

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidatka:

Polona Oražem

**Primerjava variant podpiranja brežine nasipa
na primeru centra za ravnanje z odpadki
Dolenjska**

Diplomska naloga št.: 348

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 5. 11. 2009

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **POLONA ORAŽEM** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
**»PRIMERJAVA VARIANT PODPIRANJA BREŽINE NASIPA NA PRIMERU
CENTRA ZA RAVNANJE Z ODPADKI DOLENJSKA«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 24. 9. 2009

(podpis)

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju, izr. prof. dr. Janku Logarju. Zahvaljujem se tudi Lari Humar, podjetju PROMICO d.o.o., ter vsem, ki ste mi kakorkoli pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

Iskreno se zahvaljujem tudi svojim staršema, sestri in bratoma, ki so mi vedno stali ob strani, mi nudili moralno in finančno podporo.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.15(043.2)
Avtor:	Polona Oražem
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar
Naslov:	Primerjava variant podpiranja brežine nasipa na primeru Centra za ravnanje z odpadki Dolenjska
Obseg in oprema:	101 str., 44 pregl., 77 sl., 11 graf.
Ključne besede:	Nasip, pilotna stena, armirana zemljina

Izveček:

Diplomsko delo obravnava podpiranje brežine nasipa na primeru Centra za ravnanje z odpadki Dolenjska (CeROD). Analiziramo pet izbranih variant in jih med seboj primerjamo iz izvedbenega in ekonomskega vidika.

Uvodni del zajema okvirno vsebino, namen in cilj naloge ter metode dela. Sledi poglavje s teoretičnimi osnovami (vrste podpornih konstrukcij, potek računa obravnavanih variant, upoštevani standardi ter izračun obtežbe). V tretjem in četrtem poglavju predstavljamo geološke razmere ter obstoječe stanje obravnavanega območja.

Naslednji poglavji sta namenjeni računskim analizam. V petem poglavju obravnavamo izvedbo podpiranja brežine nasipa s pilotno steno brez in z zidom, v šestem pa so predstavljene tri variante podpiranja brežine z nasipom iz armirane zemljine v dveh različnih naklonih in s kamnito oblogo. Račun za varianti sidrane pilotne stene je izveden s programom PLAXIS 8.0, za variante z nasipom iz armirane zemljine pa s programom SLIDE.

Sledi primerjava variant in predlog za izvedbo ter zaključek.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.15(043.2)
Author: Polona Oražem
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Janko Logar
Title: Comparison of technical solutions for slope retaining structure at waste treatment facility of Dolenjska
Notes: 101 p., 44 tab., 77 fig., 11 graph.
Key words: embankment, secant piles, reinforced earth

Abstract:

The diploma deals with supporting embankment slop on the case of the Centre for Waste Management Dolenjska. Five ways are analysed and further on they are compared to each other on the basis of economical and constructible points of view.

The introduction includes indicative content, methodology framework and research methods. In the second chapter of the thesis theoretical basis is described (different types of support constructions, presented variants calculations, applied standards and weight calculations). In the third and fourth chapters geological and existing conditions of the area are presented.

The following two chapters are presented with computational analysis of the thesis. In the fifth chapter supporting embankment slop with secant pile with and without the wall are analysed, whereas in the sixth chapter three variants of the supporting embankment of the slop of reinforced earth in two different inclines and one of which with stone facing are presented. Calculations of the anchorage secant pilot variants were carried out by PLAXIS 8.0 and reinforced earth embankment variants by SLIDE software program.

In the final chapter of the thesis comparison of the variants are conducted, implementation proposals initiated which are followed by a conclusion.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev problema	1
1.2	Namen in cilj naloge	1
1.3	Metode dela	1
2	VRSTE PODPORNIH KONSTRUKCIJ	2
2.1	Težnostne podporne konstrukcije	2
2.1.1	Vrste težnostnih podpornih konstrukcij	2
2.2	Vpete podporne konstrukcije	3
2.2.1	Vrste vpetih podpornih konstrukcij	3
2.3	Podporne konstrukcije iz armirane zemljine	4
2.4	Izbira variant za obravnavo	5
2.5	Račun vpetih podpornih konstrukcij in konstrukcij iz armirane zemljine	6
2.5.1	Vpete podporne konstrukcije	6
2.5.2	Podporne konstrukcije iz armirane zemljine	6
2.6	Upoštevanje standardov	7
2.6.1	Prometna obtežba	8
3	GEOLOŠKO-GEOTEHNIČNE RAZMERE NA OBMOČJU VAROVANJA NASIPA	10
3.1	Splošno	10
3.2	Sestava tal	11
3.2.1	Računski profili in interpretacija geološke zgradbe le-teh	14
3.3	Terenske raziskave	14
3.3.1	Standardni penetracijski test (SPT)	14
3.3.2	Preiskave z žepnim penetrometrom	15
3.3.3	Talna voda	15
3.4	Laboratorijske preiskave	15
3.5	Materialne karakteristike, določene na osnovi terenskih in laboratorijskih preiskav	16

4	OBSTOJEČE STANJE	17
4.1	Opis območja predvidene gradnje	17
4.2	Karakteristike zemljin	18
5	VARIANTA PODPIRANJA NASIPA S PILOTNO STENO	20
5.1	Statična analiza	20
5.2	Projektna nosilnost enega pilota	20
5.3	Karakteristike sidrane pilotne stene	22
5.4	VARIANTA 1: SIDRANA PILOTNA STENA	23
5.4.1	Zasnova	23
5.4.2	Faze gradnje in faze računa	23
5.4.3	Profil A11-3	24
5.4.3.1	Analiza	24
5.4.3.2	Končni rezultat	25
5.4.4	Profil A12	30
5.4.4.1	Analiza	30
5.4.4.2	Končni rezultat	31
5.4.5	Profil A13	36
5.4.5.1	Računska analiza	36
5.4.5.2	Končni rezultat	37
5.4.6	Dimenzioniranje pilotne stene	41
5.4.7	Opis konstrukcije	42
5.4.8	Tehnologija gradnje	43
5.4.8.1	Priprava temeljnih tal	43
5.4.8.2	Izdelava pilotne stene	44
5.4.9	Groba ocena stroškov	44
5.4.10	Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje	46
5.4.11	Primerjava stroškov	48
5.5	VARIANTA 2: SIDRANA PILOTNA STENA Z ZIDOM	49
5.5.1	Zasnova	49
5.5.2	Faze gradnje	49
5.5.3	Profil A11-3	50

5.5.3.1	Analiza	50
5.5.3.2	Končni rezultat	51
5.5.4	Profil A12	56
5.5.4.1	Analiza	56
5.5.4.2	Končni rezultat	57
5.5.5	Profil A13	62
5.5.5.1	Analiza	62
5.5.5.2	Končno stanje	63
5.5.6	Dimenzioniranje pilotne stene z zidom	68
5.5.7	Opis konstrukcije	69
5.5.8	Tehnologija gradnje	70
5.5.8.1	Priprava temeljnih tal	70
5.5.8.2	Izdelava pilotne stene	71
5.5.9	Groba ocena stroškov	72
5.5.10	Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje	73
5.5.11	Primerjava stroškov	75
6	PODPIRANJE BREŽINE Z ARMIRANIM NASIPOM	77
6.1	Statična analiza	77
6.2	Potrebne natezne trdnosti armaturnega geosintetika	78
6.3	VARIANTA 1: NASIP IZ ARMIRANE ZEMLJINE – NAKLON 1 : 1	79
6.3.1	Zasnova	79
6.3.2	Stabilnostne analize v profilih A11-3, A12 in A13	79
6.3.3	Gradnja nasipa iz armirane zemljine – varianta 1	81
6.3.3.1	Analiza rezultatov stabilnostne analize	81
6.3.3.2	Opis konstrukcije	82
6.3.3.3	Priprava temeljnih tal	82
6.3.4	Izvedba armiranega nasipa	82
6.3.5	Groba ocena stroškov	83
6.3.6	Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje	85
6.3.7	Primerjava stroškov	85
6.4	VARIANTA 2: NASIP IZ ARMIRANE ZEMLJINE – NAKLON 1,5 : 1	86

6.4.1.1	Zasnova	86
6.4.2	Stabilnostne analize v profilih A11-3, A12 in A13	87
6.4.3	Gradnja nasipa iz armirane zemljine – varianta 2	88
6.4.3.1	Analiza rezultatov stabilnostne analize	88
6.4.3.2	Opis konstrukcije	89
6.4.3.3	Priprava temeljnih tal	89
6.4.3.4	Izvedba armiranega nasipa	89
6.4.4	Groba ocena stroškov	90
6.4.5	Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje	91
6.4.6	Primerjava stroškov	91
6.5	VARIANTA 3: NASIP IZ ARMIRANE ZEMLJINE S KAMNITO OBLOGO V NAKLONU 1 : 1	92
6.5.1	Zasnova	92
6.5.2	Stabilnostne analize v profilih A11-3, A12 in A 13	93
6.5.3	Gradnja nasipa iz armirane zemljine – varianta 3	94
6.5.3.1	Analiza rezultatov stabilnostne analize	94
6.5.3.2	Opis konstrukcije	94
6.5.3.3	Tehnologija gradnje	95
6.5.4	Groba ocena stroškov	95
6.5.5	Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje	96
6.5.6	Primerjava stroškov	97
7	IZBIRA VARIANTE PODPIRANJA BREŽINE NASIPA	98
7.1	Ekonomsko ugodnejša varianta podpiranja brežine nasipa	98
7.2	Izvedbeno ugodnejša varianta podpiranja brežine nasipa	98
7.3	Predlog podpiranja brežine nasipa	99
8	ZAKLJUČEK	100
VIRI		101

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Delni faktorji za vplive (γ_F) ali učinke vplivov (γ_E).	7
Preglednica 2:	Delni faktorji parametre zemljin (γ_M).	7
Preglednica 3:	Obtežni model LM 1 – karakteristične vrednosti.	8
Preglednica 4:	Karakteristične vrednosti materialnih karakteristik povzete iz geološko-geomehanskega poročila.	16
Preglednica 5:	Karakteristične vrednosti karakteristik zemljin in hribin.	19
Preglednica 6:	Karakteristike pilotov in zidu.	22
Preglednica 7:	Karakteristike veznega dela sidra.	22
Preglednica 8:	Karakteristike prostega dela sidra.	22
Preglednica 9:	Računska analiza pilotne stene v profilu A11-3.	25
Preglednica 10:	Sidrne sile v profilu A11-3, karakteristična vrednost – kombinacija 1.	28
Preglednica 11:	Sidrne sile v profilu A11-3, projektna vrednost – kombinacija 2.	28
Preglednica 12:	Računska analiza pilotne stene v profilu A12.	30
Preglednica 13:	Sidrne sile v profilu A12, karakteristična vrednost – kombinacija 1.	33
Preglednica 14:	Sidrne sile v profilu A12, projektna vrednost – kombinacija 2.	34
Preglednica 15:	Računska analiza pilotne stene v profilu A13.	36
Preglednica 16:	Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 1.	41
Preglednica 17:	Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 2.	41
Preglednica 18:	Sidrne sile za kombinacijo 1 in 2.	42
Preglednica 19:	Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).	45
Preglednica 20:	Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projektne vrednosti.	46
Preglednica 21:	Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projektne vrednosti.	47
Preglednica 22:	Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.	48
Preglednica 23:	Računska analiza pilotne stene z zidom v profilu A11-3.	51

Preglednica 24:	Sidrna sila v profilu A11-3, karakteristična vrednost – kombinacija 1.	54
Preglednica 25:	Sidrna sila v profilu A11-3, projektna vrednost – kombinacija 2.	54
Preglednica 26:	Računska analiza pilotne stene z zidom v profilu A12.	56
Preglednica 27:	Sidrna sila v profilu A12, karakteristična vrednost – kombinacija 1.	59
Preglednica 28:	Sidrna sila v profilu A12, projektna vrednost – kombinacija 2.	60
Preglednica 29:	Računska analiza pilotne stene z zidom v profilu A13.	62
Preglednica 30:	Sidrna sila v profilu A13, karakteristična vrednost – kombinacija 1.	65
Preglednica 31:	Sidrna sila v profilu A13, projektna vrednost – kombinacija 2.	66
Preglednica 32:	Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 1.	68
Preglednica 33:	Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 2.	68
Preglednica 34:	Sidrne sile za kombinacijo 1 in 2.	69
Preglednica 35:	Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).	72
Preglednica 36:	Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projektne vrednosti.	74
Preglednica 37:	Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projekte vrednosti.	75
Preglednica 38:	Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.	75
Preglednica 39:	Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).	84
Preglednica 40:	Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.	85
Preglednica 41:	Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).	90
Preglednica 42:	Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.	91
Preglednica 43:	Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).	95
Preglednica 44:	Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.	97

KAZALO SLIK

Slika 1:	Obtežni model LM 1 (vir SIST EN 1991-2: 2004, str. 37, 38).	8
Slika 2:	Postavitev prometne obtežbe po LM 1.	9
Slika 3:	Geodetski posnetek z vrisanimi vrtinami (ECONO, februar 2009).	10
Slika 4:	Ureditev deponije z vrisanimi vrtinami (STIA, junij 2008).	11
Slika 5:	Prognozna geološka prereza P1 in P2 z vrtinami V-1 do V-4.	12
Slika 6:	Prognozna geološka prereza P3 in P4 z vrtinami V-1 do V-4.	13
Slika 7:	Fotografija območja predvidenega platoja ter brežine pod njim.	17
Slika 8:	Fotografija brežine pod predvidenim platojem z odlomnim robom.	18
Slika 9:	Tlorisna situacija podpiranja nasipa s pilotno steno.	20
Slika 10:	Interakcijski diagram za določitev maksimalnega upogibnega momenta v pilotu z izbrano armaturo.	21
Slika 11:	Karakteristični prerez pilotne stene v profilu A11-3.	23
Slika 12:	Prečni prerez A11-3 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse triračunske primere.	24
Slika 13:	Računska shema profila A11-3.	26
Slika 14:	Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,00$ v profilu A11-3.	26
Slika 15:	Deformirana mreža v končnem stanju profila A11-3.	27
Slika 16:	Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A11-3, kombinacija 1.	27
Slika 17:	Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A11-3, kombinacija 2.	28
Slika 18:	Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.	29
Slika 19:	Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.	29
Slika 20:	Prečni prerez A12 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računске primere.	30
Slika 21:	Računska shema profila A12.	31
Slika 22:	Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,00$ v profilu A12.	32
Slika 23:	Deformirana mreža v končnem stanju profila A12.	32

Slika 24:	Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A12, kombinacija 1.	33
Slika 25:	Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A12, kombinacija 2.	34
Slika 26:	Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,45$ v profilu A12.	35
Slika 27:	Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,45$ v profilu A12.	35
Slika 28:	Prečni prerez A13 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računske primere.	36
Slika 29:	Računska shema profila A13.	37
Slika 30:	Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A13.	38
Slika 31:	Deformirana mreža v končnem stanju profila A13.	38
Slika 32:	Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A13, kombinacija 1.	39
Slika 33:	Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A13, kombinacija 2.	39
Slika 34:	Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,31$ v profilu A13.	40
Slika 35:	Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,31$ v profilu A13.	40
Slika 36:	Tlorisna situacija sidrane pilotne stene s prikazom računskih profilov.	42
Slika 37:	Vzdolžni prerez pilotne stene.	43
Slika 38:	Karakteristični prerez pilotne stene z zidom v profilu A11-3	49
Slika 39:	Prečni prerez A11-3 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računske primere.	50
Slika 40:	Računska shema profila A11-3.	52
Slika 41:	Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A11-3.	52
Slika 42:	Deformirana mreža v končnem stanju profila A11-3.	53
Slika 43:	Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A11-3, kombinacija 1.	53
Slika 44:	Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A11-3, kombinacija 2.	54
Slika 45:	Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.	55

Slika 46:	Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.	55
Slika 47:	Prečni prerez A12 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računске primere.	56
Slika 48:	Računska shema profila A12.	57
Slika 49:	Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A12.	58
Slika 50:	Deformirana mreža v končnem stanju profila A12.	58
Slika 51:	Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A12, kombinacija 1.	59
Slika 52:	Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A12, kombinacija 2.	60
Slika 53:	Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A12.	61
Slika 54:	Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A12.	61
Slika 55:	Prečni prerez A13 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računске primere.	62
Slika 56:	Računska shema profila A13.	63
Slika 57:	Obstoječe stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A13.	64
Slika 58:	Deformirana mreža v končnem stanju profila A13.	64
Slika 59:	Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A13, kombinacija 1.	65
Slika 60:	Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A13, kombinacija 2.	66
Slika 61:	Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,36$ v profilu A12.	67
Slika 62:	Diagram količnika varnosti pred pilotno steno, $\gamma_R = 1,36$.	67
Slika 63:	Tlorisna situacija sidrane pilotne stene z zidom s prikazom računskih profilov.	69
Slika 64:	Vzdolžni prerez pilotne stene z zidom.	70
Slika 65:	Tloris situacije podpiranja brežine nasipa z armirano zemljino (naklon 1 : 1).	77
Slika 66:	Karakteristični prerez nasipa iz armirane zemljine v naklonu 1 : 1 v profilu A11-3.	79

Slika 67:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A11-3;	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,012$.	80
Slika 68:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A12,	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,051$.	80
Slika 69:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A13,	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,028$.	81
Slika 70:	Karakteristični prerez nasipa iz armirane zemljine v naklonu 1,5 : 1 v	
	profilu A11-3.	86
Slika 71:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A11-3,	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,017$.	87
Slika 72:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A12,	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,007$.	87
Slika 73:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A13,	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,013$.	88
Slika 74:	Karakteristični prerez nasipa iz armirane zemljine v naklonu 1 : 1 v	
	profilu A11-3.	92
Slika 75:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A11-3;	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,034$.	93
Slika 76:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A12;	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,017$.	93
Slika 77:	Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A13;	
	kritična drsina: $\gamma_R = 1,017$.	94

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo sidrane pilotne stene.	45
Grafikon 2:	Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.	48
Grafikon 3:	Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo sidrane pilotne stene.	73
Grafikon 4:	Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.	76
Grafikon 5:	Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo armirane zemljine v naklonu 1 : 1.	84
Grafikon 6:	Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita -/+3 m.	86
Grafikon 7:	Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo armiranega nasipa v naklonu 1,5 : 1.	90
Grafikon 8:	Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita -/+3 m.	91
Grafikon 9:	Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo armiranega nasipa s kamnito oblogo v naklonu 1 : 1.	96
Grafikon 10:	Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita -/+3 m.	97
Grafikon 11:	Primerjava končnih stroškov med posameznimi variantami izvedbe.	98

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Pri izvajanju večine gradbenih projektov se skoraj vedno srečamo s posledičnimi projekti, katerih izvedba je pogoj ali pa nuja za izvedbo nameravanega projekta. Ti lahko nastanejo zaradi različnih vzrokov. V primeru, ki ga obravnavamo v tem diplomskem delu, gre za podpiranje nestabilnih brežin nasipa.

Za podpiranje nasipov se v praksi uporabljajo težnostne in vpete podporne konstrukcije ter konstrukcije iz armirane zemljine. Možnih je več variant izvedbe, ki so podrobneje opisane v drugem poglavju.

