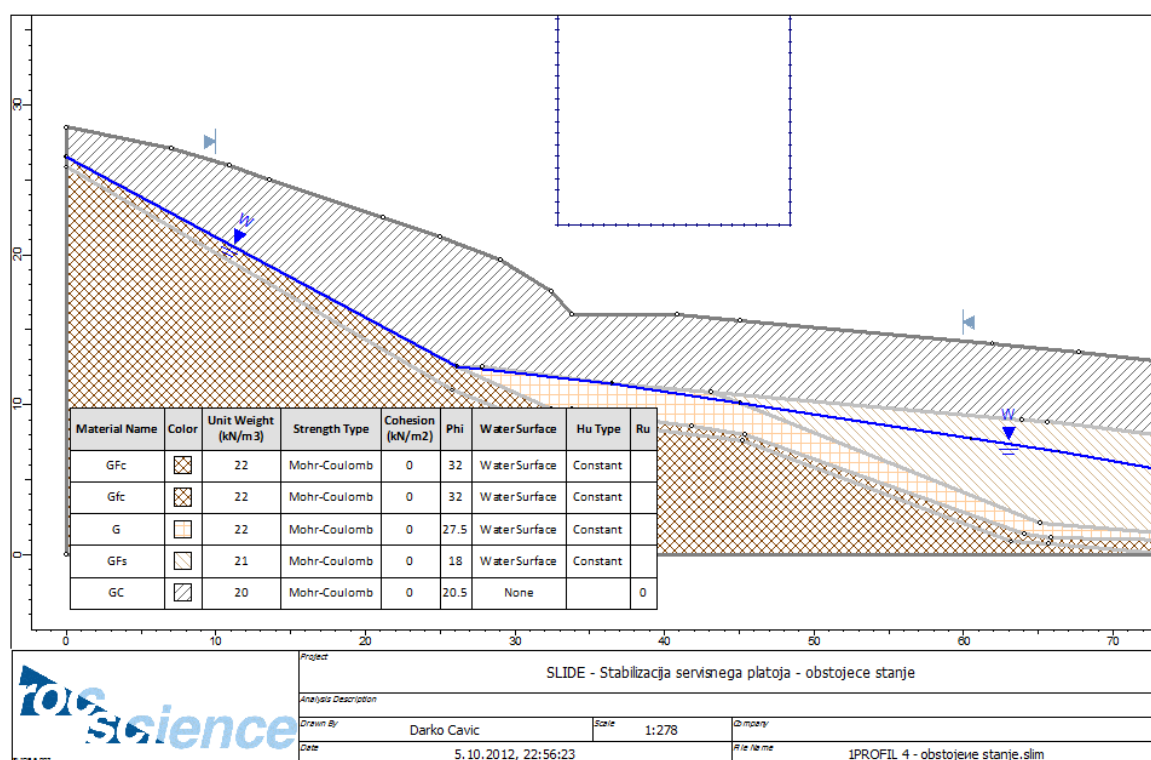
Pri računu stabilnosti obstoječega stanja v profilu 4 (slika 60) vidimo, da je varnost proti zdrsni pod minimalno vrednostjo $F = 1$, vrednost na meji zdrsna. To pomeni, da je varnost tudi brez kakršnegakoli posega v pobočje ogrožena.

V profilu 6 (slika 62) je podobno kot v profilu 4 varnost ogrožena brez kakršnegakoli posega v pobočje.

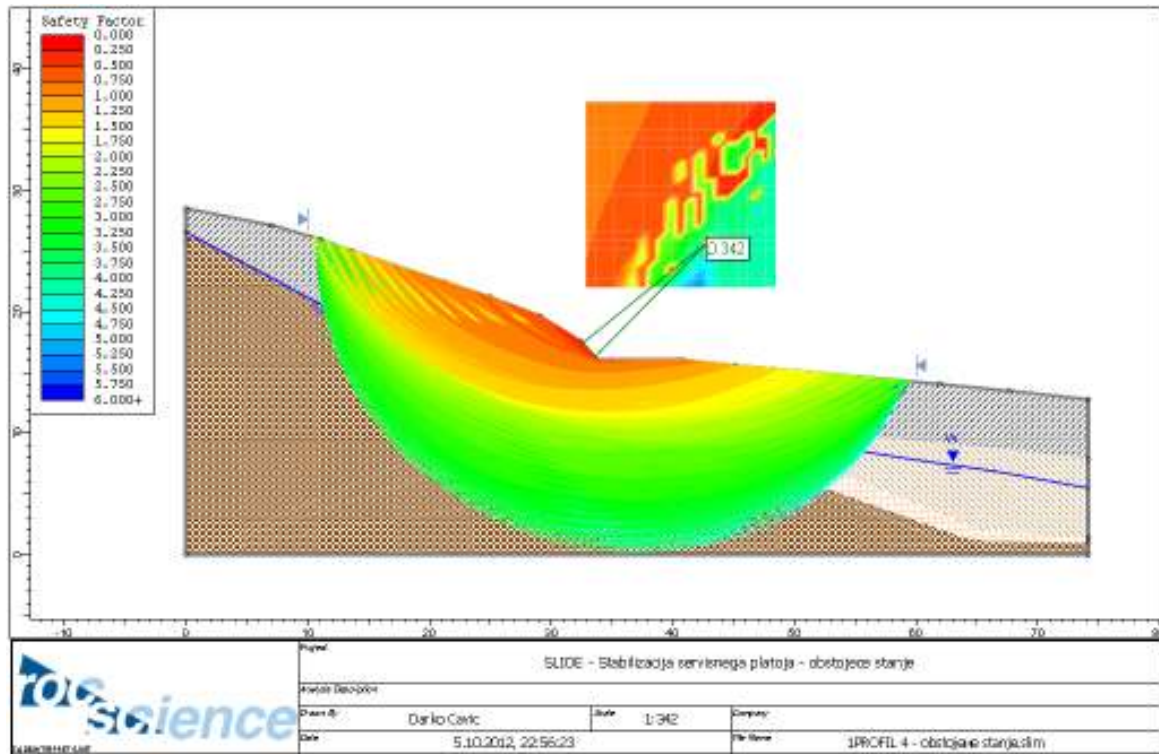
V profilu 8 se kažejo samo lokalni zdrsi pobočja, ki imajo zelo nizek varnostni faktor, njegova globalna stabilnost pa je boljša.

VARIANTA II						
	GW	GC	GFs	G	GFc	EPS
Prostorninska teža (γ) [kN/m ³]	19	20	21	22	22	0,3
Kohezija (c) [kN/m ²]	0	0	0	0	0	59.75
Strižni kot (φ) [°]	35	20,5	18	27,5	32	6

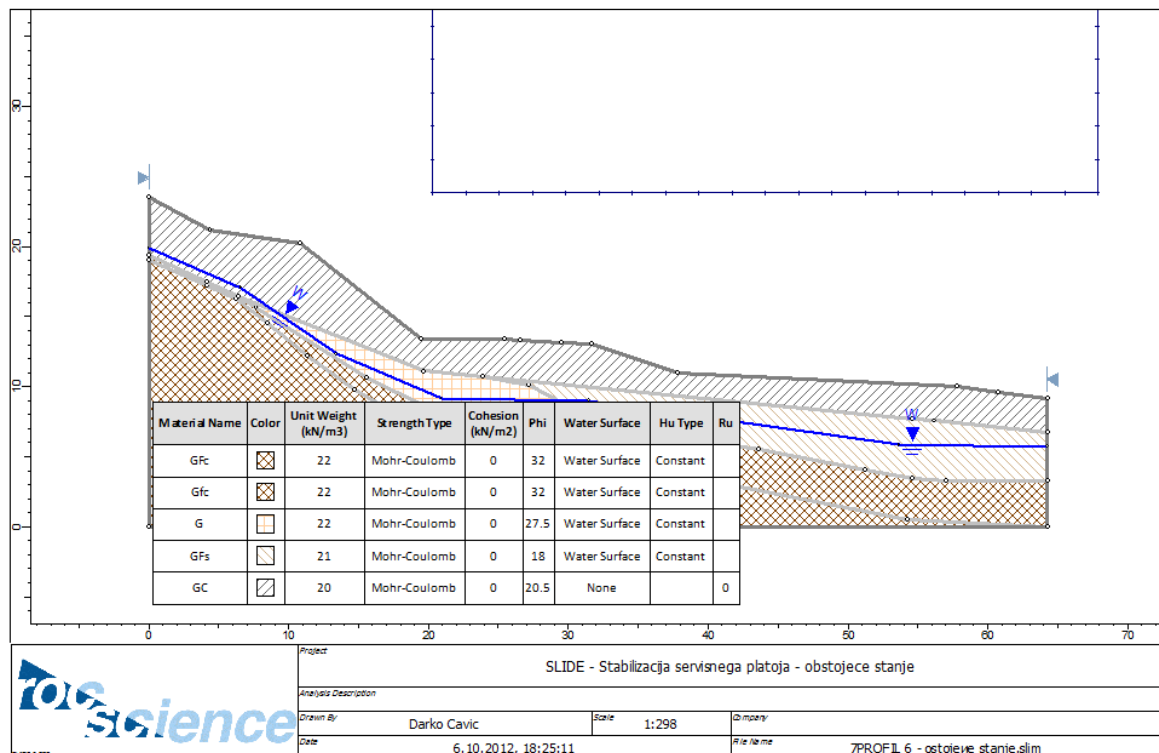
Preglednica 17: Karakteristične vrednosti zemljin



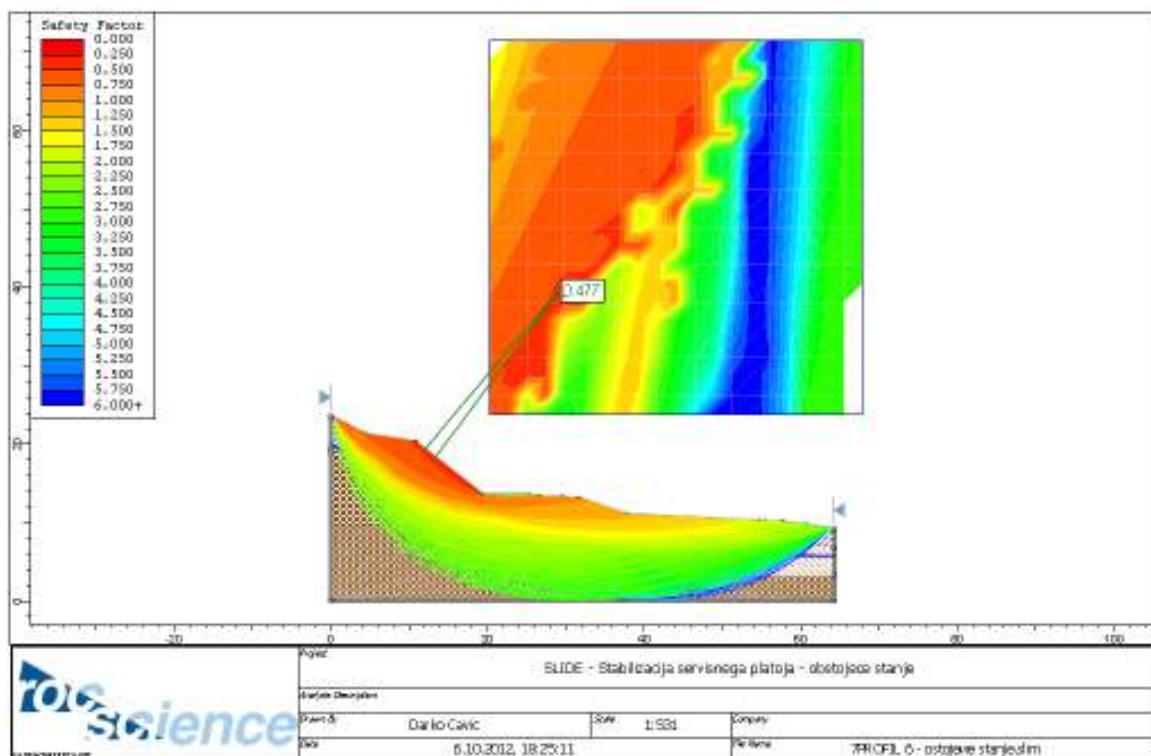
Slika 59: Stabilizacija servisnega platoja – obstoječe stanje – PROFIL 4



Slika 60: Stabilizacija servisnega platoja – kritična drsina – PROFIL 4
 $F = 0,342$

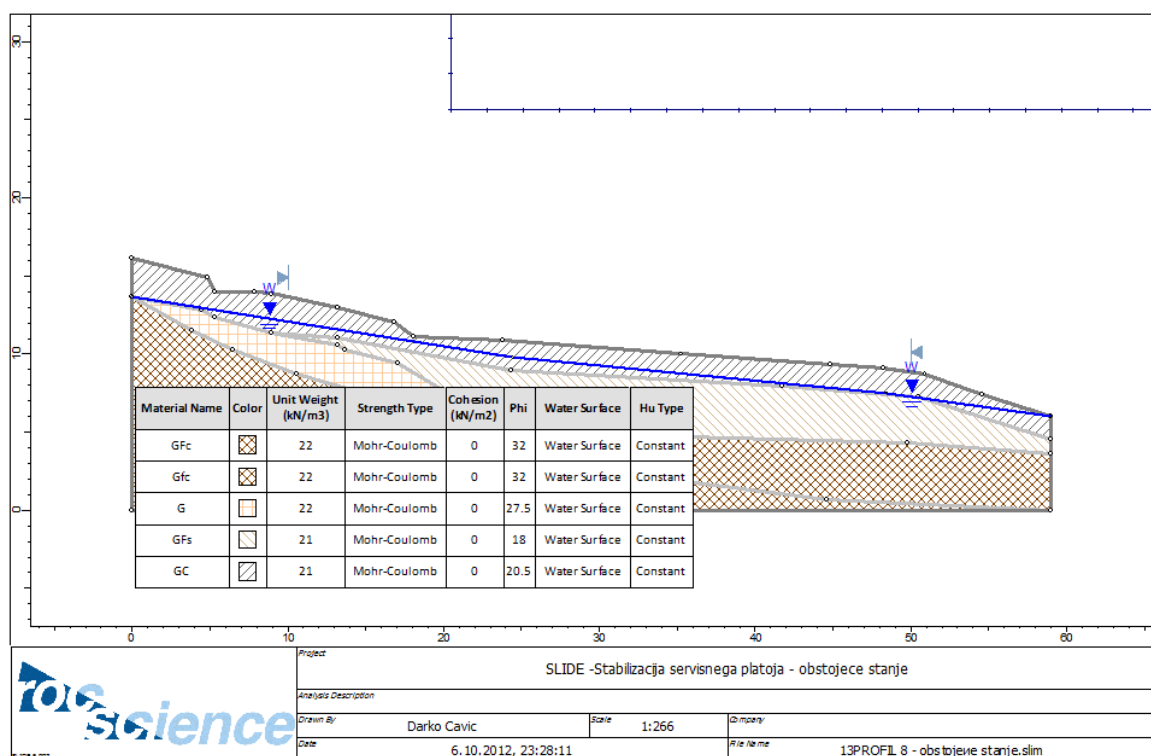


Slika 61: Stabilizacija servisnega platoja – obstoječe stanje – PROFIL 6

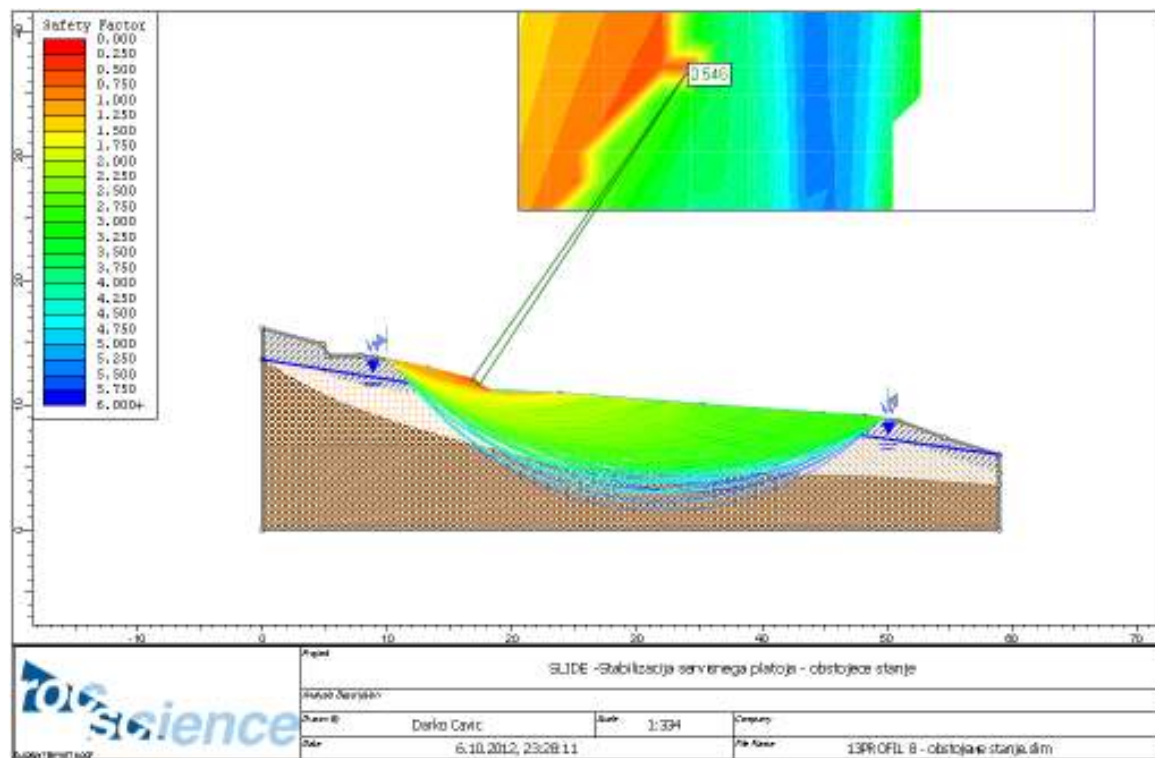


Slika 62: Stabilizacija servisnega platoja – kritična drsina – PROFIL 6

$$F = 0,477$$



Slika 63: Stabilizacija servisnega platoja – obstoječe stanje – PROFIL 8



Slika 64: Stabilizacija servisnega platoja – kritična drsina – PROFIL 8
 $F = 0,546$