Na primeru podpiranja brežine nasipa za izgradnjo platoja s kontejnerji Centra za ločeno zbiranje odpadkov Dolenjska smo se opredelili na dve možni varianti izvedbe podpiranja brežine nasipa, ki sta bili predlagani tudi s strani podjetja ECONO d.o.o., ki je izdelalo geološko-geomehansko poročilo. Gre za izvedbo s pilotno steno in armirano zemljino.

1.2 Namen in cilj naloge

Namen diplomskega dela je s pomočjo računske analize ugotoviti, katera od izbranih variant podpiranja brežine nasipa je tehnološko in ekonomsko najboljša, in jih med seboj primerjati. Analizirali smo dve varianti izvedbe podpiranja brežine nasipa s pilotno steno. To sta: sidrana pilotna stena brez in z zidom ter tri variante nasipa iz armirane zemljine in sicer v naklonu 1 : 1, 1,5 : 1 ter 1 : 1 s kamnito oblogo.

1.3 Metode dela

Možnih je več metod in načinov izračuna stabilnosti tovrstnih konstrukcij. V tem diplomskem delu smo za statično analizo variant pilotne stene uporabili program PLAXIS 8.0, za analizo podpiranja brežine nasipa z armirano zemljino pa program SLIDE.

Teoretične osnove, podane v diplomskem delu, so povzete po literaturi, navedeni na koncu.

2 VRSTE PODPORNIH KONSTRUKCIJ

2.1 Težnostne podporne konstrukcije

Težnostne podporne konstrukcije so lahko toge ali gibke, iz različnih materialov in najrazličnejših oblik. Težnostne jih imenujemo zato, ker se obremenitvi z zemljinskimi pritiski zoperstavijo z lastno težo. Bistveni sili, ki nastopata v statični obravnavi, sta tako zemljinski pritisk (E) in lastna teža konstrukcije (G). Lahko pa nanjo vplivajo tudi druge ugodne in neugodne obremenitve.

2.1.1 Vrste težnostnih podpornih konstrukcij

a) Kamnit podporni zid

Kamnit podporni zid sestoji iz posameznih, pravilno oblikovanih kamnov, ki so med seboj povezani z malto ali betonom. Ne prenese deformacij, saj se pojavijo razpoke, zato je primeren za nižje podporne konstrukcije.

b) Kamnita zložba

Kamnita zložba sestoji iz kamna nepravilnih oblik, običajno z deležem betona 20 –30 %, zato je gibka in propustna za vodo. Pri blažjih naklonih lica zložbe lahko fuge med kamni poglobimo, humusiramo in zatravimo. Primerna je za sanacije manjših plazov.

c) Betonski in armiranobetonski podporni zid

Večina težnostnih podpornih zidov je danes grajenih v betonu. Zaradi potrebe po teži so taki zidovi masivni in so zato lahko minimalno armirani. Če zadoščajo zidovi manjših prereзов, jih je potrebno ustrezno armirati.

Prednost betonskih težnostnih podpornih zidov je v tem, da beton omogoča najrazličnejše oblikovanje zidov, kar lahko izkoristimo za optimiranje konstrukcije tako v statičnem kot tudi arhitektonskem smislu.

Slabost le-teh pa je, da slabo sledijo deformacijam. Če je uporabljena armatura, zid redko razpoka, na dilatacijah pa pride do neenakomernih premikov. Posebno pozornost pa je tu

potrebno nameniti tudi odvodnjavanju tako zalednih kot površinskih voda, saj so taki zidovi nepropustni.

d) Kašte (betonske, lesene)

Kašte sestojijo iz prefabriciranih armiranobetonskih, kovinskih ali lesenih elementov, ki sestavljajo okvir kamnitemu polnilu. So gibke in propustne za vodo. Uporabljamo jih tam, kjer je zaželena gibka konstrukcija, npr. plazovit teren. Če je pomemben sonaraven izgled konstrukcije, npr. urejanje vodotokov v naravnem okolju, lahko uporabimo lesene kašte.

e) Gabioni

Gabioni so težnostne podporne konstrukcije, podobne kaštam, le da se namesto betonskih, lesenih oz. kovinskih elementov za okvir uporabi žična ali plastična mreža. Na tak način so oblikovane »vreče« kamnitega materiala in zložene v podporno konstrukcijo.

Gabione največkrat uporabljamo pri urejanju vodotokov v kamnitem svetu, saj se z izgledom ne razlikujejo od kamnite ali prodnate struge.

2.2 Vpete podporne konstrukcije

Glede statične zasnove ločimo:

- konzolne,
- 1-krat sidrane,
- 2- in večkrat sidrane vpete podporne konstrukcije.

2.2.1 Vrste vpetih podpornih konstrukcij

a) Pilotna stena

Pilotna stena je upogibna podpora konstrukcija iz armiranobetonskih pilotov okroglega prereza različnih dimenzij (od 30 do 150 cm). Uporabimo jo za varovanje globokih gradbenih jam, za sanacijo plazov, varovanje vkopov in povesod tam, kjer težnostna konstrukcija iz različnih vzrokov ni izvedljiva. Tak primer je, ko je potrebno brez predhodnega izkopa varovati brežino.

Pogosto so pilotne stene sidrane. Največja tehnična slabost takih konstrukcij je slaba izkoriščenost armature v okroglem prerezu. V praksi se piloti armirajo simetrično. Če so piloti nameščeni na medsebojni razdalji, manjši od treh metrov, računamo tako steno kot kontinuirano (kot npr. diafragma).

b) Diafragma

Je upogibna podporna konstrukcija iz armiranobetonskih na mestu izdelanih panelov običajne debeline od 40 do 100 cm in širine 3 do 6 m. Uporabimo jo v podobnih primerih kot pilotno steno. Prednost diafragme je v tem, da dobimo kontinuirano steno, ki je lahko tudi del objekta, armatura je zaradi pravokotnosti prereza boljše izkoriščena, lahko je vodotesna. Slabost diafragme v primerjavi s pilotno steno pa je v tem, da jo je težko izvesti v trdnejših materialih. Tudi diafragme so lahko sidrane.

c) Zagatna stena

Je v primerjavi s pilotno steno ali diafragma zelo gibka. Sestavljena je iz prefabriciranih elementov, najpogosteje kovinskih (lahko pa tudi iz betonskih ali lesenih), ki jih vtisnemo (zabijemo) v tla. Tako kot pri diafragmi je izvedba zagatne stene težja v primeru prisotnosti trdnejših plasti (hribina, nekoherentna zemljina). Zagatnice uporabljamo tako pri varovanju gradbenih jam in drugih začasnih vkopih (npr. vodnjaki), lahko pa jih uporabljamo tudi kot trajne konstrukcije. Mogoče jih je razpirati ali sidrati.

d) Berlinska stena

Je podporna konstrukcija, izvedena iz jeklenih H- in I-profilov, nameščenih na določeni medsebojni razdalji (1–3 m), prostor med njimi pa običajno zapolnimo z lesenimi plohi. Taka konstrukcija je gibka, možno jo je tudi sidrati. Namenjena je predvsem začasnemu varovanju gradbenih jam.

2.3 Podporne konstrukcije iz armirane zemljine

Tovrstne konstrukcije so posebej primerne, ko je potrebno s podporno konstrukcijo varovati nasip. V nasip sproti z vgrajevanjem plasti nasipne zemljine vgrajujemo še armaturne trakove ali mreže. Ločimo dve skupini takih konstrukcij:

a) Obložne armiranobetonske plošče s sidrnimi trakovi

Izgled take konstrukcije je podoben betonskim podpornim zidovom, le da je betonska obloga tanka (10–15 cm) in predstavlja le vidni zaključek konstrukcije ter zaščito proti eroziji. Nosilni element so kovinski, redko plastični armirni trakovi (lahko tudi plastične mreže). Konstrukcija je gibka, omogoča hitro gradnjo in je zato tudi cenejša od ustreznega težnostnega zidu. Omogoča široko področje uporabe, predvsem pa pri gradnji priključnih cestnih nasipov na objekte v pogojih omejenega prostora, saj omogočajo gradnjo nasipa z vertikalno brežino. Izvedljivost takega nasipa je mogoča pri dobro nosilnih temeljnih tleh. Različno oblikovanje čelne plošče pa omogoča paleto različnih izgledov konstrukcije.

b) Geomreže ali geotekstil brez obložnih plošč

Tovrstne konstrukcije uporabljamo tam, kjer je zaželeno, da izgled brežine ni betonski. Nasip tako izvedemo brez obložnih plošč – samo z armiranjem zemljine. Namesto trakov uporabimo geotekstil ali geomreže (plastične mreže). Tako oblikovana strma brežina nasipa (45° do 75°) se lahko ob ustrezni izvedbi zaraste in ozeleni. Brežine je potrebno humusirati in zatraviti. V bolj sušnih podnebjih je potrebno zagotoviti tudi zalivanje.

2.4 Izbira variant za obravnavo

Za analizo smo izbrali dve osnovni varianti podpiranja nasipa. To sta pilotna stena in armirana zemljina.

Glede na relativno visok nasip z nestabilnimi brežinami, sestavo tal in tehnologijo gradnje, podpiranje s težnostno podporno konstrukcijo, kot so kamnita zložba in kamnit oziroma armiranobetonski podporni zid, ne pride v poštev. Izvedba kašte ali gabiona pa se bolj izplača tam, kjer imamo v bližini na voljo primeren material za polnilo (kamni večjih frakcij). Poleg tega so gabioni v primerjavi z zložbo zaradi počasne ročne izdelave dražji.

Izmed vpetih podpornih konstrukcij se nismo odločili za analizo diafragme, ker je izvedba nekoliko dražja v primerjavi s pilotno steno, statično sta enakovredni. Zagatnica in berlinska stena pa sta bolj kot ne namenjeni začasnim vkopom oziroma varovanjem gradbenih jam.

Možna izvedba bi bila tudi podporna konstrukcija iz armirane zemljine, obložene z armiranobetonskimi ploščami. Ker pa želimo sonaraven izgled, tudi ta varianta odpade.

2.5 Račun vpetih podpornih konstrukcij in konstrukcij iz armirane zemljine

2.5.1 Vpete podporne konstrukcije

Statična analiza konzolne in 1-krat sidrane vpete podporne konstrukcije je razmeroma enostavna. Večkrat sidrane vpete podporne konstrukcije pa zahtevajo, zaradi statične nedoločenosti, bolj kompleksno analizo. V vseh primerih je potrebno izvesti:

- analizo globalne stabilnosti,
- izračun zemeljskih pritiskov (aktivni in pasivni zemeljski pritisk),
- določitev globine vpetja in globine zasuka (konzolna stena) oziroma globine vpetja in sidrne sile (1-krat sidrana stena),
- račun notranjih statičnih količin (prečne sile in momenti),
- dimenzioniranje konstrukcije (piloti in sidra – sidrana konstrukcija),
- ravnovesje sil v vertikalni smeri (nosilnost tal v dnu konstrukcije).

V obeh primerih (pilotna stena brez in z zidom), obravnavanih v tem diplomskem delu, račun globine vpetja ni potreben, saj noge pilotov dosežejo trdno dolomitno hribinsko osnovo. Statični račun pilotne stene smo izvedli s programom PLAXIS 8.0 z metodo končnih elementov. Podrobnejši opis in potek računa je prikazan na primerih v petem poglavju.

2.5.2 Podporne konstrukcije iz armirane zemljine

Cilj statične analize konstrukcije iz armirane zemljine je poleg zagotavljanja globalne stabilnosti ter kontrole nosilnosti temeljnih tal tudi določitev potrebne nosilnosti, dolžine in števila armaturnih trakov. Potek izračuna:

- določitev diagrama zemeljskih pritiskov,
- razdelitev diagrama zemeljskih pritiskov na deleže, ki obremenjujejo posamezen trak,
- določitev ustreznega števila trakov na posamezen nivo,
- določitev dolžine trakov na posameznem nivoju.

Analizo nasipa iz armirane zemljine smo v diplomskem delu izvedli s programom SLIDE, ki je dvodimenzionalen program za določanje stabilnosti brežin. Omogoča upoštevanje več

oblik, materialov, nivojev vode, več vrst obtežb in podpornih ukrepov. Iščemo kritično drsno ploskev.

2.6 Upoštevanje standardov

Pri računu smo upoštevali varnostne faktorje po EC 7 – projektni pristop 1 (SIST EN 1997-1), ki zahteva izračun po dveh kombinacijah.

Mejno stanje nosilnosti:

- kombinacija 1: uporaba delnih faktorjev A1 "+" M1 "+" R1
- kombinacija 2: uporaba delnih faktorjev A2 "+" M2 "+" R1

Upošteva se kritična kombinacija.

Vsi delni faktorji za odpore R1 so enaki 1,0, izjema je le faktor odpornosti za prednapeta sidra, ki je $\gamma_R = 1,1$. Delni faktorji za vplive oziroma učinke vplivov A1 in A2 in delni faktorji za parametre zemljin M1 in M2 so podani v Preglednicah 1 in 2:

Preglednica 1: Delni faktorji za vplive (γ_F) ali učinke vplivov (γ_E).

Vpliv		Oznaka	NIZ	
			A1	A2
Stalni	Neugodni	γ_G	1,35	1,0
	Ugodni		1,0	1,0
Spremenljivi	Neugodni	γ_Q	1,5	1,3
	Ugodni		1,0	1,0

Preglednica 2: Delni faktorji parametre zemljin (γ_M).

Parameter zemljine	Oznaka	NIZ	
		M1	M2
Kot strižne trdnosti	γ_φ	1,0	1,25
Efektivna kohezija	γ_c	1,0	1,25
Prostorninska teža	γ_γ	1,0	1,0

Mejno stanje uporabnosti:

Vsi delni faktorji so enaki 1,0. (SIST EN 1990: 2004)

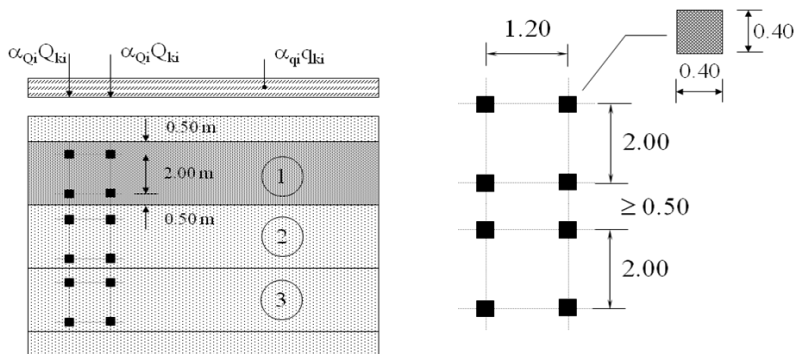
Kontrolirali smo notranje statične količine, sidrno silo, deformacije in globalno varnost konstrukcije.

2.6.1 Prometna obtežba

Prometno obtežbo smo določili v skladu s standardom EC 1 – prometna obtežba (SIST EN 1991-2: 2004). Upoštevali smo tri prometne pasove širine 3 m. Obremenitev na posamezen pas smo izračunali tako, da smo točkovno obtežbo (TS) spremenili v porazdeljeno, in sicer na dolžini 6 m ter jo prišteli porazdeljeni obtežbi (UDL).

Preglednica 3: Obtežni model LM 1 – karakteristične vrednosti.

Lega	Koncentrirana obtežba <i>TS</i>	Porazdeljena obtežba <i>UDL</i>
	Oсна obtežba Q_{ik} [kN]	q_{ik} ali q_{rk} [kN/m ²]
Pas 1	300	9
Pas 2	200	2,5
Pas 3	100	2,5
Ostali pasovi	0	2,5
Preostali del (q_{rk})	0	2,5



Slika 1: Obtežni model LM 1 (vir SIST EN 1991-2: 2004, str. 37, 38).

Vse vrednosti so povečane za faktor 1,11, kar ustreza razmerju delnega varnostnega faktorja 1,5 za prometno obtežbo (spremenljiva, neugodna) in delnega faktorja za stalno obtežbo 1,35. S tem se projektne obremenitve pri kombinaciji 1 izračunajo s povprečjem karakterističnih vrednosti za faktor na učinke vplivov 1,35.

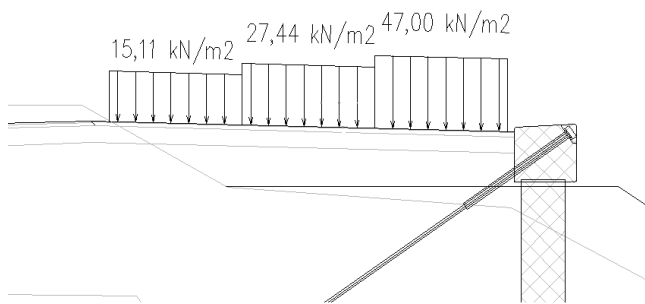
Obtežba na posamezen pas znaša tako:

$$\text{Pas 1: } q_{1k} = 33,33 + 9,0 = 42,33 \text{ kN/m}^2 \rightarrow q_{1d} = 42,33 \cdot 1,11 = 47,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pas 2: } q_{2k} = 22,22 + 2,5 = 24,72 \text{ kN/m}^2 \rightarrow q_{2d} = 24,72 \cdot 1,11 = 27,44 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pas 3: } q_{3k} = 11,11 + 2,5 = 13,61 \text{ kN/m}^2 \rightarrow q_{3d} = 13,61 \cdot 1,11 = 15,11 \text{ kN/m}^2$$

Obtežbo smo postavili tako, da je stanje najbolj kritično.



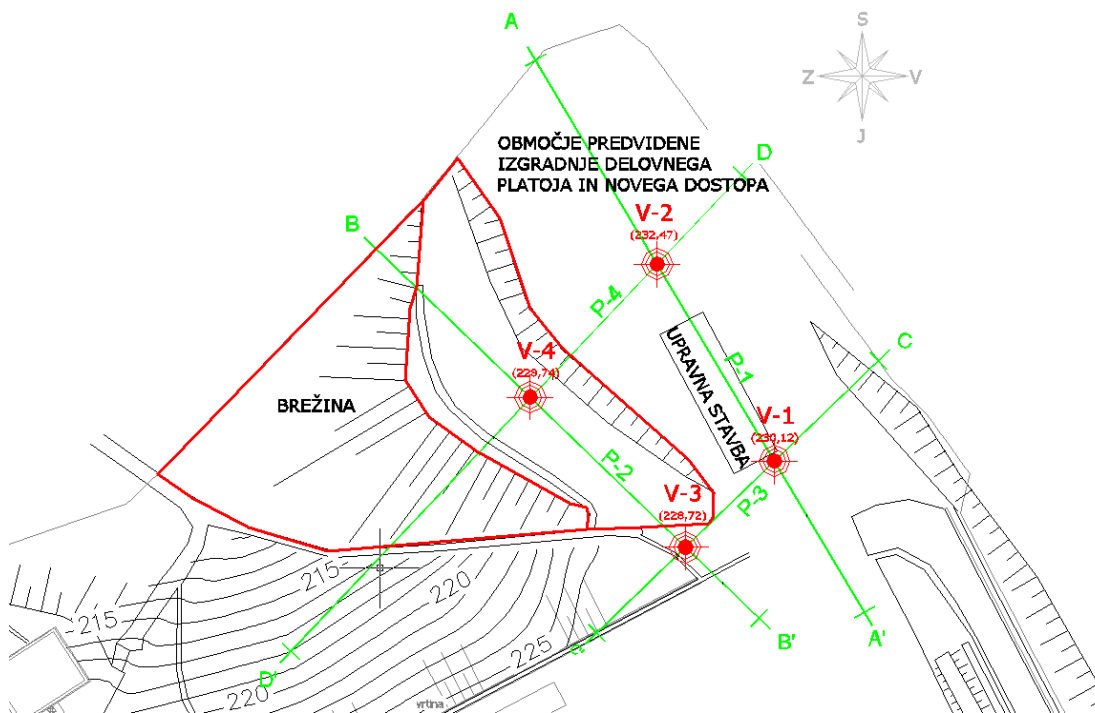
Slika 2: Postavitev prometne obtežbe po LM 1.