8.2 RAČUN STABILNOSTI – PROFIL 4

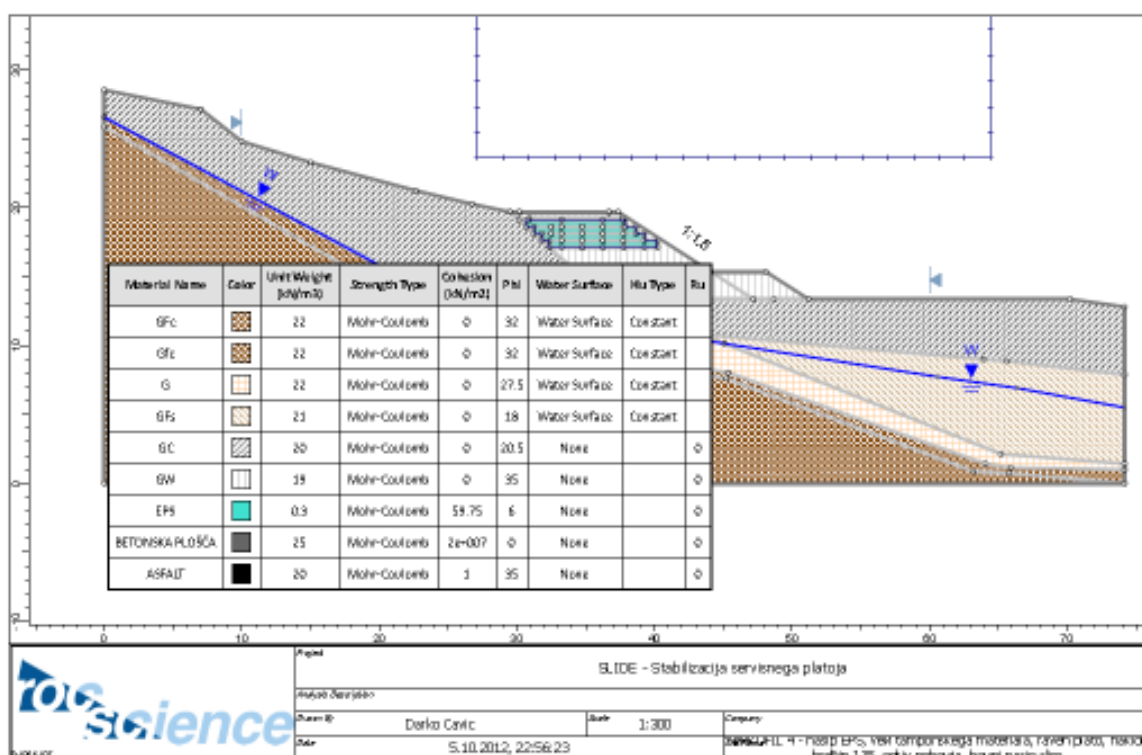
Pri računu stabilnosti servisnega platoja, cestnega nasipa in pobočja nad njim, sem upošteval enake karakteristike kot v obstoječem stanju. V prvotni fazi sem celoten nasip izdelal iz EPS in zahtevana varnost ni bila dosežena.

Če bolj podrobno pogledamo izhodiščno stanje, vidimo, da bi v primeru izdelave nasipa iz klasičnega nasipnega materiala dodatno podprli pobočje nad nasipom in tako zagotovili stabilnost pobočja. Tukaj se pojavi drugi problem, problem stabilnosti servisnega platoja pod cestnim nasipom in globalna stabilnost celotnega območja.

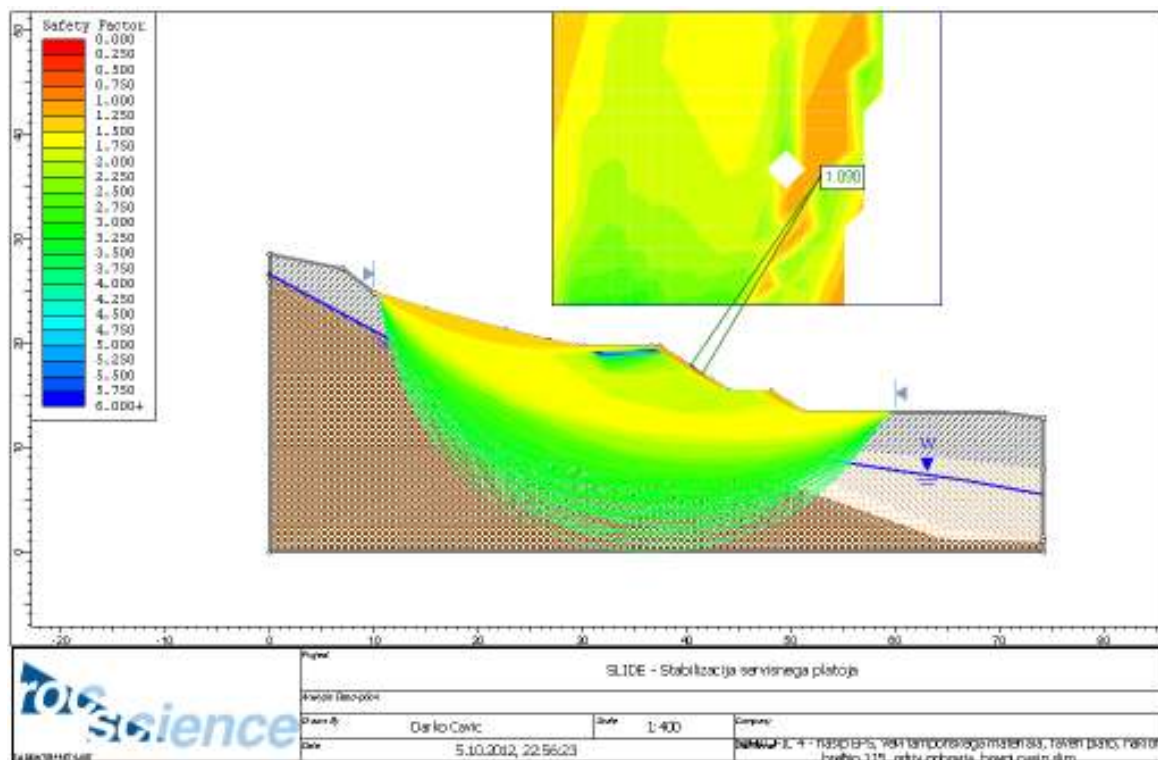
Zahtevana varnost pri uporabi EPS ni dosežena, ker se EPS kot ne sipek material ni opiral na pobočje in ga pri tem ni dodatno stabiliziral, ampak se je samo naslonil nanj.

V nadaljevanju podajam izračun stabilnosti servisnega platoja z uporabo kombinacije klasičnega nasipnega materiala in EPS in izvedbe bočnega nasipa.

Na podlagi dobljenih rezultatov sem dosegel zahtevano varnost. V območju brežin (slika 66) se pojavijo lokalni zdrsi, katere stabiliziram s humusiranjem in zatravitvijo. Globalna varnost je krepko nad zahtevano, enako tudi varnost pobočja nad nasipom. Varnost je zagotovljena z izdelavo kombiniranega cestnega nasipa iz EPS in klasičnega nasipnega materiala in bočnega nasipa, ki dodatno podpira celotno pobočje in nasip.

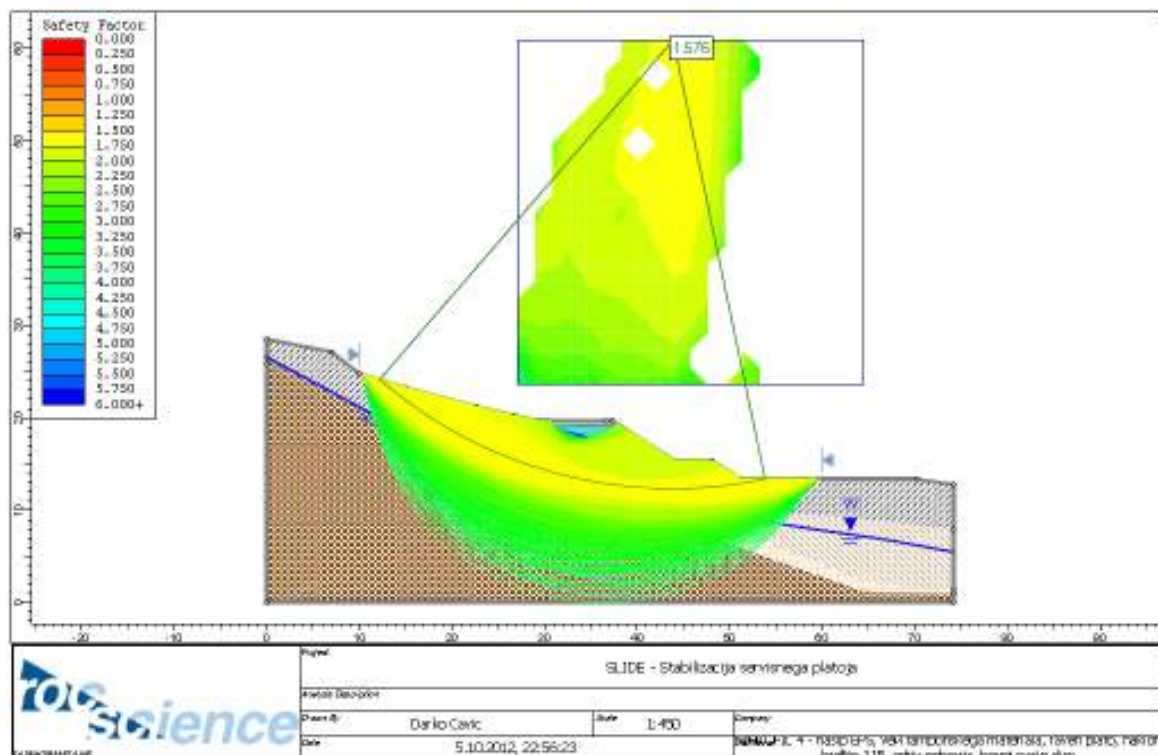


Slika 65: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija – PROFIL 4



Slika 66: Stab. servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – PROFIL 4