3 GEOLOŠKO-GEOTEHNIČNE RAZMERE NA OBMOČJU VAROVANJA NASIPA

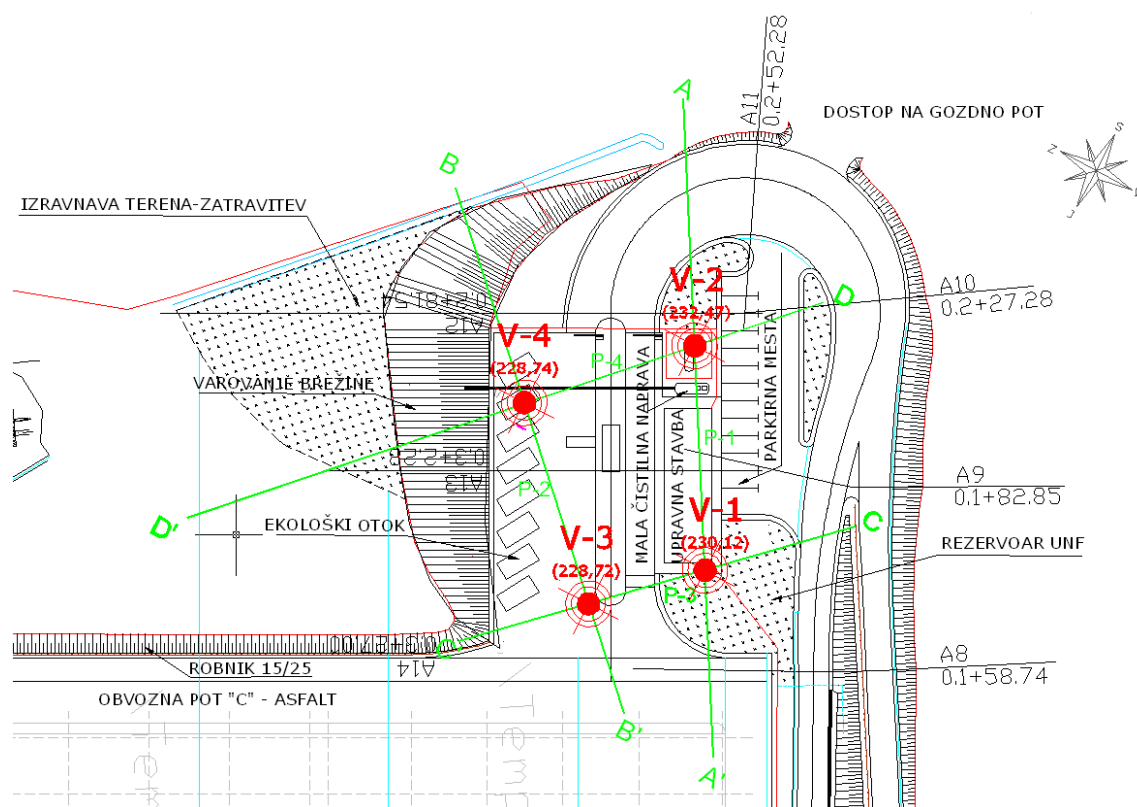
3.1 Splošno

V sklopu gradnje regijskega Centra za ravnanje z odpadki Dolenjska (CeROD) pri kraju Leskovec je predvidena tudi gradnja upravne stavbe in parkirišč za zaposlene ter ekološki otok za odlaganje kosovnih odpadkov (plato s kontejnerji). Predvidena je tudi izgradnja nove dostopne ceste na deponijo, ki poteka mimo upravne stavbe preko novega platoja. Navedena ureditev je predvidena na nasutem severnem delu deponije. Zaradi konfiguracije terena in omejenega odkupa zemljišč je potrebno varovanje nasipa na zahodnem delu platoja v dolžini cca. 73 m. V ta namen so bile na tem območju za ugotovitev sestave temeljnih tal izvedene štiri vrtnine V-1 do V-4.

Geodetski posnetek in ureditev deponije obravnavanega območja z vrisanimi vrtninami sta prikazana na Sliki 3 in 4.



Slika 3: Geodetski posnetek z vrisanimi vrtninami (ECONO, februar 2009).



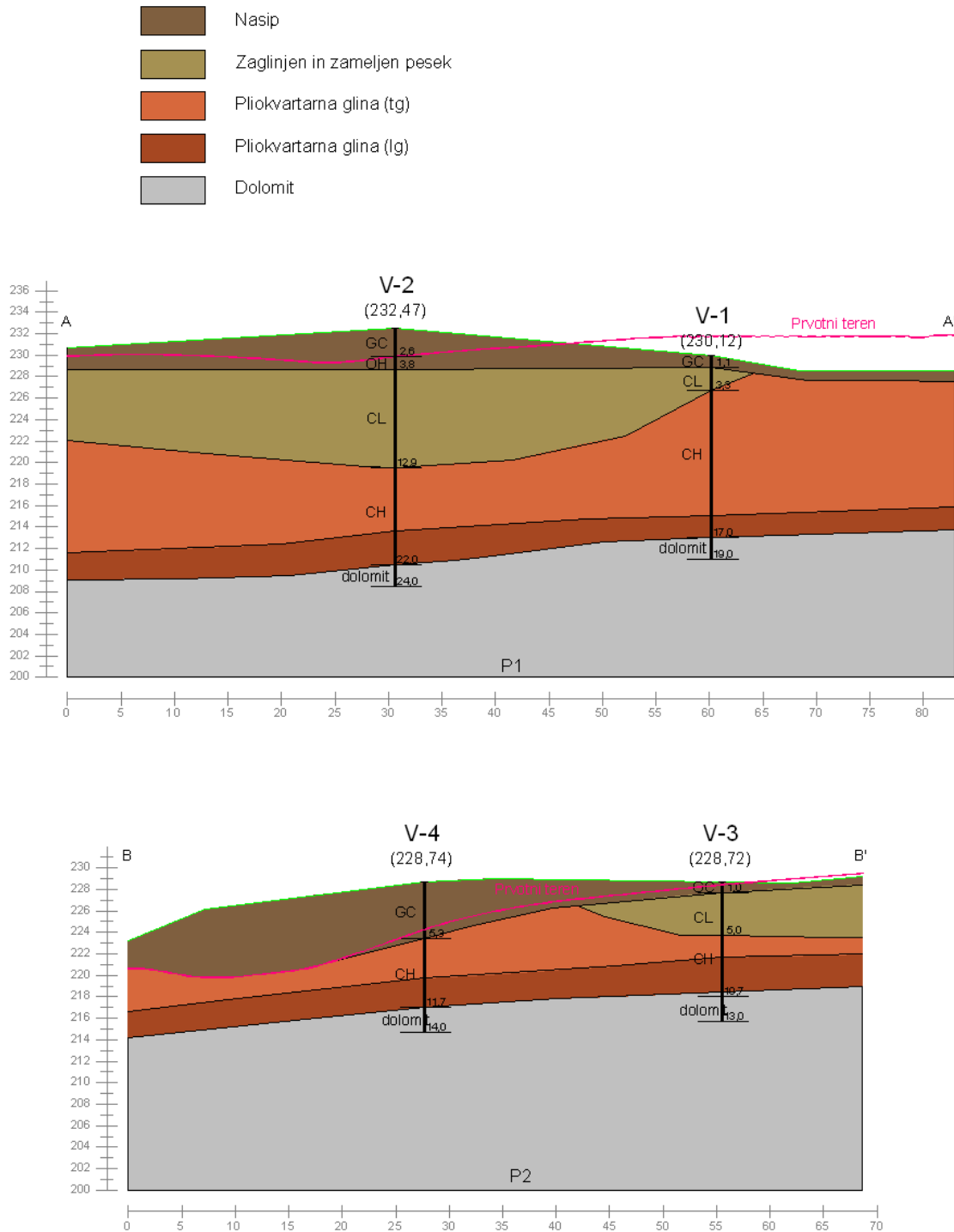
Slika 4: Ureditev deponije z vrisanimi vrtinami (STIA, junij 2008).

3.2 Sestava tal

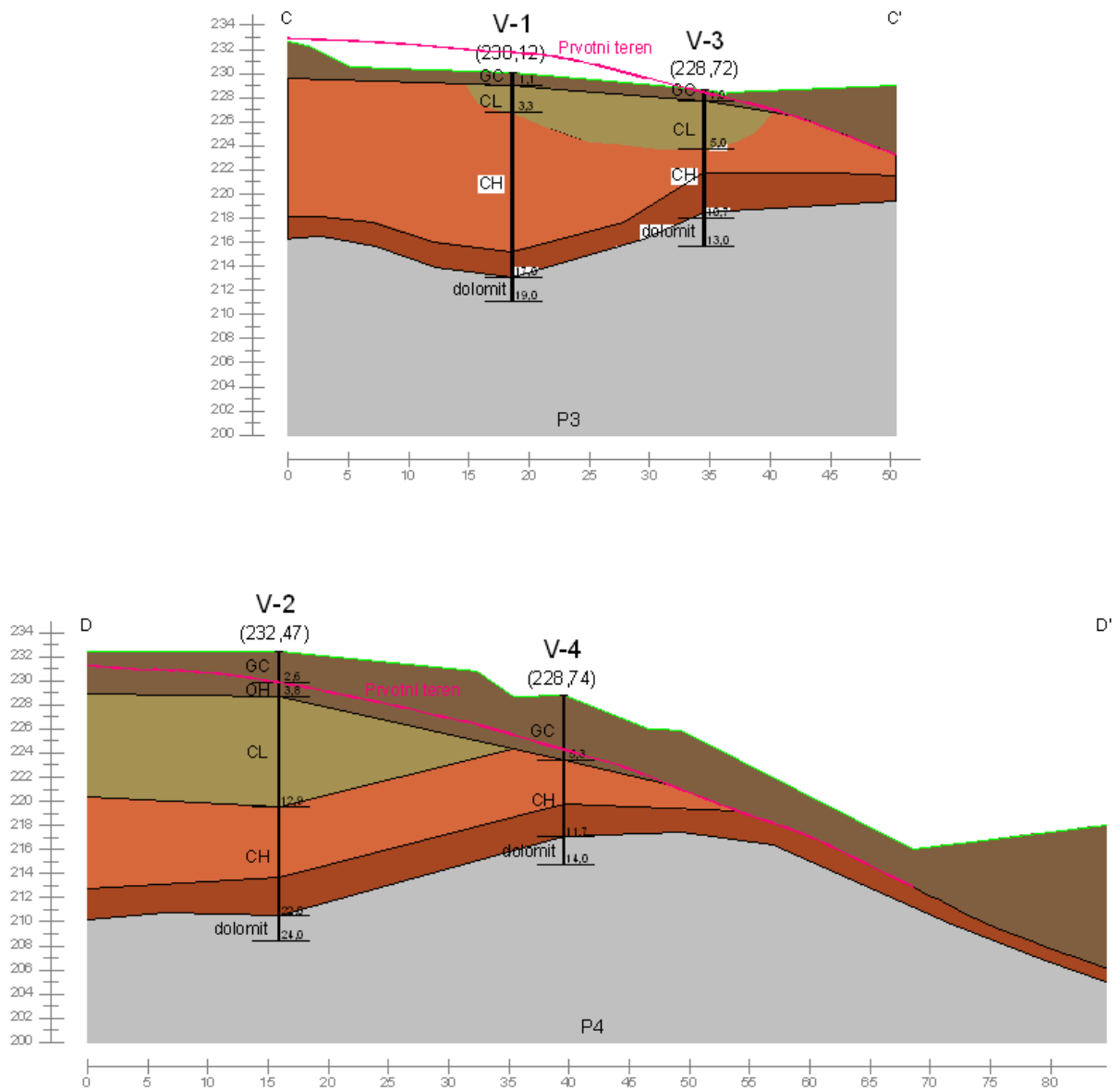
V sklopu terenskih raziskav so bile na obravnavanem območju za ugotovitev sestave temeljnih tal izvedene štiri vrtine, ki so pokazale, da je področje Centra za ravnanje z odpadki zgrajeno iz štirih značilnih plasti.

Na površini se v debelinah od 1 m do 6 m nahaja navožen umetni nasip v rahlem stanju. Pod nasipom se v lečah pojavlja rumen meljast pesek debeline od 1 m do 8 m, pod tem pa pliokvartarna meljna glina. Glede na geotehnične parametre je plast glinasto meljnih zemljin razdeljena na dva materiala. Zgornji del gradijo težko gnetne do poltrdne meljne gline, ki se pojavljajo v debelinah od 2 m do 6 m, na stiku s hribinsko podlago pa se pojavlja plast lahko gnetne do srednje gnetne, mestoma razmočene gline debeline od 2 do 4 m. Hribinsko osnovo predstavlja srednje do visoko penetrabilen dolomit, ki je na začetku preperel, potem pa hitro preide v čvrsto kamninsko osnovo.

Na Slikah 5 in 6 so prikazani prognozni geološki prerezi P1–P4 z vrisanimi vrtnami V-1 do V-4. Situativno so prerezi definirani na Sliki 3.



Slika 5: Prognozna geološka prereza P1 in P2 z vrtnami V-1 do V-4.



Slika 6: Prognozna geološka prereza P3 in P4 z vrtinami V-1 do V-4.

V vseh geoloških prerezih je vrisana tudi črta, ki predstavlja prvotni teren, to je teren pred nasutjem umetnega nasipa oziroma v nekaterih predelih tudi zdrsa iz prvotnega stanja.

3.2.1 Računski profili in interpretacija geološke zgradbe le-teh

Na podlagi prognoznih geoloških prerezov P1–P4 smo skušali poiskati najbolj kritične prereze za statično analizo. Iskali smo prereze z najstrmejšim naklonom brežin, največjo svetlo višino ter najneugodnejšo geološko zgradbo. Izbrali in analizirali smo tri geometrijsko različne profile z različnimi svetlimi višinami obstoječega nasipa in sicer A11-3, A12 in A13, ki so skupaj z geološkimi prerezi prikazani na Sliki 9.

Najprej smo izvedli izračun za primer, ko se nosilna plast dolomita nahaja na globini, ki je bila določena v sklopu terenskih raziskav. Omenili smo že, da se območje ureditve platoja nahaja na Dolenjskem, kjer je značilna kraška sestava tal. Značilnost kraških tal je neenakomerna sestava tal (različna in hitro spreminjajoča se debelina gline, pojavljanje nosilne plasti v nekakšni »nazobčani« obliki). Točkovne terenske raziskave v teh razmerah velikokrat ne pokažejo celotne slike o geoloških razmerah, zato smo izvedli še analizo za primer, če se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje oziroma 3 m višje od tiste, dobljene po raziskavah.

3.3 Terenske raziskave

3.3.1 Standardni penetracijski test (SPT)

Med samim vrtnanjem so bili narejeni tudi standardni penetracijski testi (SPT), ki so se izvajali na vsake tri metre. Standardni penetracijski preizkus uporabljamo za določitev trdnostnih in deformabilnostnih karakteristik zemljin. Primerna je predvsem za nekoherentne materiale, uporablja pa se tudi pri koherentnih materialih, vendar so v tem primeru rezultati manj zanesljivi.

Rezultate SPT testov vrednotimo s številom udarcev (N) pri prodiranju konice v globino 30,5 cm, v hribini pa s penetracijo (P) z globino prodiranja konice v cm pri 60-ih udarcih.

Rezultati SPT preiskav so pokazali, da so vrednosti udarcev N_{60} v pliokvartarnih glinah med 8 in 15, kar pomeni, da so gline težko gnetne do poltrdne konsistence, nekoliko boljši so rezultati v rumenorjavih in zaglinjenih ter zameljenih peskih. V dolomitu so SPT preiskave izkazale penetrabilnost od 2 cm do 13 cm, kar pomeni, da je kamnina srednje do visoko penetrabilna.

3.3.2 Preiskave z žepnim penetrometrom

Med popisom jeder vrtin je bila z žepnim penetrometrom ocenjena tudi enoosna tlačna trdnost kohezivnih zemljin.

3.3.3 Talna voda

Med raziskovalnim vrtnjem se je spremljalo tudi pojavljanje talne vode. Ugotovljeno je bilo, da na obravnavanem območju ni talne vode, saj se podtalnica ni pojavila v nobeni od izvedenih vrtin.

3.4 Laboratorijske preiskave

Za določitev trdnostnih in deformabilnostnih parametrov so bile na tipičnih vzorcih opravljene naslednje preiskave: klasifikacija zemljin, naravna vlažnost, gostota, zrnava sestava, stisljivost in nabrekljivost v edometru, nedrenirana strižna trdnost, enoosni tlačni preizkus, direktna strižna preiskava ter določitev Atterbergovih meja plastičnosti. Vse preiskave so se izvajale po SIST-standardih.

3.5 Materialne karakteristike, določene na osnovi terenskih in laboratorijskih preiskav

Na osnovi terenskih in laboratorijskih raziskav je podjetje ECONO d.o.o., določilo karakteristike posameznih zemljin. Vrednosti so prikazane v Preglednici 4.