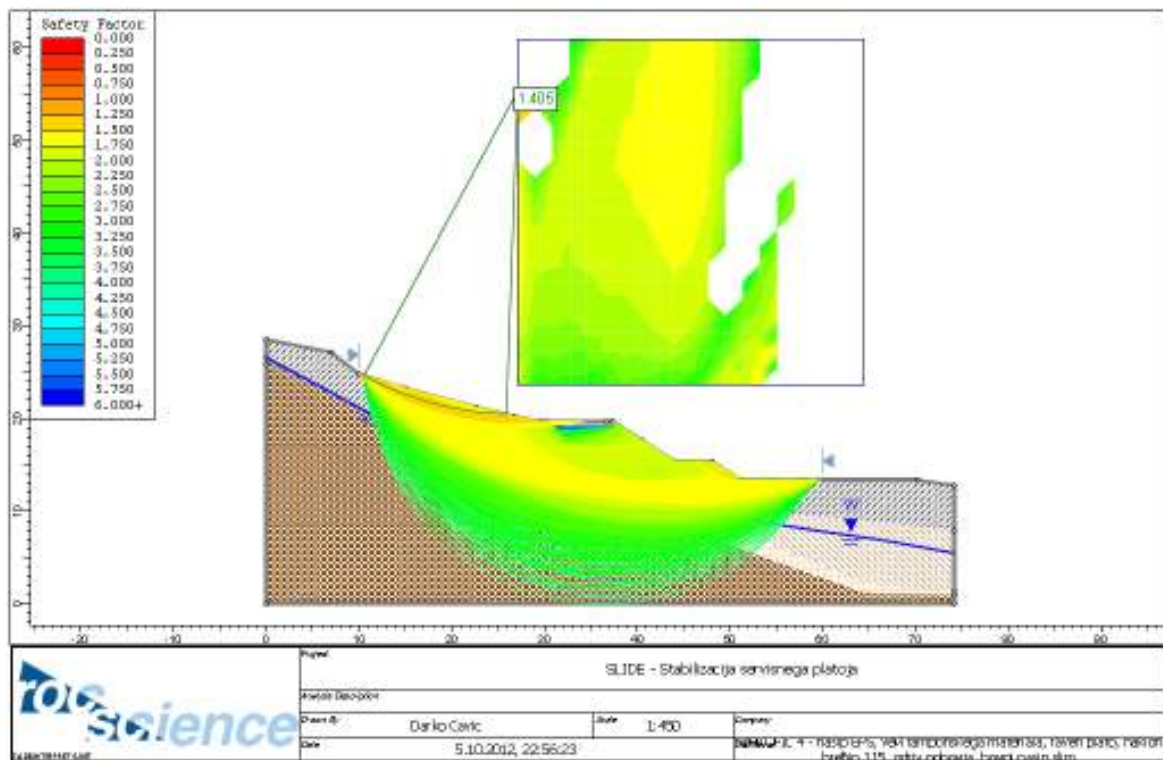
$F = 1,090$



Slika 67: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 1,5m –

PROFIL 4

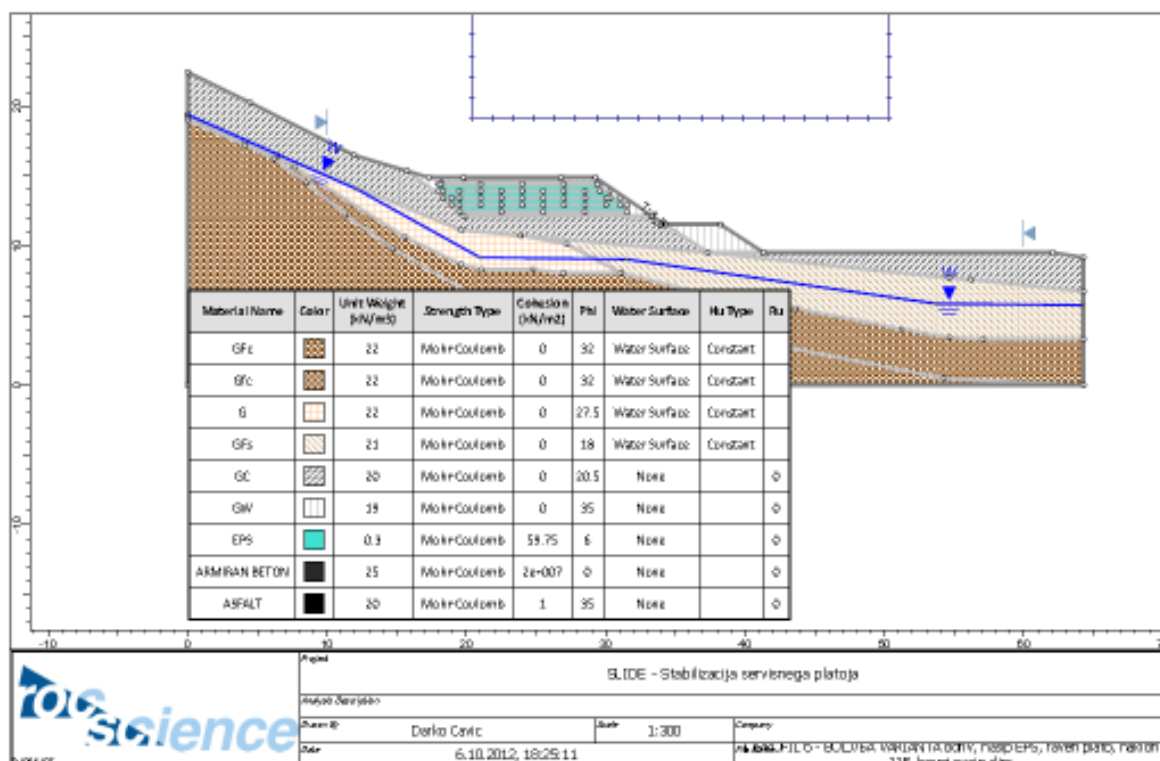
$F = 1,576$



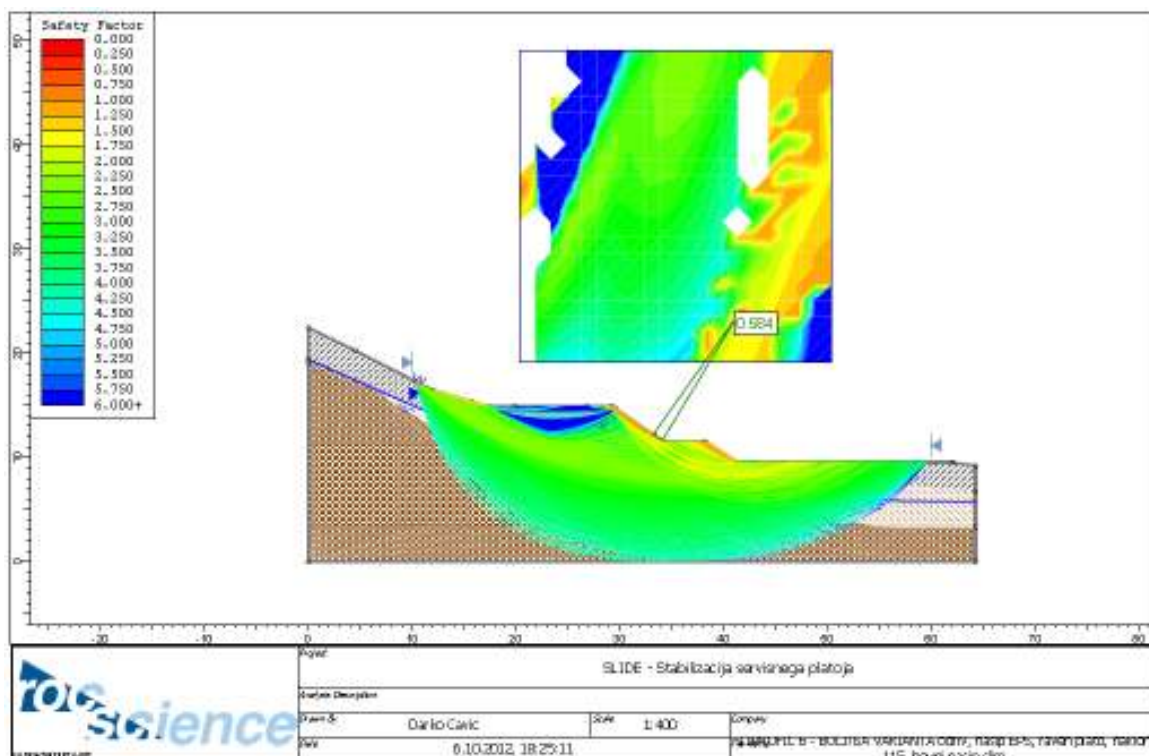
Slika 68: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – globina
0,5 m – PROFIL 4
 $F = 1,405$

8.3 RAČUN STABILNOSTI – PROFIL 6

Enako kot pri prvem profilu je tudi pri tem zagotovljena zahtevana vrednost varnosti. Tudi v tem primeru se pojavijo lokalni zdrsi brežine. Stabilnost nasipa in pobočja nad njim pa je zagotovljena. Kombiniran nasip stabilizira pobočje, obenem pa zagotavlja globalno stabilnost celotnega območja.