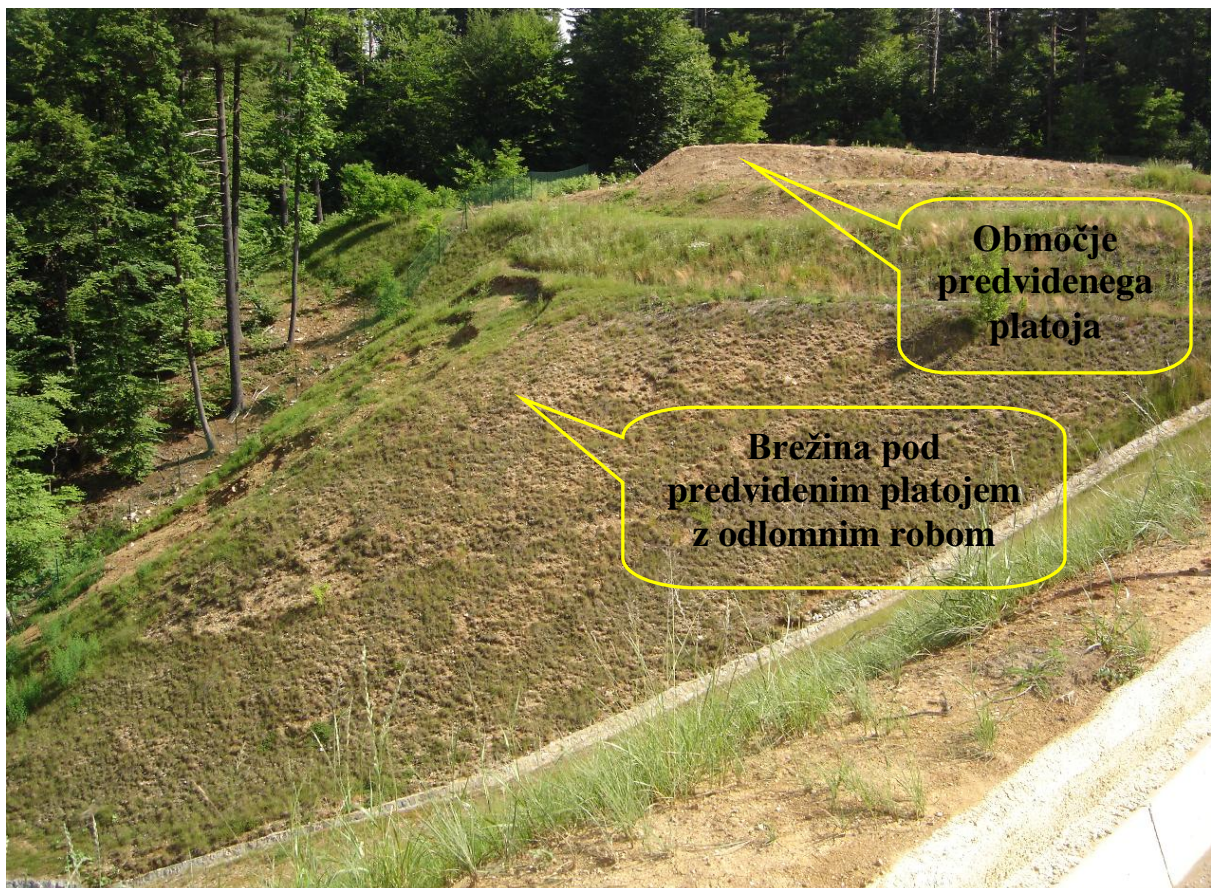
Preglednica 4: Karakteristične vrednosti materialnih karakteristik povzete iz geološko-geomehanskega poročila.

Material	Karakteristike zemljin	Prostorninska teža γ [kN/m ³]	Kot notr. trenja φ' [°]	Kohezija c' [kPa]	Modul stisljivosti M_v [MPa]	Poissonov količnik ν [-]
Nasutje		18	22	0	4	0,30
Rumen meljast pesek v lečah (CH)		18	30	5	10	0,30
Pliokvartarne rdečkaste gline na vrhu (CH tg. k.)		18	28	5	8	0,30
Pliokvartarne rdečkaste gline nad hribinsko osnovo dolomita (CH lg. k.)		19	22	5	4	0,30
Deloma preperel dolomit v podlagi		24	45	50	200	0,25
Nepreperel dolomit v podlagi		24	45	100	300	0,25
Plast nasipa na platoju v debelini najmanj 2 m		20	33	0	60	0,30

4 OBSTOJEČE STANJE

4.1 Opis območja predvidene gradnje

Obstoječe stanje obravnavanega področja, kjer je predviden plato, na katerem se bo zgradila upravna stavba s parkirišči za zaposlene, ekološki otok z zabojniki za ločeno zbiranje odpadkov ter nova dostopna cesta, je nasuto v debelini do 6 m, na zahodnem pobočju pa sega nasutje tudi do 50 m od roba platoja. Nasip je v rahlem stanju in je bil na lokacijo nekontrolirano odložen brez komprimiranja. Po večjem deževju je prišlo do splazitve, kar je razvidno iz Slik 7 in 8.



Slika 7: Fotografija območja predvidenega platoja ter brežine pod njim.



Slika 8: Fotografija brežine pod predvidenim platojem z odlomnim robom.

Ureditev brežine za zagotovitev stabilnosti pod predvidenim platojem lahko izvedemo na več načinov. Opredelili smo se na dve, po našem mnenju najboljše varianti, ki ju med seboj primerjamo iz izvedbenega in ekonomskega vidika (prednosti in pomanjkljivosti).

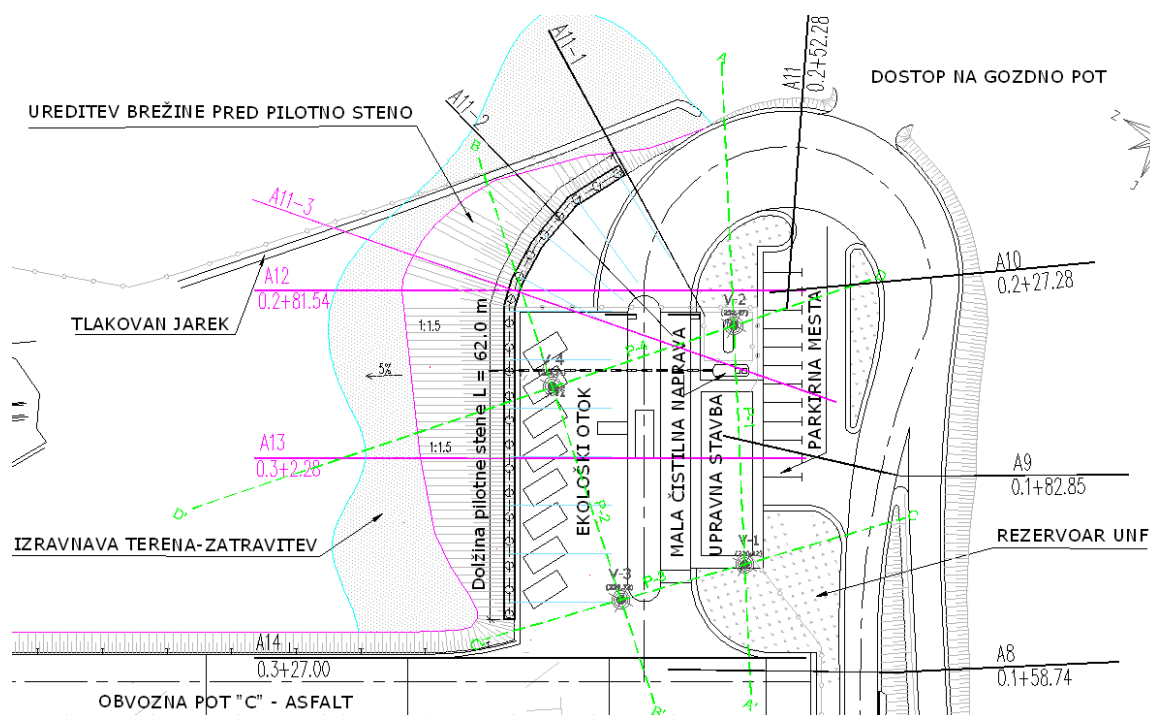
4.2 Karakteristike zemljin

Na podlagi terenskih in laboratorijskih raziskav so v podjetju ECONO d.o.o, določili trdnostne in deformabilnostne karakteristike zemljin in hribin, ki so podane v Preglednici 4. Karakteristike, ki smo jih upoštevali v računu, se od teh vrednosti nekoliko razlikujejo. Izhajali smo namreč iz predpostavke, da je v vseh profilih začetna varnost $\gamma_R \approx 1,0$. Vrednosti, ki smo jih v ta namen spreminjali ali spremenili, so v Preglednici 5 označene sivo. Istočasno je to najbolj varen račun.

Preglednica 5: Karakteristične vrednosti karakteristik zemljin in hribin.

Karakteristike zemljin	Zemljina	Nasutje	Meljast pesek	Težko gnetna glina	Lahko gnetna glina	Dolomit	Nasip za plato
Prost. teža γ	[kN/m ³]	18	18	18	19	24	20
Kohezija c'	[kN/m ²]	5–7	5	5	5–8	100	1
Strižni kot φ'	[°]	23–25	30	28	22–25	45	40
Obremenitveni modul E_{oed}	[kPa]	4000	10000	8000	4000	300000	50000
Razbremenitveni modul E_{ur}	[kPa]	12000	30000	24000	12000	900000	150000

5 VARIANTA PODPIRANJA NASIPA S PILOTNO STENO



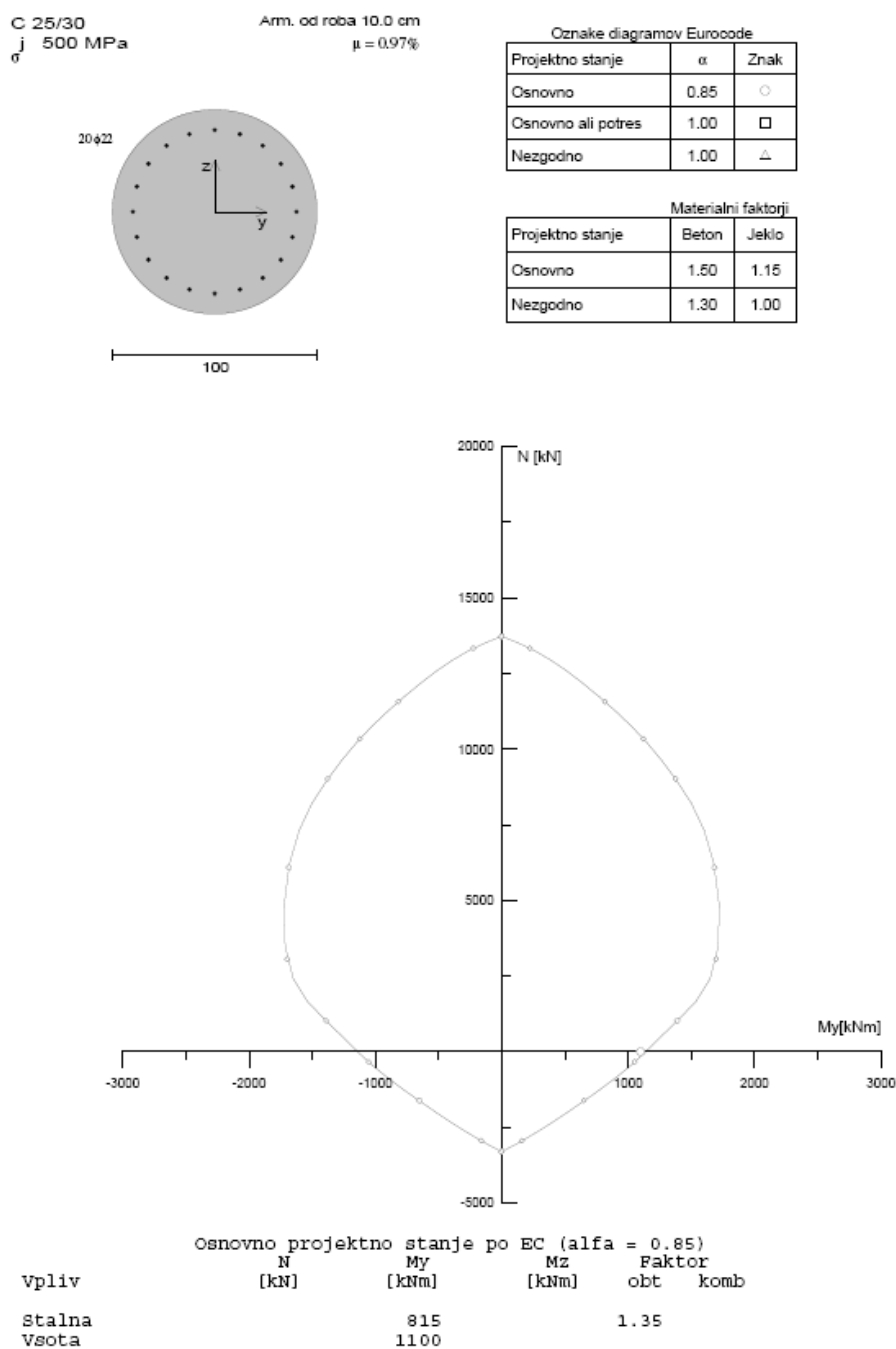
Slika 9: Tlorisna situacija podpiranja nasipa s pilotno steno.

5.1 Statična analiza

Statični račun pilotne stene smo izvedli po metodi končnih elementov s programom PLAXIS 8.0, in sicer z modelom »Hardening soil«. Analiza je narejena za posamezno gradbeno fazo za vse dele konstrukcije. Vse faze morajo izpolnjevati predpostavljene zahteve. Elementi sidrane pilotne stene so modelirani kot linijske elastične konstrukcije ustrezne togosti.

5.2 Projektna nosilnost enega pilota

S pomočjo interakcijskega diagrama smo predhodno določili projektno nosilnost enega pilota. Predpostavili smo procent armiranja $\mu = 1\%$ in tako z izbrano armaturo dobili maksimalno dovoljeno projektno vrednost upogibnega momenta, ki še lahko nastopi v pilotu. Tega smo kasneje v statični analizi tudi kontrolirali.



Slika 10: Interakcijski diagram za določitev maksimalnega upogibnega momenta v pilotu z izbrano armaturo.

Interakcijski diagram na Sliki 10 nam pove, da je maksimalna še dovoljena projektna vrednost momenta v pilotu $M_{d,max} = 1100 \text{ kNm}$, če je $N_d = 0$ in ob predpostavki izbrane armature 20 Φ 22 ($\mu = 1 \%$).

5.3 Karakteristike sidrane pilotne stene

V Preglednicah 6, 7 in 8 so podane karakteristike elementov sidrane pilotne stene.

Preglednica 6: Karakteristike pilotov in zidu.

Element	E [kN/m ²]	A [m ²]	I [m ⁴]	ν [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
Piloti $\Phi 100$	$2 \cdot 10^7$	0,785	0,049	0,15	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$
Zid	$2 \cdot 10^7$	0,600	0.050	0,15	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$

Preglednica 7: Karakteristike veznega dela sidra.

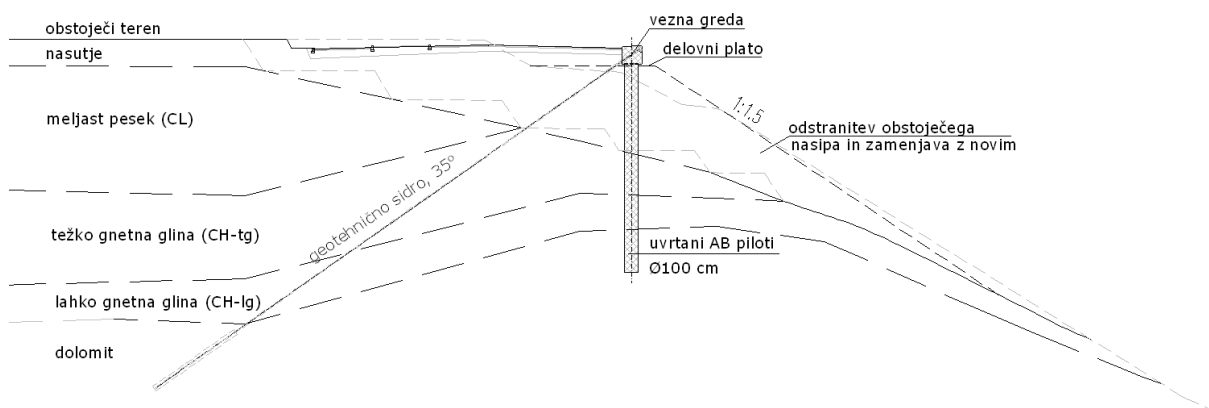
Element	A [mm ²]	$E \cdot A$ [kN/m]	ν [-]
Vezni del sidra 4 x 0,6"	560	118160	0

Preglednica 8: Karakteristike prostega dela sidra.

Element	A [mm ²]	$E \cdot A$ [kN/m]	$F_{max,tlak}$ [kN]	$F_{max,nateg}$ [kN]
Prosti del sidra 4 x 0,6"	560	118160	$1 \cdot 10^{15}$	991

5.4 VARIANTA 1: SIDRANA PILOTNA STENA

5.4.1 Zasnova



Slika 11: Karakteristični prerez pilotne stene v profilu A11-3.

Predlog podpiranja nasipa je sidrana pilotna stena. Tvorijo jo armirano betonski uvrtni piloti premera 100 cm. Noge pilotov so vpete 3m ($3 \cdot D$) v trdno podlago dolomita. Pilote povezuje sidrna greda, skozi katero se vgradi trajna geotehnična sidra. Sidra so vgrajena pod kotom 35° glede na horizontalo, saj so v tem primeru najkrajša.

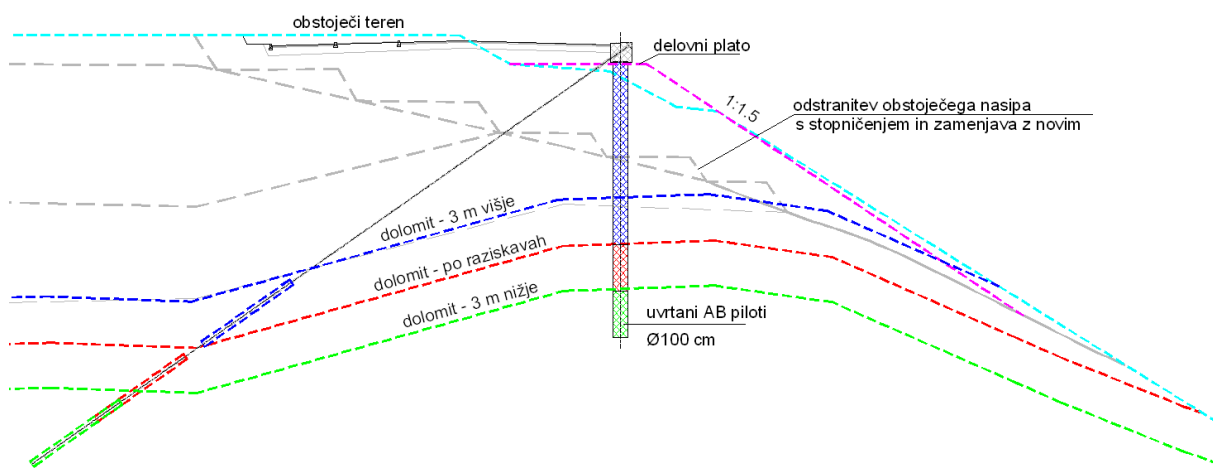
Medsebojno razdaljo med piloti, karakteristike sider in potrebno silo zaklinjenja smo določili s statično analizo in jih podajamo naknadno.

5.4.2 Faze gradnje in faze računa

- ✓ Obstoječe stanje: določitev začetnih napetosti v zemljini.
- ✓ Začetna varnost: določitev začetnega faktorja varnosti, ki mora biti $\gamma_R \approx 1,00$.
- ✓ Odstranitev obstoječega nasipa: odstranimo slabo komprimiran nasipni material na površju.
- ✓ Izgradnja nasipa za plato: odstranjeni nasipni material nadomestimo s kvalitetnim tamponskim materialom do nivoja platoja, brežine pa uredimo v naklonu 1 : 1,5.
- ✓ Izvedba pilotov in grede ter zasip: vgradnja pilotov in izvedba vezne grede ter zasip na zaledni strani.

- ✓ Sidranje: vgradnja in zaklinjenje geotehničnih sider.
- ✓ Promet: aktiviranje prometne obtežbe.
- ✓ Ureditev brežine pred steno: odstranitev dela nasipa pred steno.
- ✓ Končna varnost: določitev končnega faktorja varnosti, ki mora znašati vsaj $\gamma_R \cong 1,25$.

5.4.3 Profil A11-3



Slika 12: Prečni prerez A11-3 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računke primere.

5.4.3.1 Analiza

Analizo konstrukcije smo izvajali po korakih, kot je prikazano v Preglednici 9. V vsakem koraku so prikazani spreminjajoči se vhodni podatki (količina odstranjenega materiala, raster pilotov, vrsta in raster sider, sila prednapetja), ter rezultati za kontrolo (pomik vrha pilota; projektna vrednost upogibnega momenta, dosežena globalna varnost konstrukcije). Sledi razlaga rezultata posameznega koraka ter ukrep za naslednji korak. Končno stanje je doseženo takrat, ko so izpolnjene vse zahtevane predpostavke ($u \leq u_{max} = 10 \text{ mm}$, $M_d < M_{d,max} = 1100 \text{ kNm/m}$, $\gamma_R \geq 1,25$). Enak postopek analize konstrukcije velja tudi za ostala dva profila: za A12 Preglednica 12 in za A13 Preglednica 15.

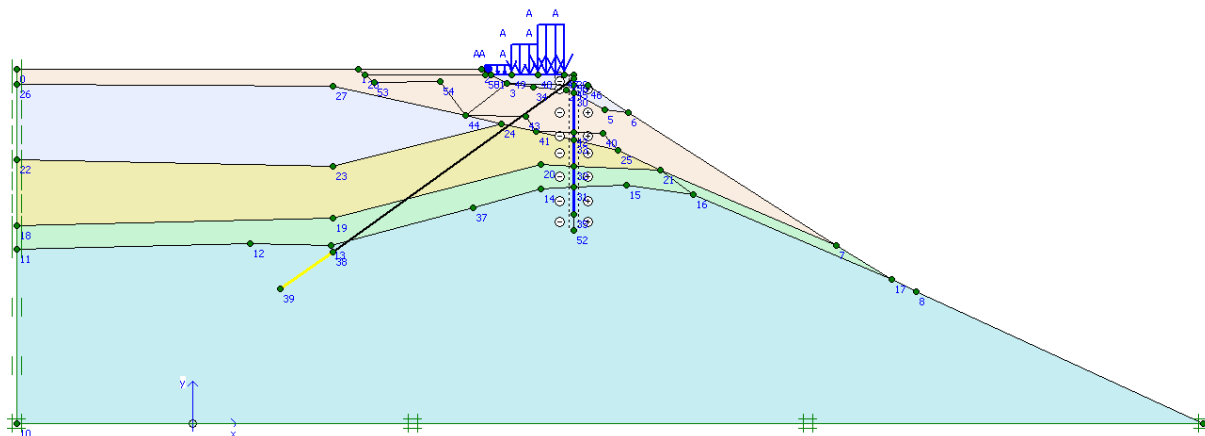
Preglednica 9: Računska analiza pilotne stene v profilu A11-3.

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena
Odstranitev obstoječega materiala	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa
Piloti	Φ100/3m	Φ100/3m	Φ100/3m
Sidranje	/	/	4-vrвна sidra; $L = 6 \text{ m}$, $P_0 = 150 \text{ kN/sidro}$
Vodoravna komponenta pomika vrha pilota [mm]	/	12,9	3,3
Upogibni moment $M_{d,max}$ [kNm/pilot]	/	1854	1065
Globalna varnost γ_R	/	1,28	1,29
Razlaga rezultata	V fazi izgradnje nasipa za plato material zdrsne po drsini, ki se pojavi na stiku lahko gnetne glin in trdne podlage dolomita	Želimo doseči, da bo pomik vrha pilota $\leq 10 \text{ mm}$	Končni pomik vrha pilota je malenkosten. Zadostuje že $P_0 = 150 \text{ kN/sidro}$
Ukrep za naslednji korak	Odstranimo še lahko gnetno glino ob vznožju nasipa	Dodamo sidra	✓

5.4.3.2 Končni rezultat

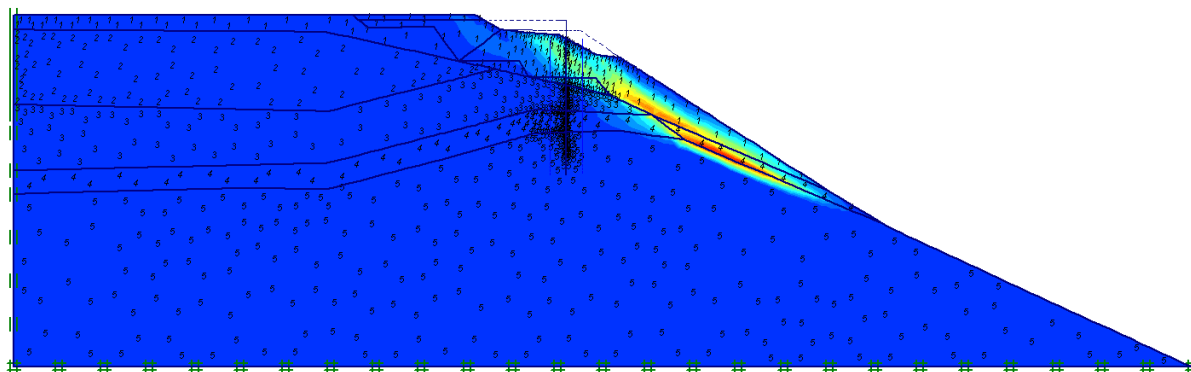
Na spodnjih slikah je prikazana računška shema, porušni mehanizem za začetno stanje, deformirana mreža v končnem stanju, karakteristične in projektne vrednosti notranjih statičnih količin, pomikov ter sidrnih sil doseženih v končnem stanju. Prikazana je tudi varnost konstrukcije v končnem stanju ter diagram količnika varnosti. Enako velja tudi za profila A12 in A13.

1. Računska shema



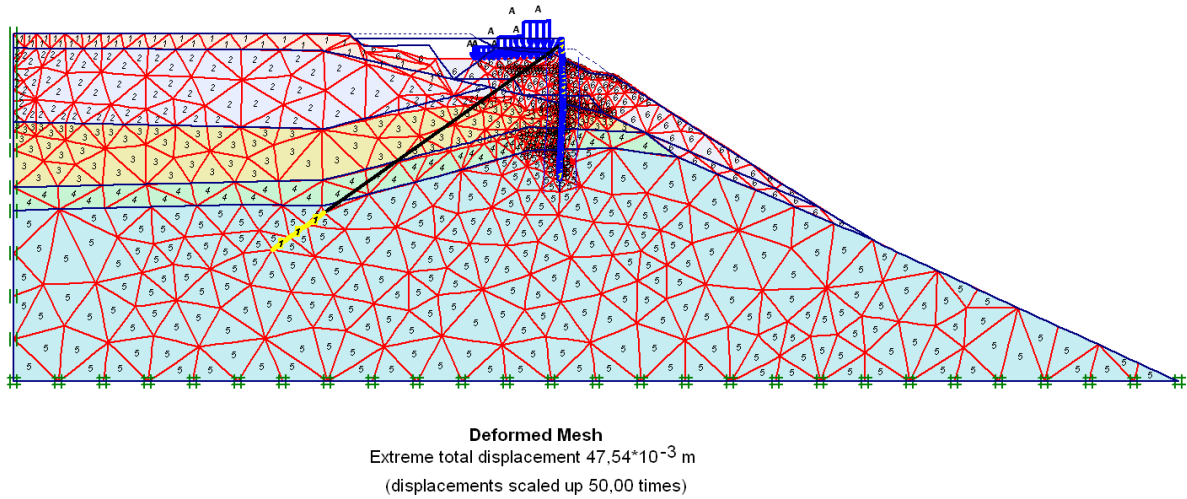
Slika 13: Računska shema profila A11-3.

2. Začetno – obstoječe stanje

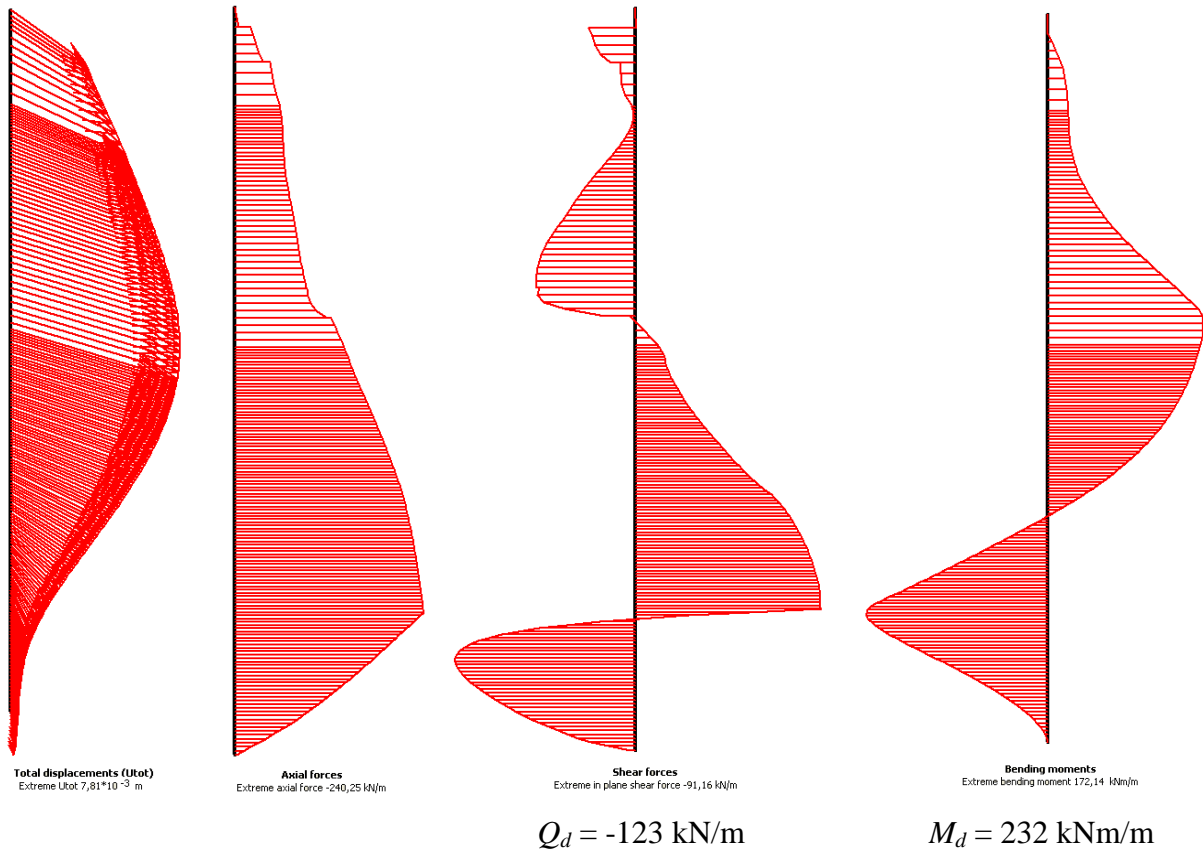


Slika 14: Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,00$ v profilu A11-3.

3. Končno stanje



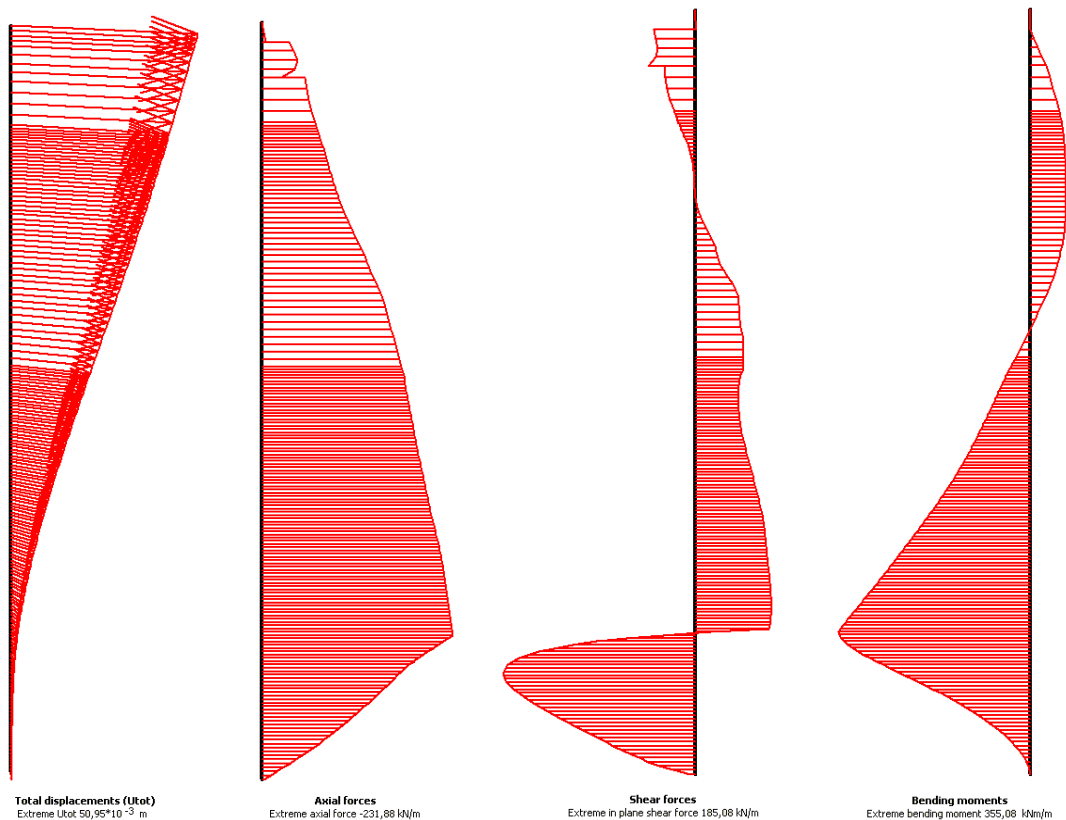
Slika 15: Deformirana mreža v končnem stanju profila A11-3.



Slika 16: Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A11-3, kombinacija 1.

Preglednica 10: Sidrne sile v profilu A11-3, karakteristična vrednost – kombinacija 1.

F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [kN/m]	$E \cdot A$ [10^3 kN/m]	L_s [m]
28,05	166,667	165,167	19,693	6,0

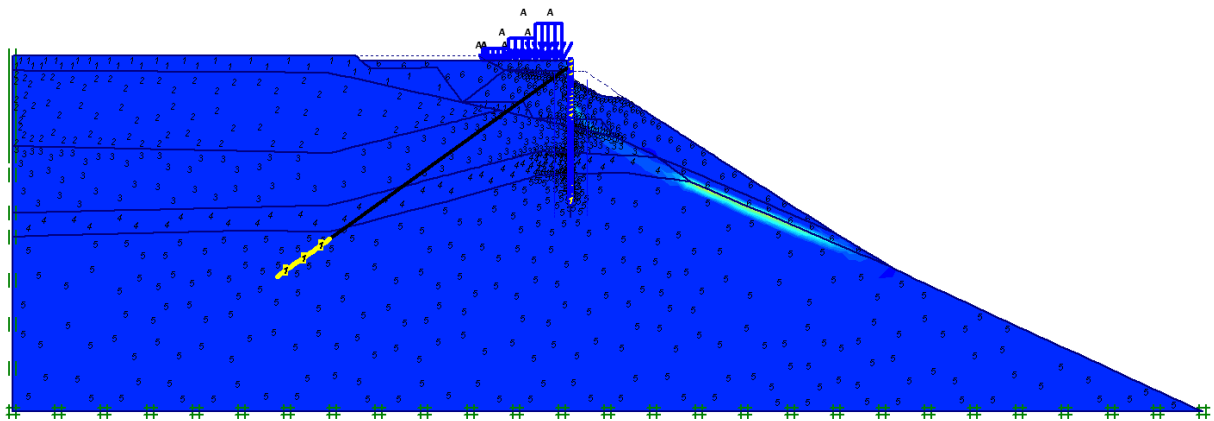


$$Q_d = 185 \text{ kN/m} \quad M_d = 355 \text{ kNm/m}$$

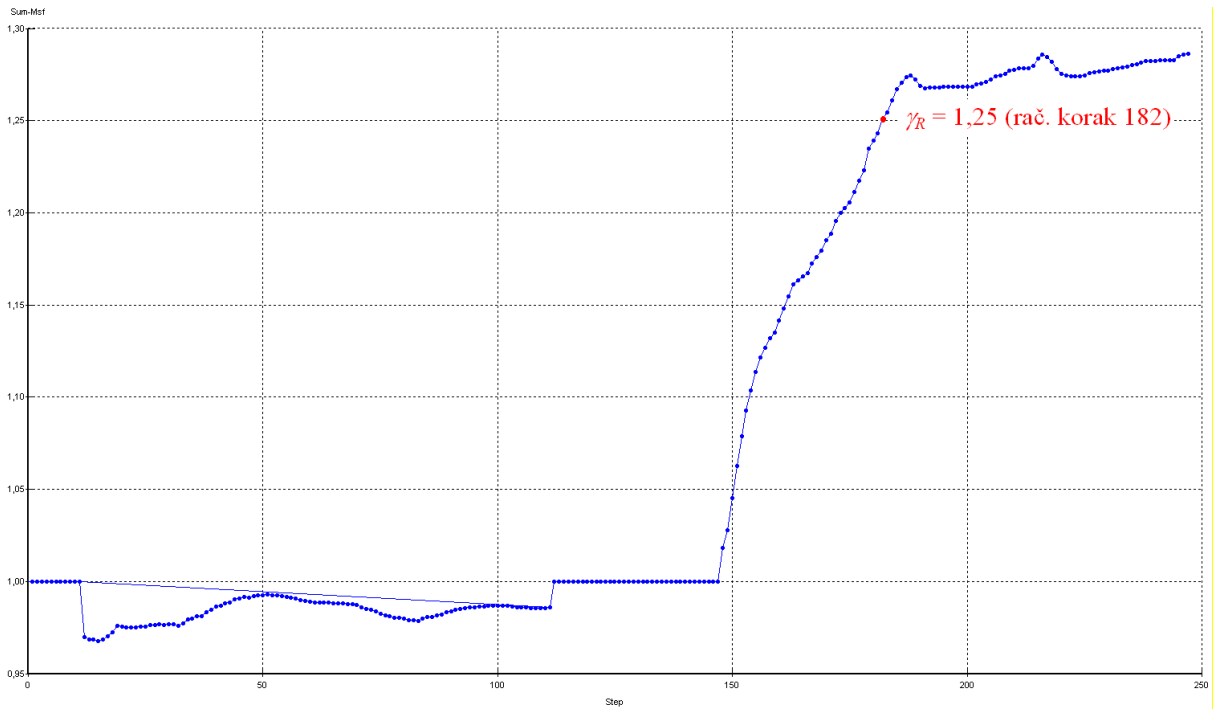
Slika 17: Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A11-3, kombinacija 2.