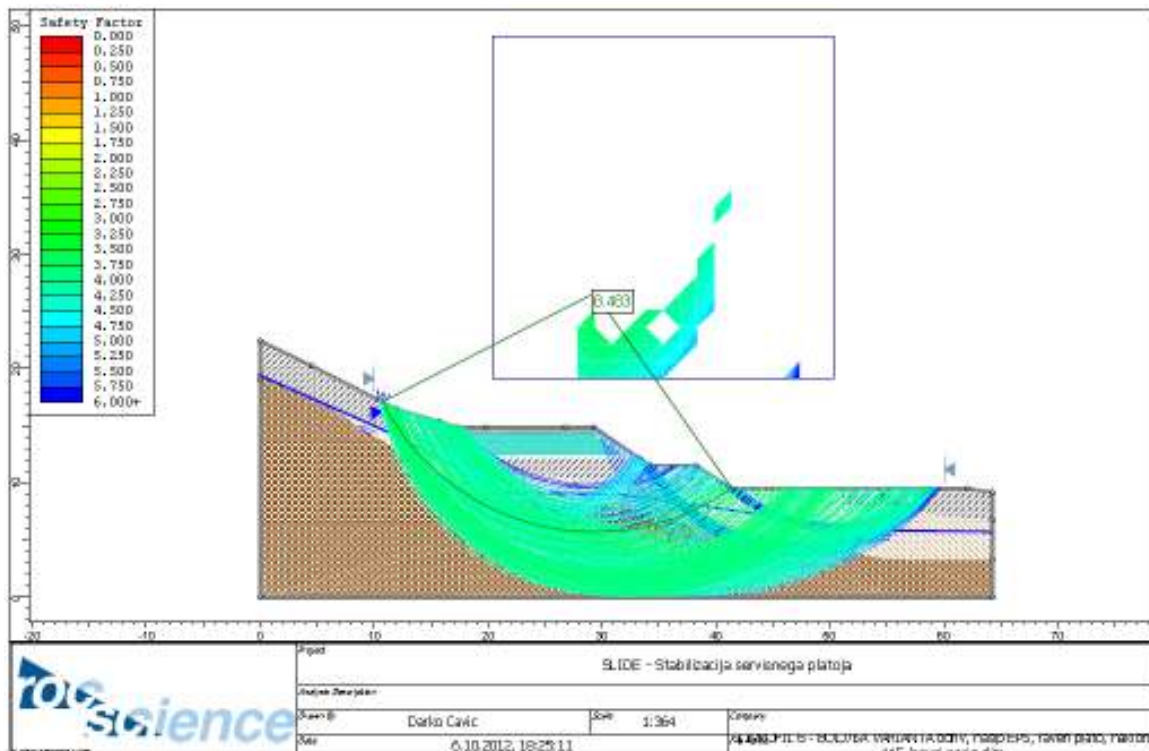


Slika 69: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija – PROFIL 6



Slika 70: Stab. servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – PROFIL 6

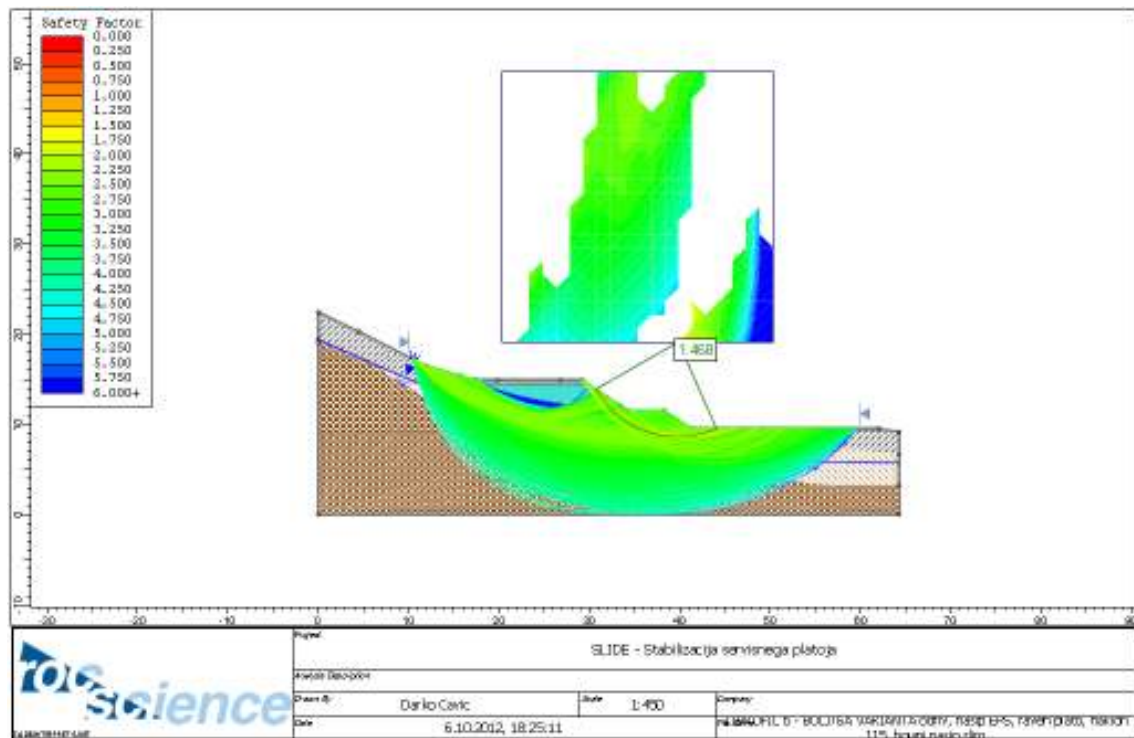
$$F = 0,584$$



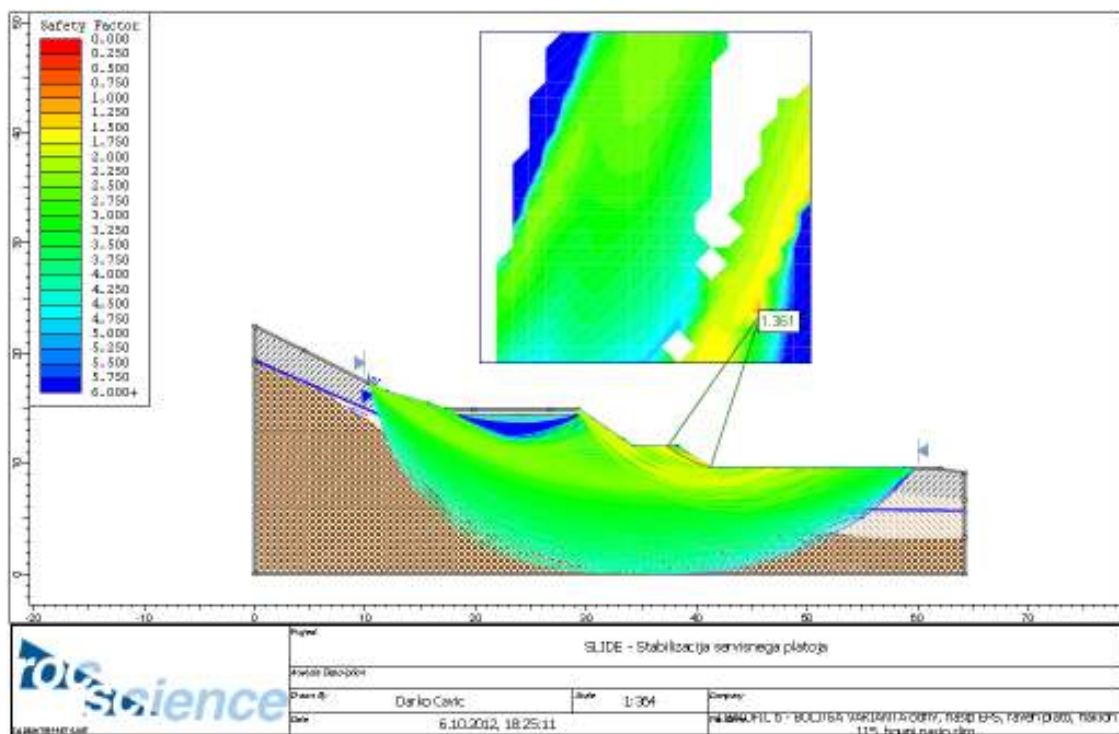
Slika 71: Stab. serv. platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 3 m –

PROFIL 6

$$F = 3,483$$



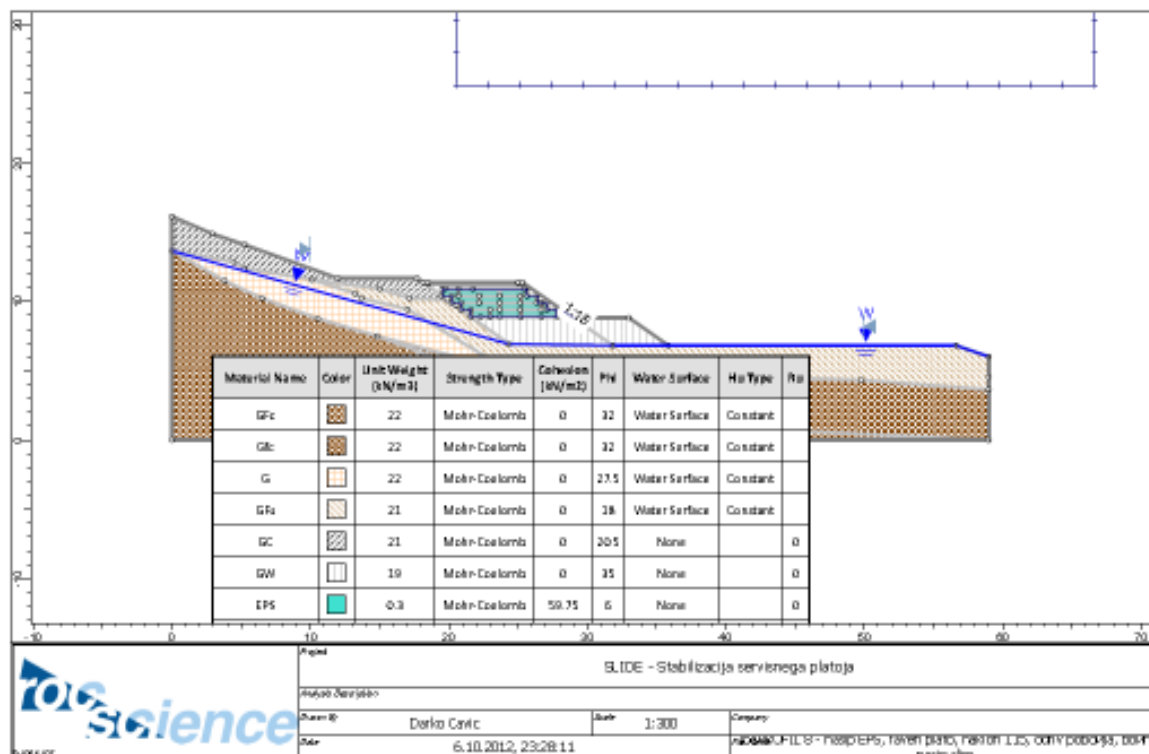
Slika 72: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 1,5m –
PROFIL 6
 $F = 1,468$



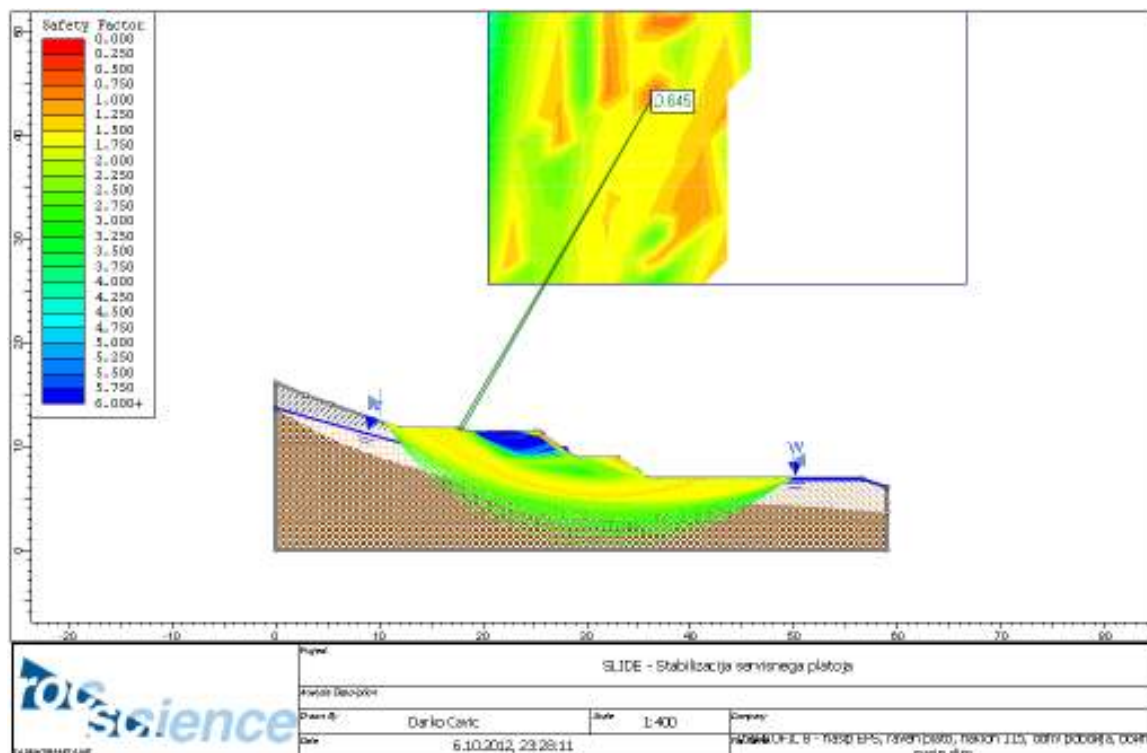
Slika 73: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 0,5m –
PROFIL 6
 $F = 1,361$

8.4 RAČUN STABILNOSTI – PROFIL 8

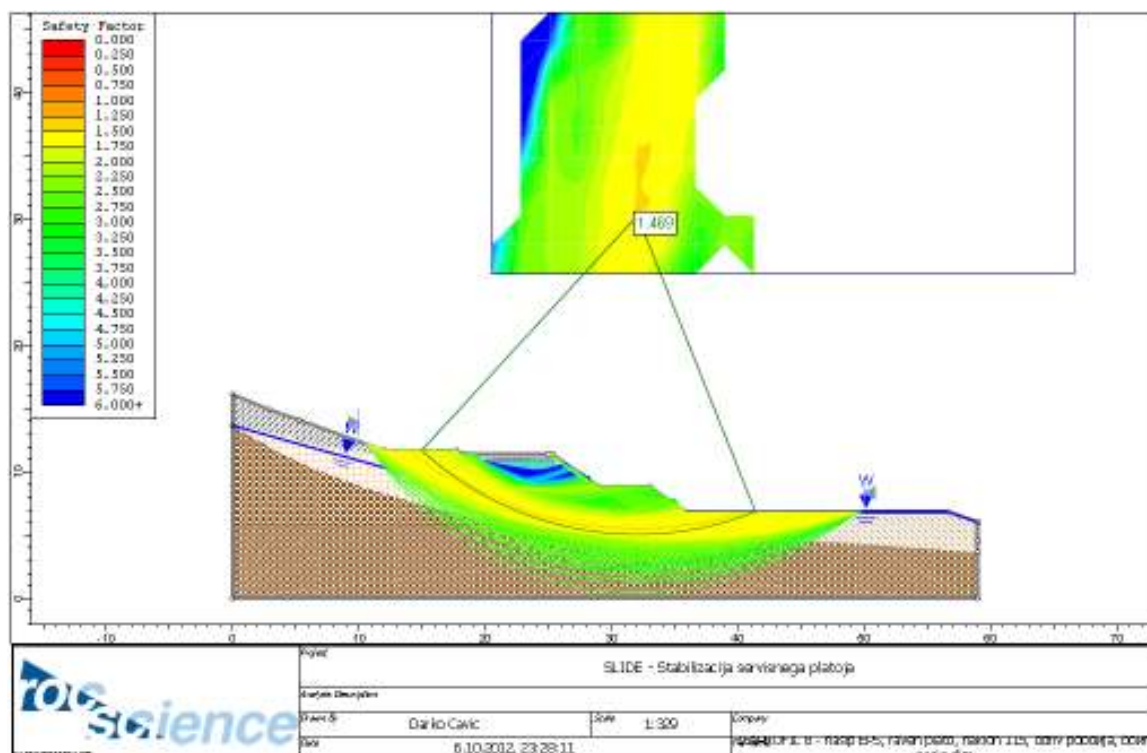
Enako kot v prvih dveh primerih se tudi v tem primeru pojavijo lokalni zdrsi brežine, medtem ko je globalna varnost celotnega območja, nasipa in pobočja zagotovljena.



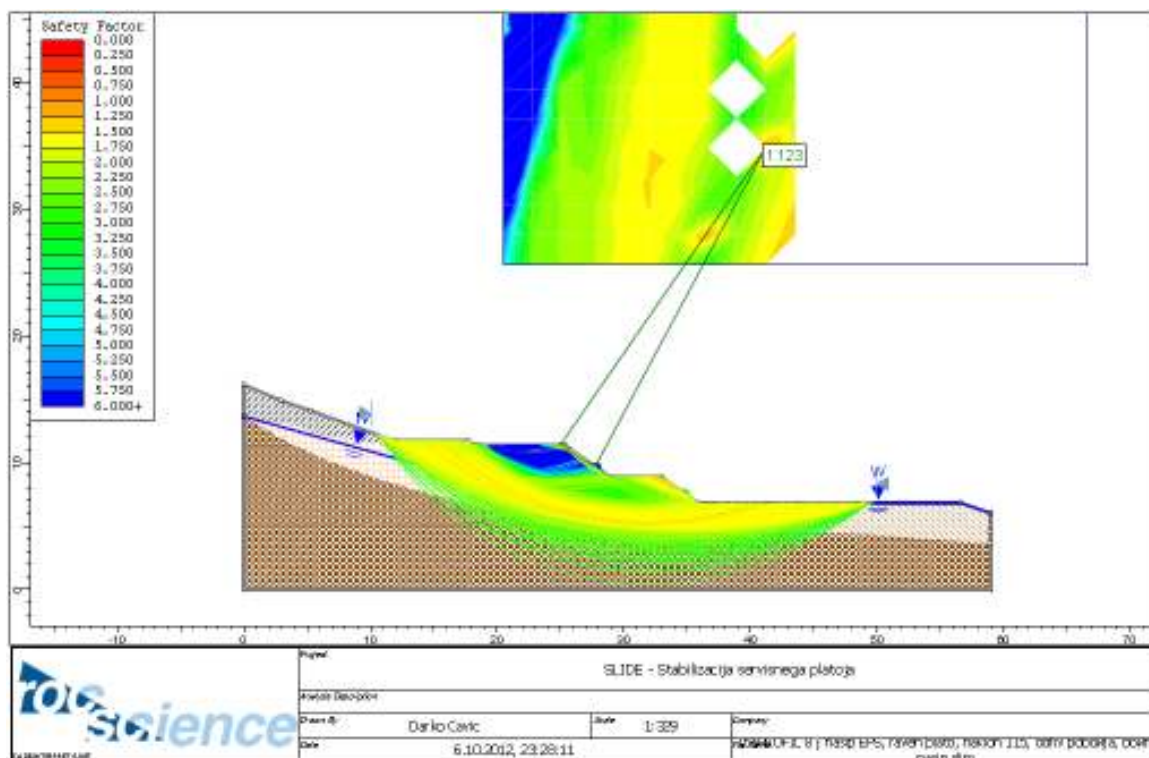
Slika 74: Stabilizacija servisnega platoja – predlagana sanacija – PROFIL 8



Slika 75: Stab. servisnega platoja – predlagana sanacija - kritična drsina – PROFIL 8
 $F = 0,645$



Slika 76: Stab. serv. plat. – predlagana sanacija - kritična drsina – globina 1,5m –
PROFIL 8
 $F = 1,469$



Slika 77: Stab. serv. plai.–predlagana sanacija - kritična drsina–globina 0,2m –PROFIL 8

$$F = 1,123$$

8.5 STROŠKOVNA ANALIZA

Glede na to, da je ta projekt že relativno starejši, stroškovne ocene projekta nisem delal.