Preglednica 11: Sidrne sile v profilu A11-3, projektna vrednost – kombinacija 2.

F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [kN/m]	$E \cdot A$ [10^3 kN/m]	L_s [m]
49,688	166,667	165,167	19,693	6,0



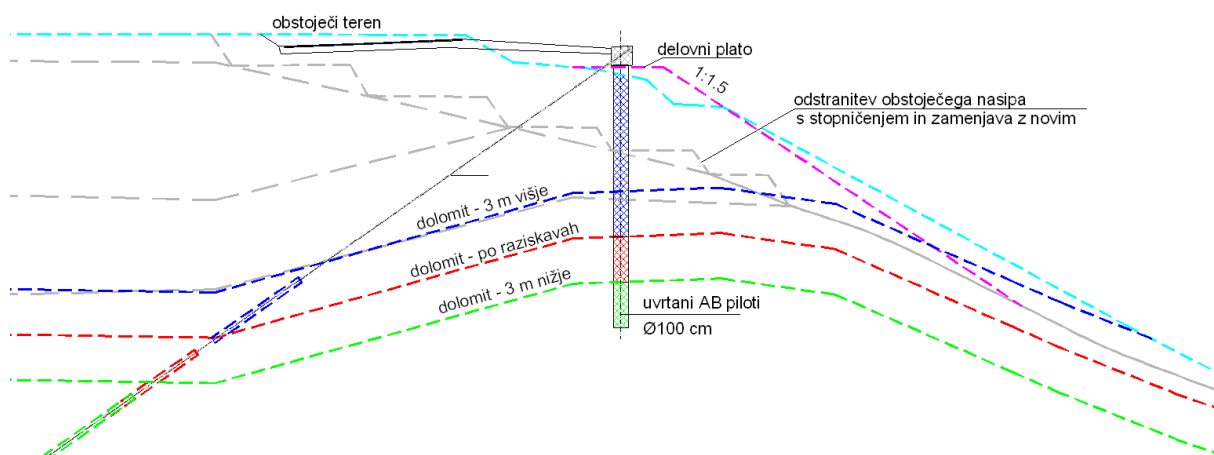
Slika 18: Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.



Slika 19: Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.

Varnost $\gamma_R = 1,28$ je merodajna za drsino pred pilotno steno, ki pa je večja od zahtevane. To pomeni, da je varnost v območju ceste kvečjemu večja od dobljene.

5.4.4 Profil A12



Slika 20: Prečni prerez A12 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računke primere.

5.4.4.1 Analiza

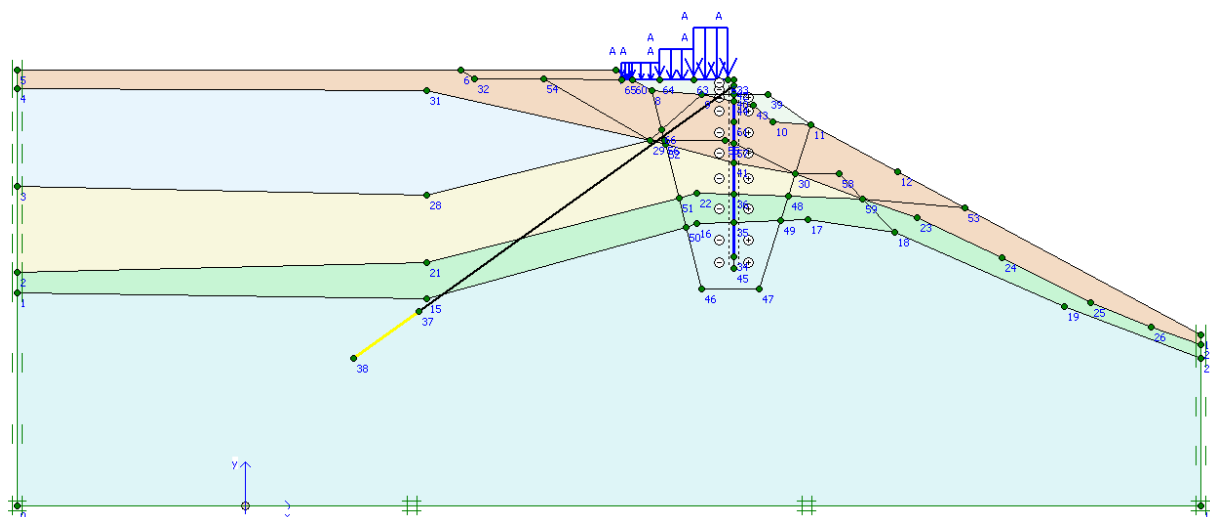
Preglednica 12: Računska analiza pilotne stene v profilu A12.

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena
Odstranitev obstoječega materiala	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa
Piloti	Φ100/3m	Φ100/3m	Φ100/3m
Sidranje	/	/	4-vrвна sidra; $L = 6 \text{ m}$, $P_0 = 200 \text{ kN/sidro}$
Vodoravna komponenta pomika vrha pilota [mm]	/	18,8	7,8
Upogibni moment $M_{d,max}$ [kNm/pilot]	/	819	733
Globalna varnost γ_R	/	1,44	1,44

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena
Razlaga rezultata	V fazi izgradnje nasipa za plato material zdrse po drsini, ki se pojavi na stiku lahko gnetne glinje in trdne podlage dolomita	Pomik vrha pilota znaša 18,8 mm, kar je več od dovoljenega pomika	Pomik vrha pilota v končnem stanju je minimalen
Ukrep za naslednji korak	Odstranim še lahko gnetno glino ob vznožju nasipa	Dodamo sidra	✓

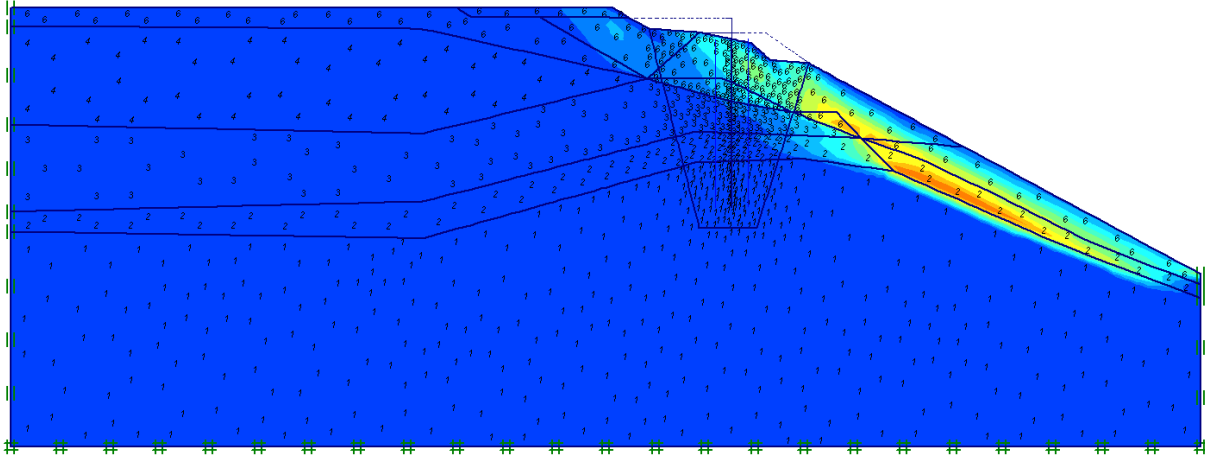
5.4.4.2 Končni rezultat

1. Računska shema



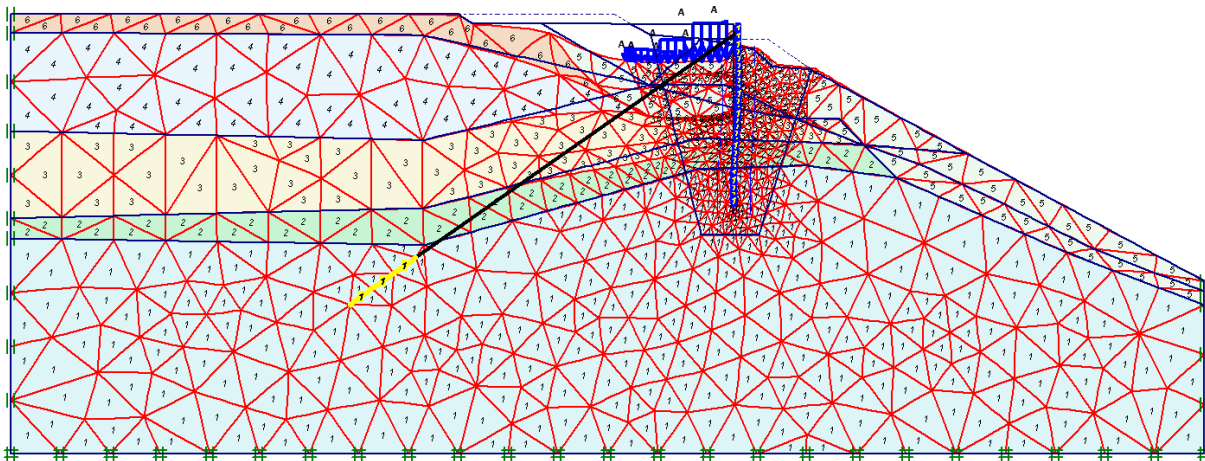
Slika 21: Računska shema profila A12.

2. Začetno – obstoječe stanje



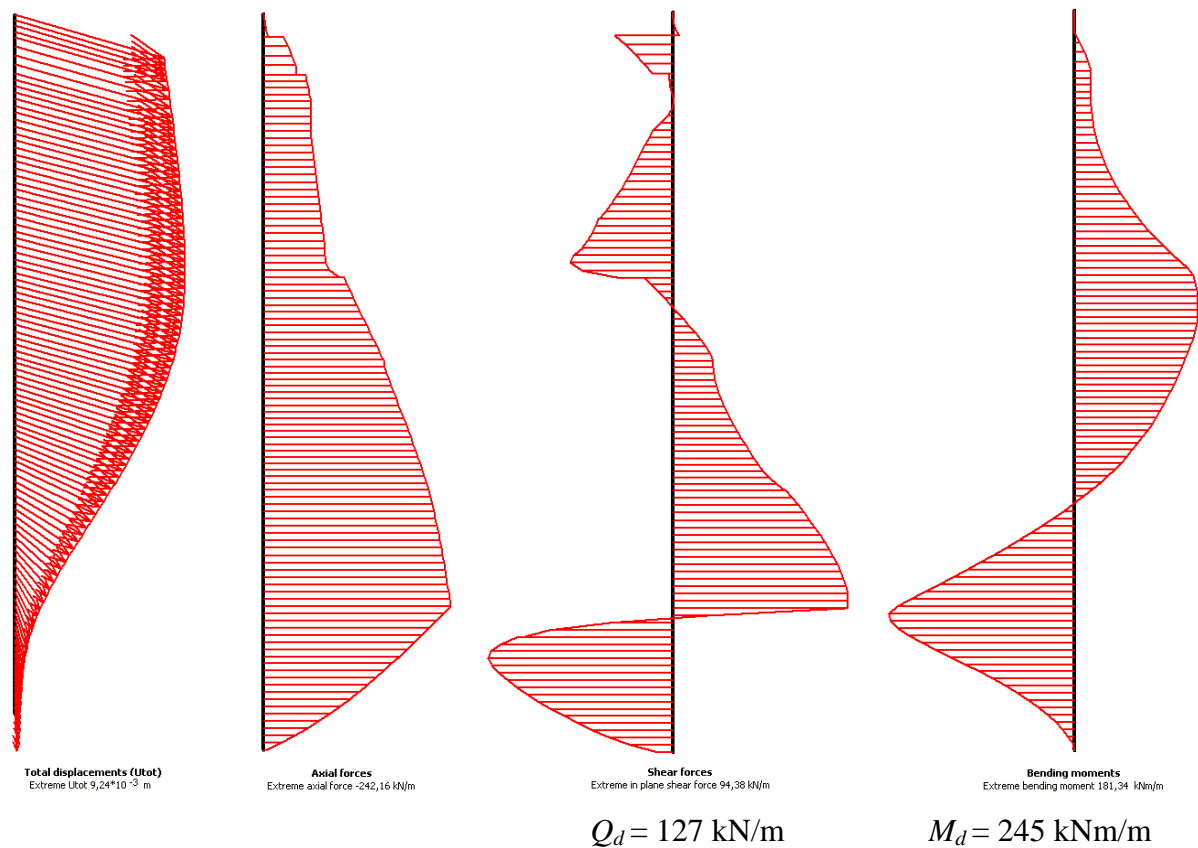
Slika 22: Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,00$ v profilu A12.

3. Končno stanje



Deformed Mesh
Extreme total displacement $66,80 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 50,00 times)

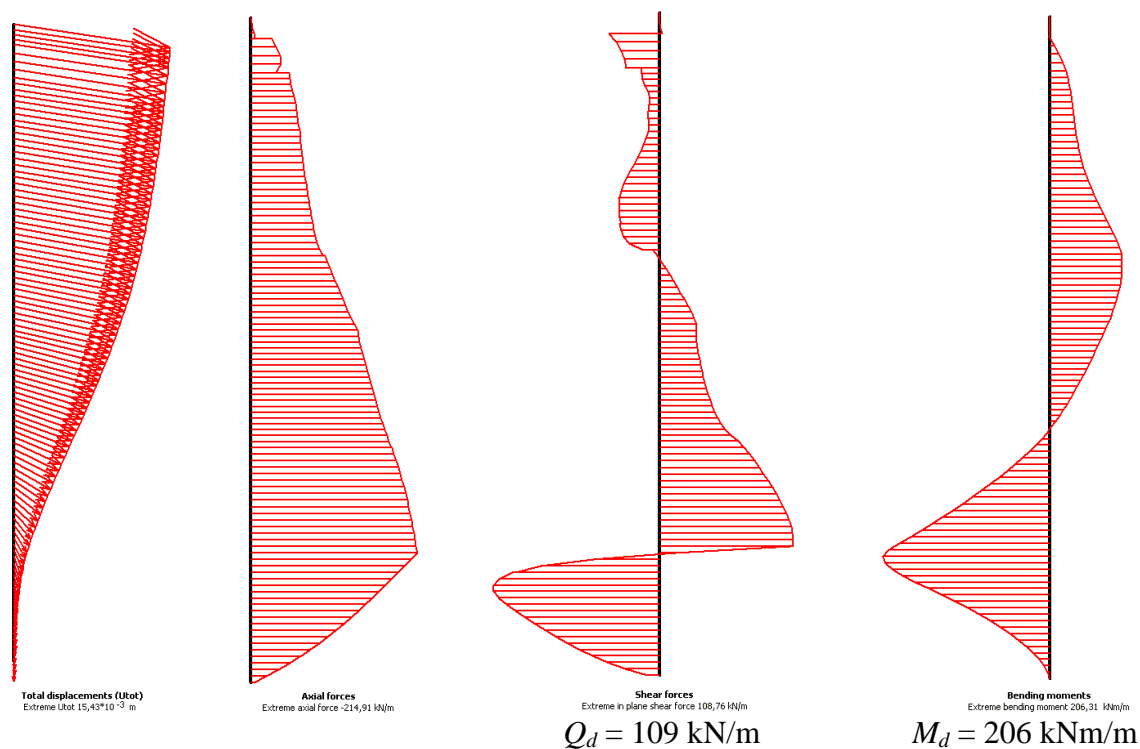
Slika 23: Deformirana mreža v končnem stanju profila A12.



Slika 24: Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A12, kombinacija 1

Preglednica 13: Sidrne sile v profilu A12, karakteristična vrednost – kombinacija 1.

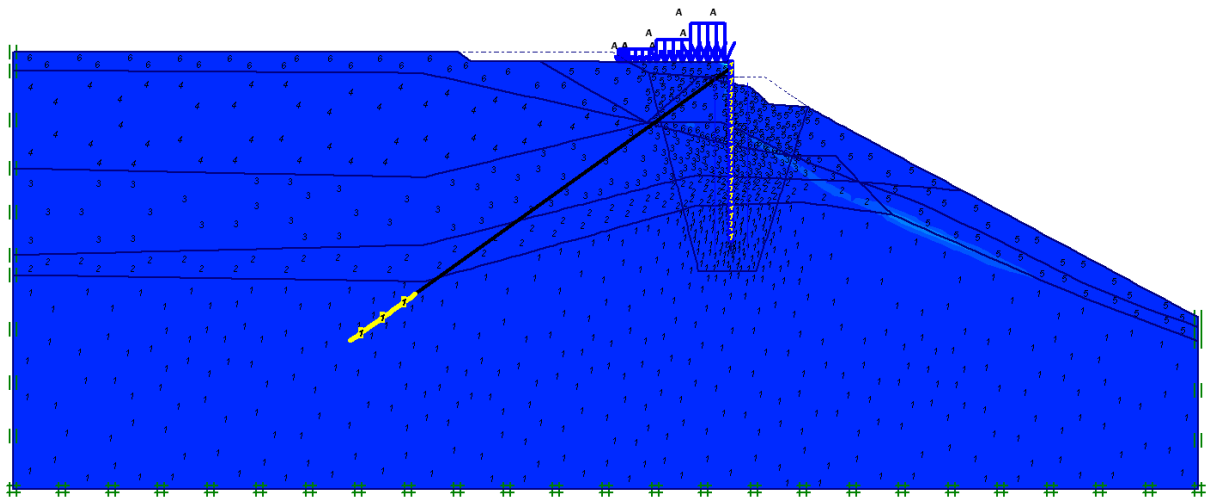
F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [kN/m]	$E \cdot A$ [10^3 kN/m]	L_s [m]
37,348	166,667	165,167	19,693	6,0



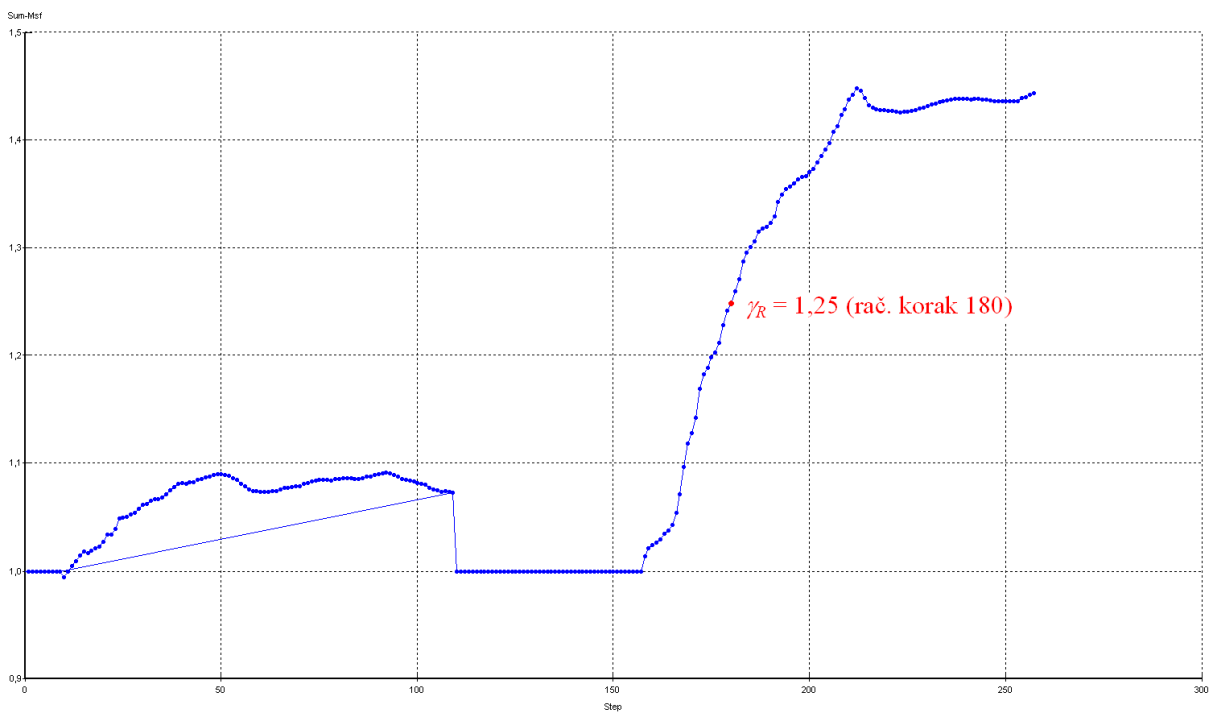
Slika 25: Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A12, kombinacija 2.

Preglednica 14: Sidrne sile v profilu A12, projektna vrednost – kombinacija 2.

F	$ F_{max,comp} $	$ F_{max,tens} $	$E \cdot A$	L_s
[kN/m]	$[10^{12} \text{ kN/m}]$	[kN/m]	$[10^3 \text{ kN/m}]$	[m]
40,687	166,667	165,167	19,693	6,0



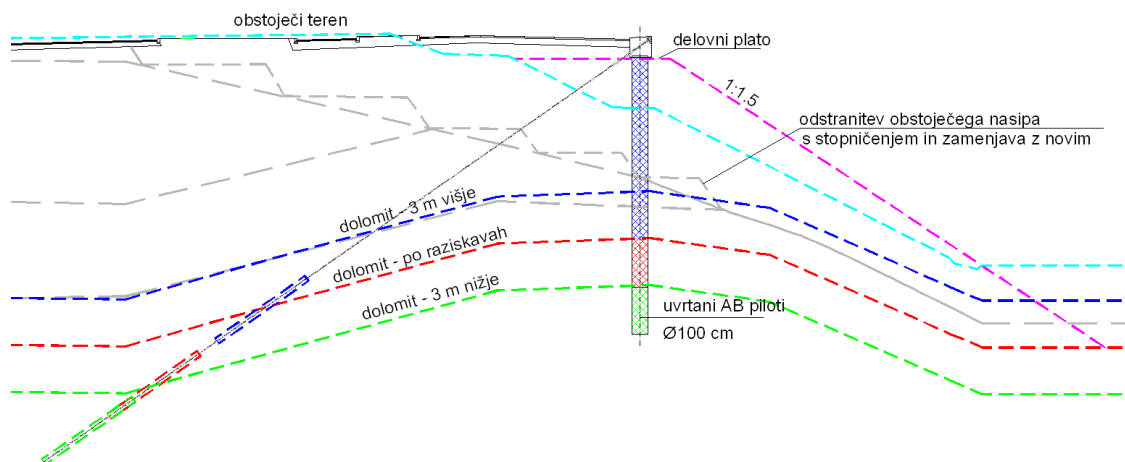
Slika 26: Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,45$ v profilu A12.



Slika 27: Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,45$ v profilu A12.

Tudi v tem profilu je izračunana končna varnost $\gamma_R = 1,45$ merodajna za drsino pred pilotno steno, ki pa je večja od zahtevane. To pomeni, da je varnost v območju ceste kvečjemu večja od dobljene.

5.4.5 Profil A13



Slika 28: Prečni prerez A13 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računске primere.

5.4.5.1 Računska analiza

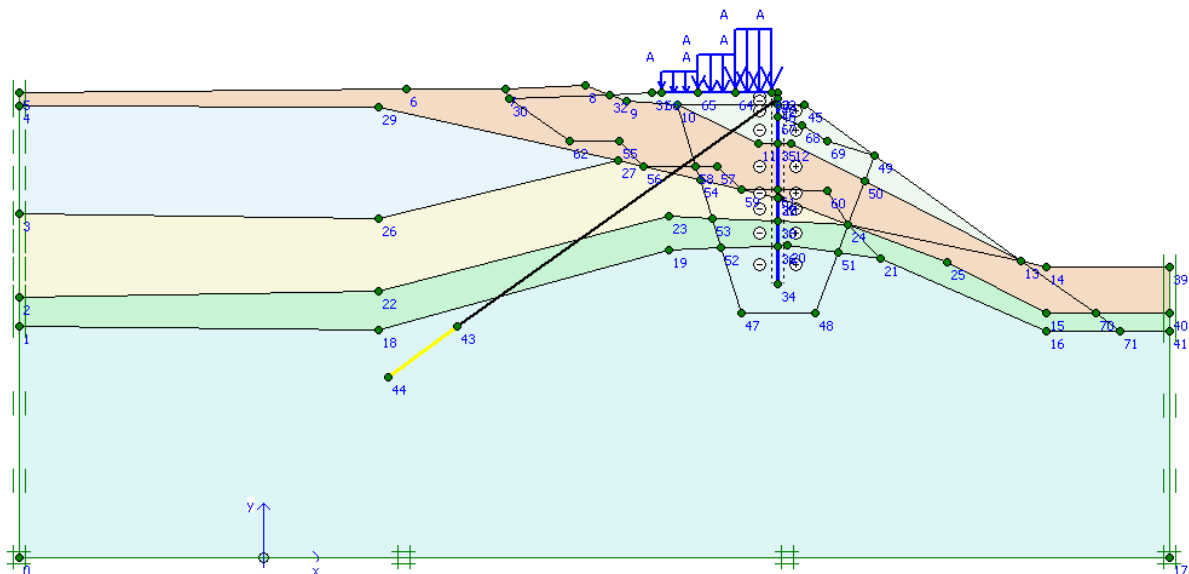
Preglednica 15: Računska analiza pilotne stene v profilu A13.

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena
Odstranitev obstoječega materiala	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa
Piloti	Φ100/3m	Φ100/3m	Φ100/3m
Sidranje	/	/	4-vrвна sidra; $L = 6 \text{ m}$, $P_0 = 100 \text{ kN/sidro}$
Vodoravna komponenta pomika vrha pilota [mm]	/	5,9	1,0
Upogibni moment $M_{d,max}$ [kNm/pilot]	/	678	648
Globalna varnost γ_R	/	1,28	1,31

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena
Razlaga rezultata	V fazi izgradnje nasipa za plato material zdrsne po drsini, ki se pojavi na stiku lahko gnetne glin in trdne podlage dolomita	Pomik je manjši od maksimalnega še dovoljenega, ni pa kritičen. Tudi moment, ki se pojavi v pilotu, ni večji od mejnega. Varnost je večja od zahtevane. Lahko konzolna stena	Končni pomik vrha pilota je malenkosten in usmerjen v zaledje Zadostuje že $P_0 = 100$ kN/sidro
Ukrep za naslednji korak	Odstranim še lahko gnetno glino ob vznožju nasipa	✓ Poskusim še s sidranjem	✓

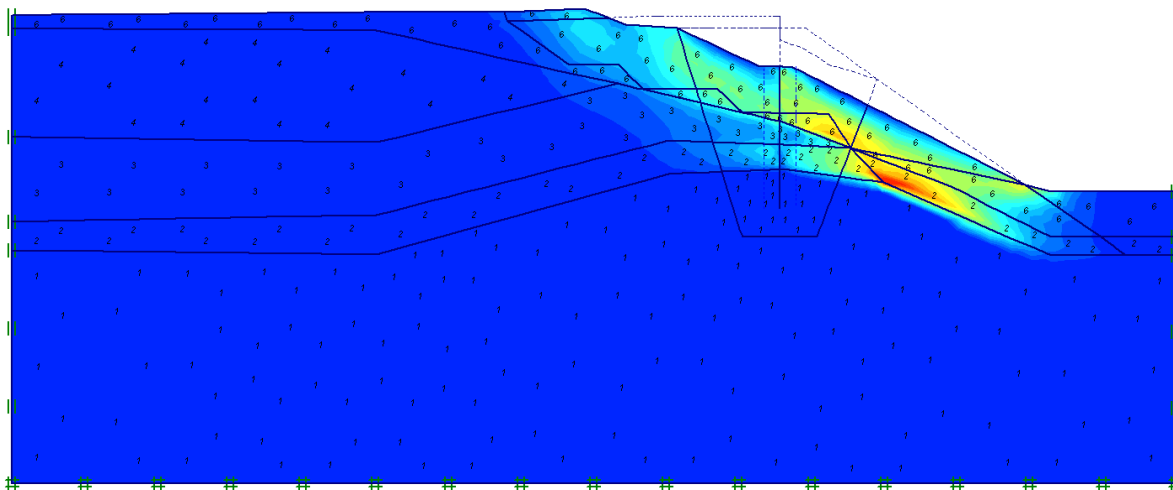
5.4.5.2 Končni rezultat

1. Računska shema



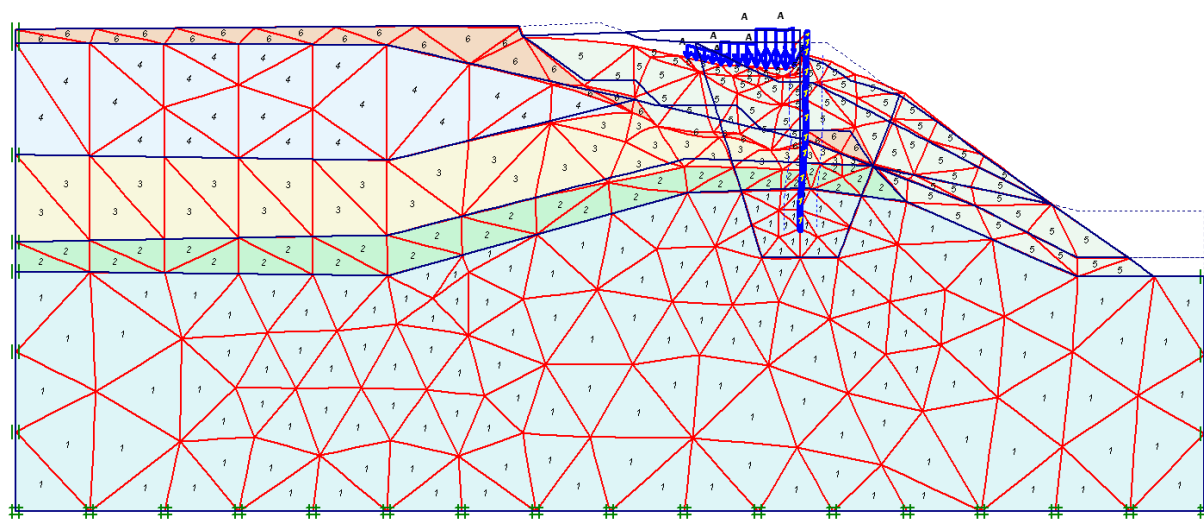
Slika 29: Računska shema profila A13.

2. Začetno – obstoječe stanje



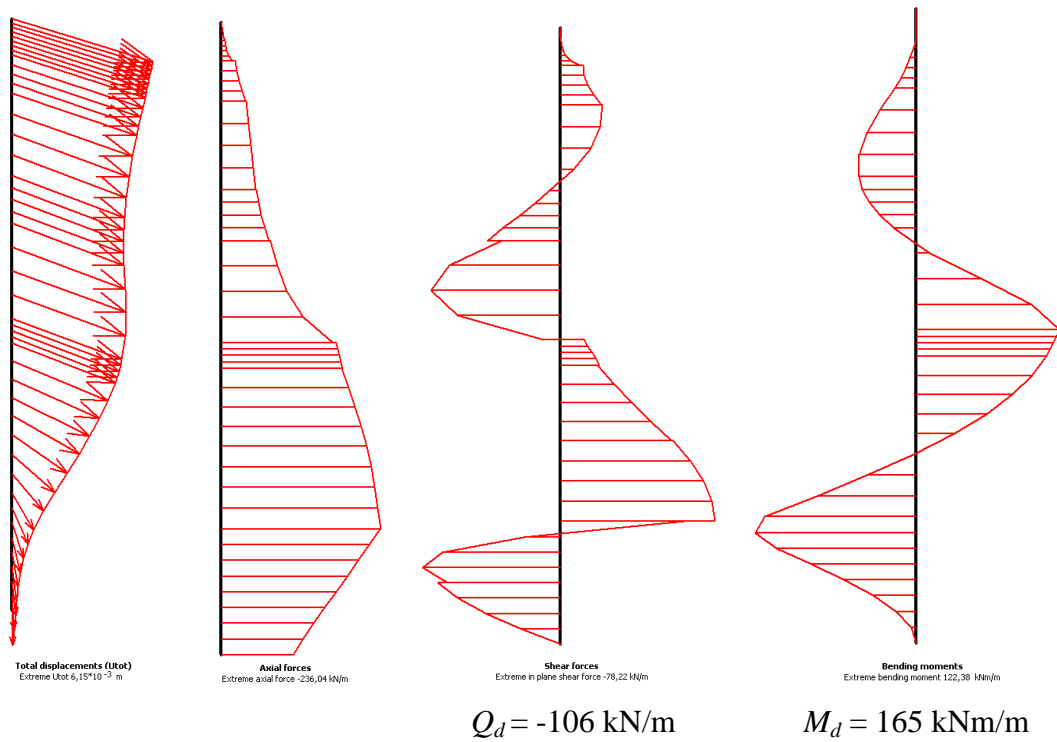
Slika 30: Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A13.

3. Končno stanje

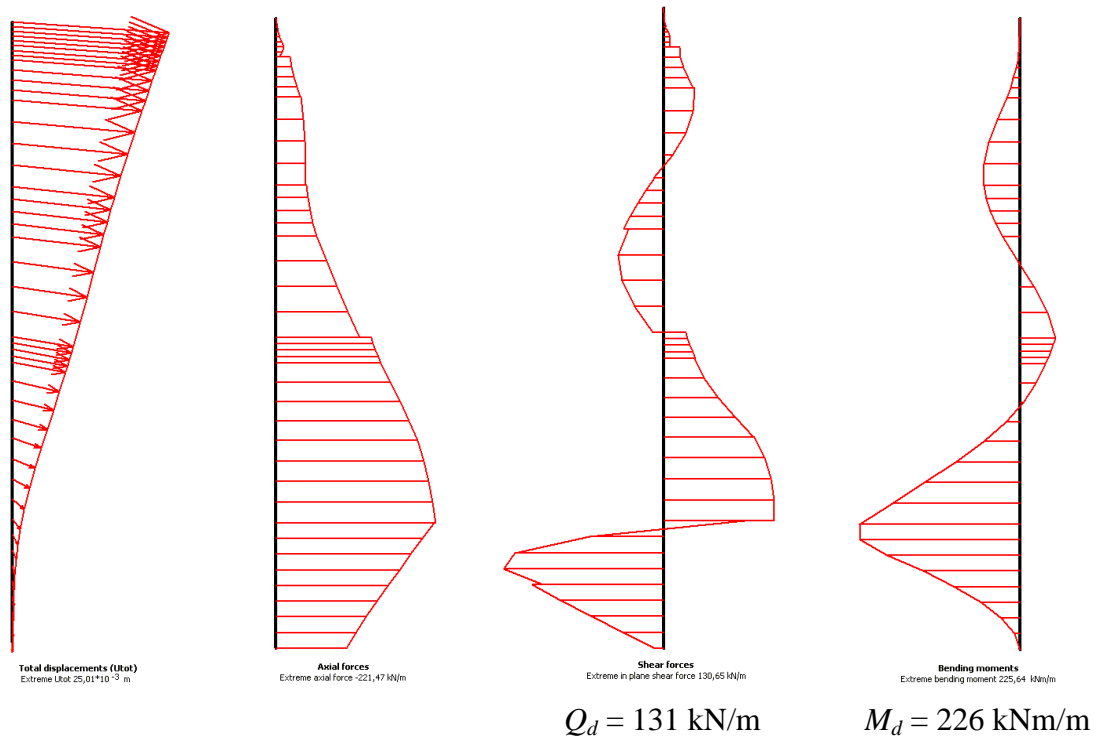


Deformed Mesh
Extreme total displacement $30,80 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 100,00 times)

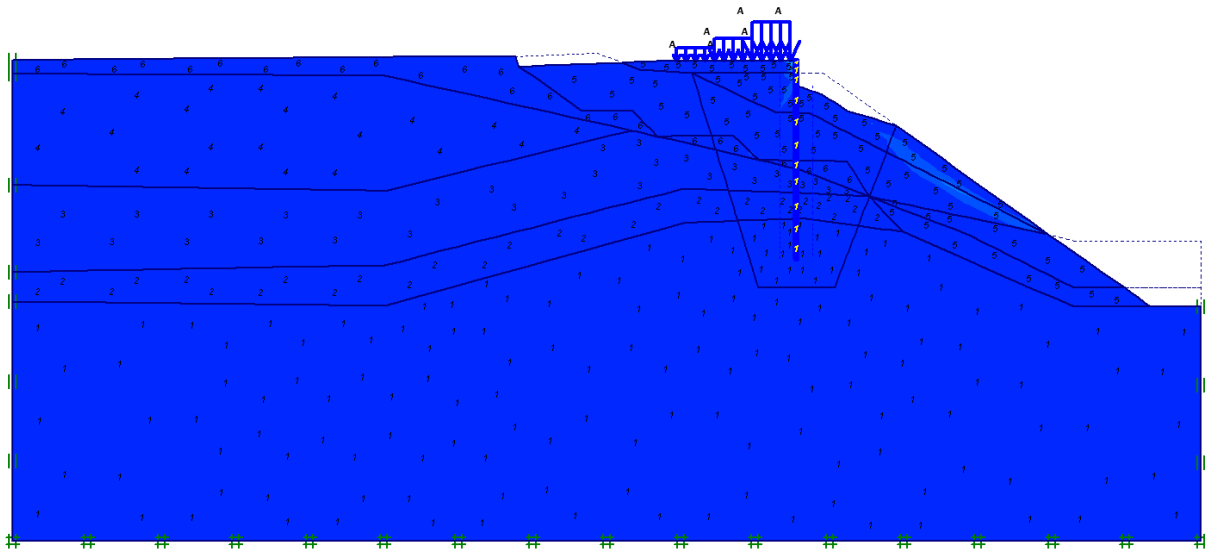
Slika 31: Deformirana mreža v končnem stanju profila A13.