Vemo, da je bila za stabilizacijo servisnega platoja narejena pilotna stena dolžine 110 m (34 pilotov premera 1,25 m, različnih dolžin). Vemo, da so projekti takšne vrste precej dragi, to smo videli v prvem primeru (stabilizacija plazu).

Menim, da bi bili v primeru sanacije z uporabo EPS investicijski stroški približno enako veliki, kot dejansko izvedena sanacija. V spodnji tabeli podajam strošek EPS, ki bi bil uporabljen v tem projektu.

Glede časovne komponente menim, da bi bil v primeru uporabe EPS čas izvedbe sanacije krajši.

VRSTA MATERIALA	KOLIČINA	VREDNOST
EPS	2060 m ³	232.829,40 €
KREMLJASTA PLOŠČA	16720 kom	30.096,00 €
	SKUPAJ	262.925,40 €

Preglednica 18: Strošek uporabe EPS

9. UGOTOVITVE O PREVERJENI HIPOTEZI

Na osnovi dobljenih rezultatov ugotavljam naslednje:

- ❖ H6: Cestni nasip in pobočje sta v primeru uporabe EPS stabilna.

Hipoteza je potrjena.

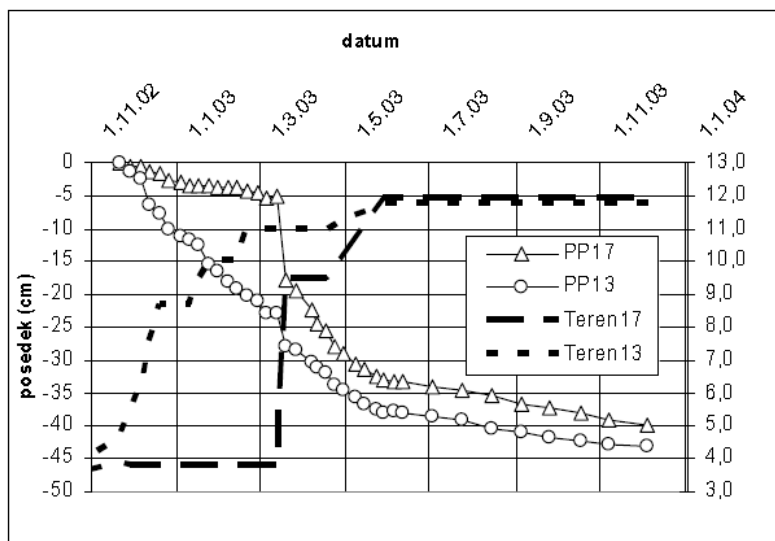
Glede na dobljene rezultate stabilnostnih analiz karakterističnih profilov trdim, da bi v primeru uporabe EPS, oziroma v kombinaciji s klasičnim nasipnim materialom zagotovili stabilnost servisnega platoja, cestnega nasipa in pobočja nad njim. Sklepam, da je bila dejanska izvedena sanacija v času realizacije projekta najbolj primerna rešitev glede na razpoložljiva sredstva.

10. IZKUŠNJE IZ PRETEKLOSTI

Mehka temeljna tla so pri gradnji zelo visokih nasipov lahko problematična. Pri gradnji nasipov lahko pride do porušitve temeljnih tal. Še večji problemi se lahko pojavijo pri gradnji nasipov, ko se nasipi priključijo na premostitvene objekte, viadukte, podvoze, nadvoze. Pri gradnji nasipov ob premostitvenih objektih na slabo nosilnih tleh je potrebno veliko pozornosti posvetiti izdelavi nasipa v okolici premostitvenega objekta. Izkušnje iz preteklosti so nas naučile, da izdelava nasipa v okolici premostitvenih objektov, podvozov, ki so lahko temeljena na pilotih, pripeljejo do velikih deformacij delov premostitvenih objektov.

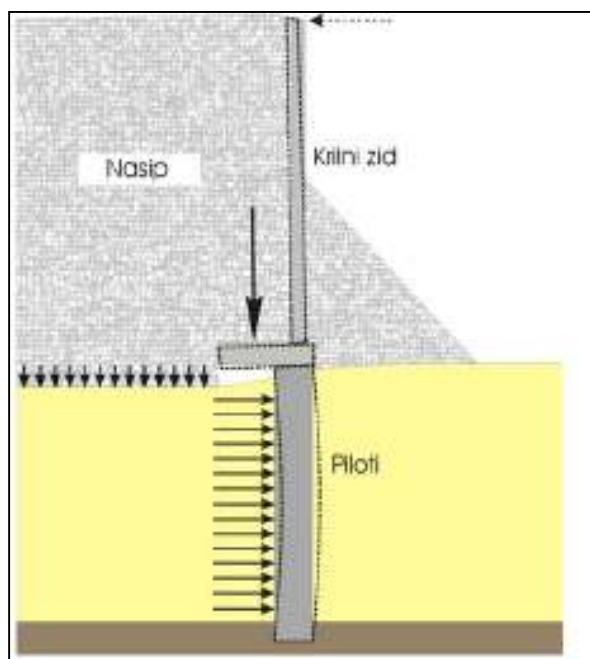
Tovrstne poškodbe so se zgodile pri gradnji nasipa Srmin na Avtocesti Klanec – Srmin. Gradnja nasipa v okolici podvoza Luka se ni izvajala vse dokler ni bil objekt s svojimi krilnimi zidovi dokončan. Podvoz je zasnovan kot globoko temeljena stenasta konstrukcija in je zaradi višine nasipa, ki na tem mestu znaša 10 m, zelo visok. Objekt je temeljen na uvrtnih pilotih premera 125 cm. Krilna zidova sta od objekta dilatirana, temeljena pa na enakih pilotih kot objekt. Dodatna značilnost krilnih zidov je, da je na nivoju temelja krajša konzolna plošča, ki sega v zaledje.

Glede na razmeroma počasno gradnjo nasipa v okolici je presenetljivo dejstvo, da so »manjkajoči« nasip v neposredni okolici podvoza po dokončanju del na objektu v sredini marca 2003 izvedli praktično čez noč. Mehka tla, kjer vsak meter nasipa povzroči približno 5 cm posedka, so se po zasutju podvoza v samo nekaj dneh posedla za 15 cm (slika 78). Na sliki je prikazana gradnja nasipa (črtkani črti) in merjeno posedanje dveh točk. Točka PP17 je v neposredni bližini objekta, kjer je bil nasip zgrajen skoraj hipno, za primerjavo pa je prikazano še posedanje točke PP13, ki je dobrih 30 m stran, kjer je gradnja nasipa potekala v dogovorjenih časovnih rokih (Logar, Ravnikar Turk, 2004).



Slika 78: Posedki nasipa pri podvozu Luka
(Logar, Ravnikar Turk, 2004)

Najbolj presenetljivo pri deformaciji krilnega zidu je, da se je njegov vrh pomaknil v nasip. Skica na sliki 79 skuša razložiti kaj se je zgodilo. Zaradi posedka je pod temeljem nastal prazen prostor, celotna teža nasipa se je naslonila na konzolo. Istočasno pa je velika obtežba nasipa v tleh povzročila bočne deformacije, ki so ji vsaj deloma sledili tudi piloti.

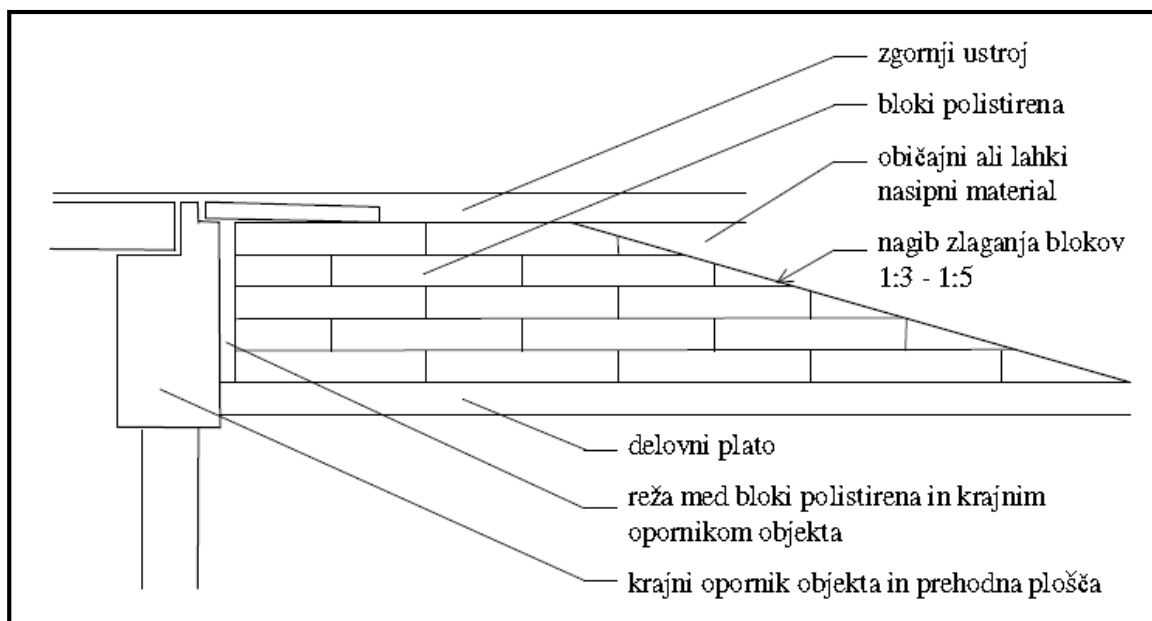


Slika 79: Shematska razlaga za zasuk krilnega zidu proti nasipu
(Logar, Ravnikar Turk, 2004)

V geotehničnem poročilu je bilo predlagano, da se na mestu podvoza najprej zgradi nasip na gruščnatih kolih, ki se po konsolidaciji tal odstrani in na tako pripravljenih tleh izdelava podvoz. Ker predstavlja podvoz v nasipu pomembno razbremenitev glede na »poln« nasip, predhodnega nasipa ne bi bilo potrebno izdelati v polni višini oziroma ne bi bilo potrebno čakati popolne konsolidacije pod nasipom. Tak način dela bi bil zamudnejši in dražji (Logar, Ravnikar Turk, 2004).

Po mojem mnenju bi bila druga možna rešitev ta, da bi v okolici podvoza izdelali nasip iz EPS-a in s tem preprečili posedke temeljnih tal. Glede na to, da EPS ni sipek material, bi posledično preprečili tudi bočne pritiske in deformacije na pilote in na krilna zidova.

Pri tem je treba upoštevati, da se prehod iz zelo lahkega nasipnega materiala v običajni nasipni material v vzdolžni smeri izvede v naklonu 1:5, kot je razvidno iz slike 81 (Oblak, 2006, str. 159).



Slika 80: Vzdolžni prerez priključnega nasipa k premostitvenemu objektu
(Oblak, 2006, str. 158).

11. ZAKLJUČEK

Stiropor ima v gradbeništvu zelo širok spekter uporabe. Pri geotehničnih gradnjah se v svetu uporablja že desetletja in se je kot lahek nasipni material zelo uveljavil pri gradnji objektov na slabo nosilnih temeljnih tleh.

V Sloveniji je bil stiropor prvič uporabljen leta 1982, pri izdelavi poskusnega nasipa na območju sedanje industrijske cone Rudnik v Ljubljani.

Pri izdelavi nasipov in drugih geotehničnih objektov na slabo nosilnih tleh je treba veliko pozornosti nameniti izdelavi kvalitetnih geološko geotehničnih elaboratov, ki jih izdelajo geotehniki. Na podlagi izdelanih geološko geotehničnih preiskav je potrebno analizirati možne rešitve izvedbe tovrstnih geotehničnih del.

Vsaka predlagana rešitev ni nujno tudi najboljša rešitev. Pogosto se zgodi, da najbolj primerne rešitve iz takšnih ali drugačnih razlogov ne moremo sprejeti kot optimalne. Seveda se moramo zavedati, da je varnost konstrukcije tista, ki ima vodilno vlogo pri odločitvi, kako se bomo lotili posameznega primera. Velikokrat odigra pomembno vlogo pri odločitvi tudi ekonomska upravičenost.

Pri analizi prvega primer, sanacija plazu Prapretno, pomembno vlogo za zagotovitev stabilnosti je imela višina podtalne vode. Tukaj se pojavlja problem nihanja podtalne vode in s tem posledično zagotavljanja stabilnosti. V primeru, ko je podtalna voda nizka, je globalna stabilnost zagotovljena.

V drugem primeru, ko je podtalna voda visoka sta prikazani dve varianti. V prvi varianti, ko se visoka voda pod cestnim nasipom drenira na nivo visoke vode, stabilnosti ne zagotovimo. V drugi varianti, ko se visoka voda drenira na nivo nizke vode je globalna stabilnost zagotovljena, kar pomeni, da nivo podtalne vode ima pomembno vlogo pri zagotavljanju stabilnosti.

Skozi izdelavo diplomske naloge sem uvidel, da je lahko, vendar ne vedno, sanacija z uporabo EPS cenejša in ima enako dobro varno konstrukcijo, kot že obstoječa sanacija, narejena iz drugih materialov.

Sprašujem se, zakaj se projektanti odločajo za bolj kompleksno izvedbo projekta, ki lahko podaljša čas izvedbe tudi za enkrat več, saj lahko z uporabo drugih materialov ter načinov izvedbe pridejo do enakega rezultata.

Menim, da se moramo vsi zavedati, da pri odločitvi veliko pomenijo izkušnje iz predhodnih projektov. V diplomski nalogi je pri osnovnem stanju izvedena pilotna stena. Verjamem, da je izvedba pilotne stene za gradbenika že uporabljena praksa, medtem ko so izvedbe nasipov iz lahkih materialov v Sloveniji, lahko rečem, neznanka. Drugi parameter, ki odločilno vpliva, zakaj se ne odločamo za uporabo EPS je tudi njegova cena, ki je v primerjavi s klasičnimi nasipnimi materiali, tudi do 10 krat višja.

Menim, da bi lahko v prihodnosti pri idejni zasnovi novega ali pri rekonstrukciji že obstoječega geotehničnega objekta na slabo nosilnih tleh kot možno rešitev izvedbe obravnavali uporabo EPS kot lahkega nasipnega materiala. Verjamem, da bi bili ob tem gradbeniki pozitivno presenečeni!

VIRI

UPORABLJENI VIRI

- Crnkovič-Klanjšek, J. 2009. Geološko geotehnično poročilo. Geološko geotehnično poročilo o pogojih sanacije plazov in ocena stroškov sanacije. Trbovlje, Ozzing: 10 str.
- Kunič, R. 2010. *Temeljenje in nasipi iz ekspaniranega polistirena*. V: Zbornik referatov / 10. slovenski kongres o cestah in prometu, (str. 1394–1402); [organizirala] DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, [v sodelovanju s slovenskimi društvi, ki delujejo na področju prometne infrastrukture], 2 zv.; [Portorož, 20.–22. oktobra 2010].
- Logar, J. & Ravnikar Turk, M. 2004. Medsebojno delovanje nasipa Srmin in objektov ob njem. V: Zbornik 26. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 28.–29. oktober 2004.- Str. 111–118. Ljubljana: Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, 2004 (Ljubljana : Formatisk):
- Marodi, L. 2011) Analiza in sanacija plazov Prapretno. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG (samozaložba L. Marodi): 64 str.
- Oblak, R. 2006. Načrtovanje, gradnja in spremljanje zemeljskih del pri gradnji prometnic. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG (samozaložba R. Oblak): 260 str.
- Prah, L., Di Batista, M. & Vilhar, M. 1984. Nasipi iz zelo lahkih materialov. Ljubljana; Univerza v Ljubljani, FGG: 71 str.
- Vojinović, B. 1994. Stabilizacija servisnega platoja v Radečah. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG (samozaložba B. Vojinović): 91 str.

ELEKTRONSKI VIRI

Achfoam. 2012.

<http://www.achfoam.com> (Pridobljeno julij – november 2012.)

<http://www.achfoam.com/media/docs/Projects/Cottonwood%20Street.pdf> (Pridobljeno julij – november 2012.)

Benchmarkfoam. 2012.

<http://www.benchmarkfoam.com> Pridobljeno. 2012.

Eurogeo5. 2012.

http://www.eurogeo5.org/img/5_i.pdf Pridobljeno (1.11.2012.)

Foam control. 2012.

<http://www.foam-control.com/default.asp> Pridobljeno (2.11.2012.)

Fragmat. 2012.

<http://www.fragmat.si/download/clanki/Stiropor%20izolacijski%20material%20bodocnos%20ti.pdf> Pridobljeno (10.12.2012.)

<http://www.fragmat.si/download/clanki/Stiropor%20izolacijski%20material%20bodocnos%20ti.pdf> Pridobljeno (23.7.2012.)

<http://www.fragmat.si/slo/index.htm> Pridobljeno (22.7.2012.)

Geofoam. 2012.

http://geofoam.syr.edu/GRC_back.asp Pridobljeno (16.10.2012.)

http://geofoam.syr.edu/GRC_Slope.asp Pridobljeno (2.11.2012.)

http://geofoam.syr.edu/GRC_embnk.asp Pridobljeno (6.11.2012.)

Kaj lahko recikliramo. 2012.

<http://www.lep-planet.si/kaj-lahkorecikliramo/embalaza/stiropor> Pridobljeno (22.7.2012)

Lep planet. 2012.

<http://www.lep-planet.si/kaj-lahko-recikliramo/embalaza/stiropor> Pridobljeno
(22.7.2012.)

Polimeri. 2012.

<http://www.google.si/#hl=sl&sclient=psy-ab&q=polimerni+materiali+lastnosti>

Pridobljeno (22.7.2012.)