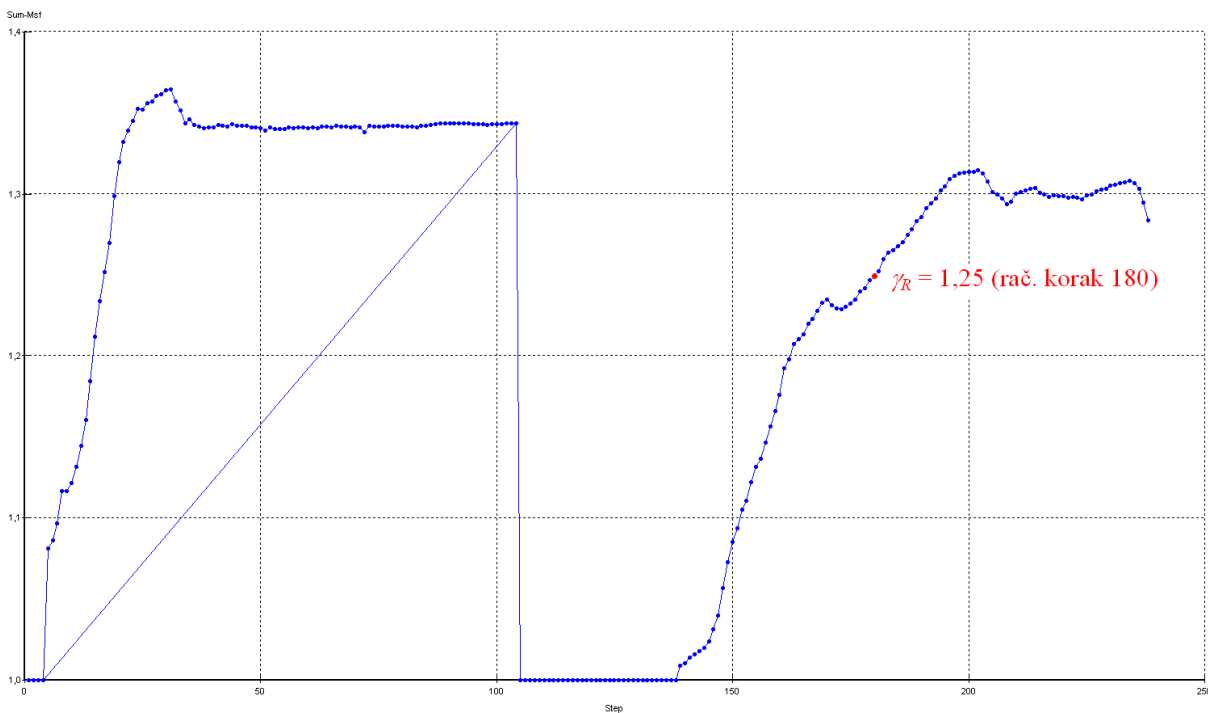
Slika 32: Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A13, kombinacija 1.



Slika 33: Maksimalne notranje sile v pilotu in pomiki v profilu A13, kombinacija 2.



Slika 34: Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,31$ v profilu A13.



Slika 35: Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,31$ v profilu A13.

Iz Slike 35 vidimo, da tudi v tem profilu izračunana varnost velja za drsino pred pilotno steno in znaša $\gamma_R = 1,31$. To pomeni, da je varnost v območju ceste kvečjemu večja od dobljene.

5.4.6 Dimenzioniranje pilotne stene

Armiranobetonski piloti Φ 100 cm na rastru $r = 3$ m:

Kombinacija 1 ($Q_{d,max} = Q_{max} \cdot r \cdot 1,35$; $M_{d,max} = M_{max} \cdot r \cdot 1,35$)

Preglednica 16: Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 1.

Profil	Q_{max} [kN/m']	Q_{max} [kN/pilot]	$Q_{d,max}$ [kN/pilot]	M_{max} [kNm/m']	M_{max} [kNm/pilot]	$M_{d,max}$ [kNm/pilot]
A11-3	-91	-273	-369	172	516	697
A12	94	282	381	181	543	733
A13	-78	-234	-316	122	366	494

Kombinacija 2 ($Q_{d,max} = Q_{d,max} \cdot r \cdot 1,00$; $M_{d,max} = M_{d,max} \cdot r \cdot 1,00$)

Preglednica 17: Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 2.

Profil	$Q_{d,max}$ [kN/m']	$Q_{d,max}$ [kN/pilot]	$M_{d,max}$ [kNm/m']	$M_{d,max}$ [kNm/pilot]
A11-3	185	555	355	1065
A12	109	327	206	618
A13	131	393	226	678

Sidra na rastru $r = 6,00$ m

Preglednica 18: Sidrne sile za kombinacijo 1 in 2.

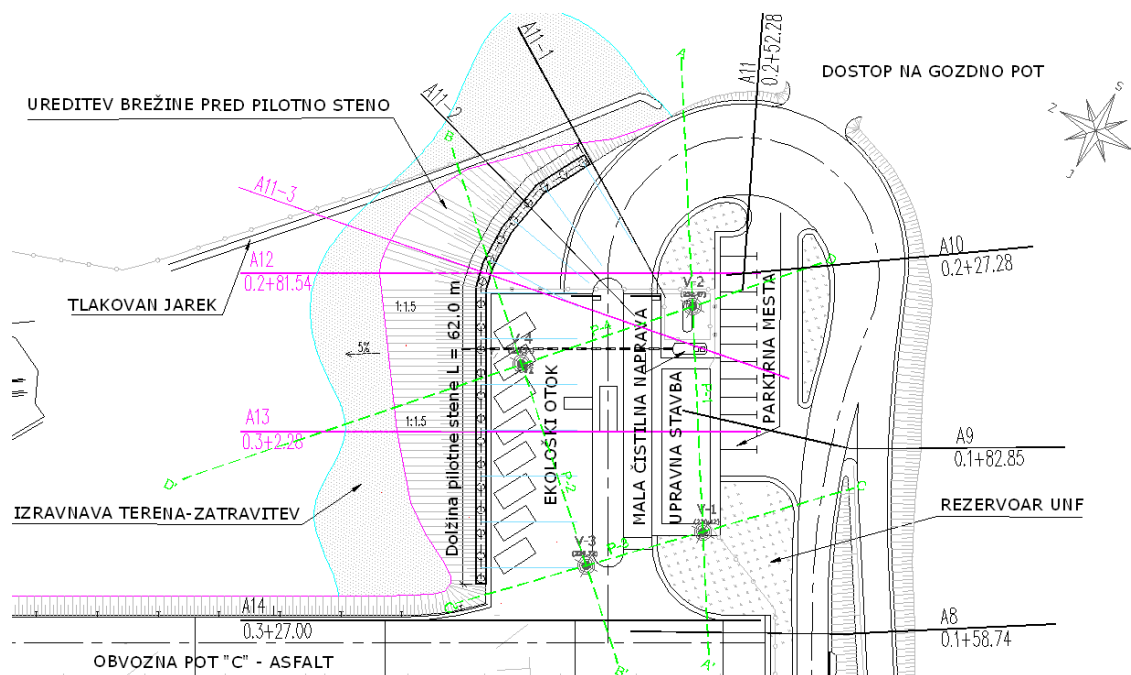
Profil	Kombinacija 1			Kombinacija 2	
	P [kN/m]	P [kN/sidro]	P_d [kN/sidro]	P_d [kN/m]	P_d [kN/sidro]
A11-3	28,1	168,6	227,6	49,7	298,2
A12	37,3	223,8	302,1	40,7	244,2
A13	/	/	/	/	/

Kontrola notranje nosilnosti: $P_d = 302,1$ kN < $R_{d,n} = 991$ kN / 1,1 = 900,9 kN

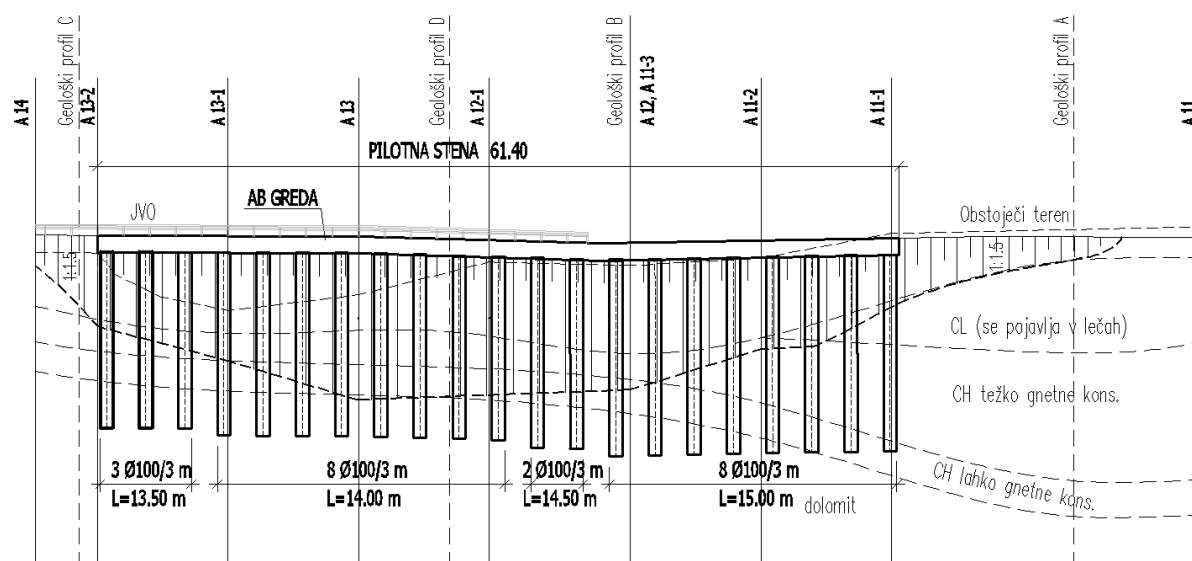
Zunanja nosilnost, ugotovljena s preizkusi nosilnosti sider, mora biti minimalno:

$$R_{d,z} = 302,1 \cdot 1,1 = 332,3 \text{ kN}$$

5.4.7 Opis konstrukcije



Slika 36: Tlorisna situacija sidrane pilotne stene s prikazom računskih profilov.



Slika 37: Vzdolžni prerez pilotne stene.

Pilotno steno dolžine 61,4 m sestavlja 21 uvrtnih pilotov premera 100 cm na medsebojni razdalji 3,0 m. Dolžina pilotov je 13,5–15,0 m.

V vezni sidrni gredi dimenzij $b/h = 140/130$ cm je nameščenih 10 geotehničnih sider ($4 \Phi 0,6''$) na rastru 6,0 m. Sidra so nameščena v naklonu 35° . Vrvi so iz visokokvalitetnega jekla $f_y f_{tk} = 1570/1770$ N/mm². Pretržna sila $P_{tk} = 991$ kN. Predvidena sila zaklinjenja je $P_0 = 200$ kN. V vzdolžni smeri so sidra sestavljena iz veznega dela z dolžino 7,0 m, ki mora v celoti segati v dolomitno podlago, in prostega dela dolžine od 31,0 do 35,0 m.

Zaradi poenostavitve so kot končni rezultat upoštevani le rezultati analize, dobljeni v kritičnem prerezu.

5.4.8 Tehnologija gradnje

5.4.8.1 Priprava temeljnih tal

Pred izvedbo platoja se s stopničanjem v raščeno podlago odstrani celoten sloj umetnega nasipa debeline 1–6 m. Višina stopnic je do okoli 1,8 m, širina pa 2–3 m. Ob vznožju nasipa se odstrani tudi plast lahko gnetne razmočene gline. Sledi zaplnitev izkopa in hkrati izdelava platoja za gradbeno mehanizacijo za izdelavo uvrtnih pilotov, ki se izvede s kvalitetnim

tamponskim materialom od spodaj navzgor. Material se vgrajuje z vibracijskimi valjarji v horizontalnih plasteh debeline 60 cm. Vsaka plast se pred polaganjem naslednje plasti kontrolira z meritvami gostote. Zgoščenost mora biti večja od 95 % MPP (modificiran Proctorjev preizkus). Brežine nasipa se izvede v naklonu 1 : 1,5, ki se jih končno humusira in zatravi.

5.4.8.2 Izdelava pilotne stene

Pilote se izvede do globine trdne podlage dolomita. Če je globina večja od predvidene, se izkop podaljša do zahtevane globine. V izkop vsakega pilota se vgradi armaturni koš, ki se ga zalije z betonom ob istočasnem izvlačenju opažne kolone (kontraktorski način).

Po izdelavi vseh pilotov se za izvedbo vezne grede in izvedbo sidranja konstrukcije delovni plato zniža za 1,0 m. Sledi izvedba podložnega betona debeline 10 cm, na katerega se postavi armaturo in opaž za vezno gredo. Na notranji strani pilotov se položi filtrski geosintetik in drenažno cev, ki se jo zalije z drenažnim betonom. Na predvidenih mestih sider pustimo odprtine za prehod sider skozi vezno gredo, ki se jih vgradi pod kotom 35° glede na horizontalo.

Po končanem betoniranju vezne grede se skozi plastične cevi vgradi trajna prednapeta sidra. Najprej se injektira vezni del sidra. Po doseženi trdnosti veznega dela se sidro preizkusi, zaklini in protikorozijsko zaščiti. Izvede se kontrola protikorozijske zaščite in kontrola vnašanja sile prednapenjanja. Na koncu je potrebno sidrne glave ustrezno zaščititi.

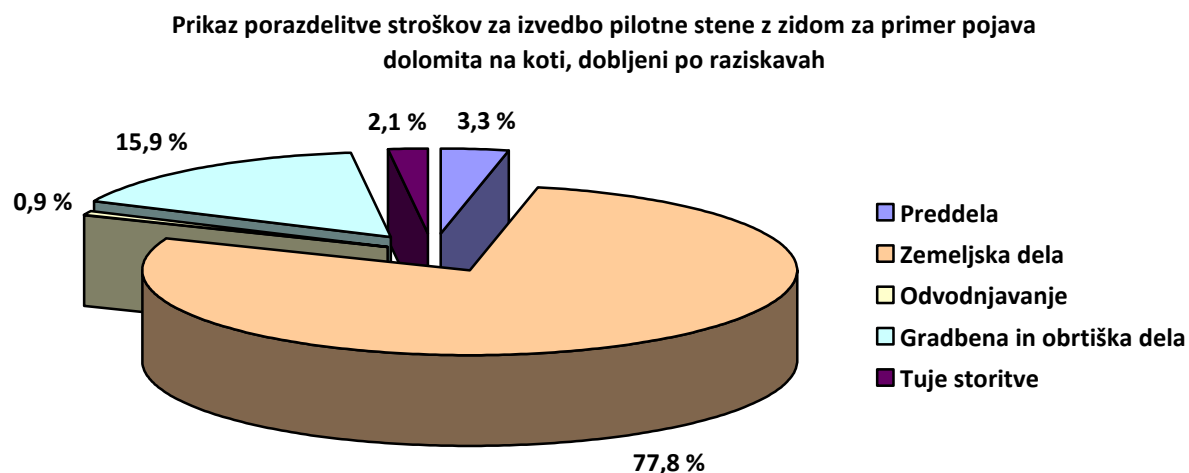
5.4.9 Groba ocena stroškov

Iz Preglednice 19 ter Grafikona 1 je razvidno, da največji delež stroškov povzročijo zemeljska ter gradbena in obrtniška dela. Ostali stroški so znatno nižji.

Zemeljska dela v grobem zajemajo izkop nenosilnega materiala, ureditev planuma temeljnih tal, nasip za delovni plato, izvedba uvrtnih pilotov, zasipni klin in izvedba tampona ter humusiranje in zatravitev, gradbena in obrtniška dela pa izdelavo opaža, armiranje in vgraditev podložnega in cementnega betona, sidranje konstrukcije ter vgraditev jeklene varnostne ograje.

Preglednica 19: Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).

Vrsta del	Vrednost	Procent vseh stroškov
Preddela	19.800,00	3,3
Zemeljska dela	465.890,00	77,8
Odvodnjavanje	5.373,00	0,9
Gradbena in obrtniška dela	95.480,70	15,9
Tuje storitve	12.300,00	2,1
Skupaj	598.843,70	100
DDV 20 %	119.768,74	20
Skupaj z DDV	718.612,44	120



Grafikon 1: Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo sidrane pilotne stene.

Zemeljska dela so torej segment, v katerem bi lahko iskali optimizacije za ugodnejšo finančno rešitev. Optimizacija bi bila možna z ugodnejšo masno bilanco. To pomeni, da bi lahko stroške nekoliko zmanjšali, če bi izkopani material lahko odložili in kako porabili nekje v bližini, za nasipni material pa lahko uporabili material, izkopen v bližini.

5.4.10 Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje

Rezultati stabilnostne analize za vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje so v posameznem računskem profilu različni. V Preglednici 20 in 21 so prikazani pomiki, projektne vrednosti notranjih statičnih količin, sila zaklinjenja in projektne vrednosti sile v sidru za kombinaciji 1 in 2.. Zaradi poenostavitve so, kot končni rezultat, upoštevani le rezultati analize, dobljeni v kritičnem prerezu.

Dolomit 3 m nižje:

V primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi na koti, ki je 3 m nižje od kote, dobljene po raziskavah, nam rezultati stabilnostne analize povedo, da moramo za zagotovitev globalne varnosti, omejitev pomikov in obremenitev pilotov izvesti naslednje:

- zmanjšati osno razdaljo med piloti, iz treh metrov na dva metra ($\Phi 100/2$ m),
- zgostiti raster sider iz šestmeterskega na štirimeterskega ($4 \Phi 0,6''/4$ m),
- sila zaklinjenja se poveča za 50 kN ($P_0 = 250$ kN).

Poleg tega je posledica tudi podaljšanje pilotov za 3 m ($L_{pilot} = 16,5-18,0$ m) ter podaljšanje dolžine prostega dela sider, ki bi v tem primeru znašala od 36 m do 40 m.

Preglednica 20: Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projektne vrednosti.

Profil	u_{tot} [mm]	N [kN/m]	Q_d [kN/pilot]	M_d [kNm/pilot]	P_0 [kN/sidro]	F_d [kN/sidro]
Kombinacija 1						
A11-3	6,8	-407	-251	-570	100	142,2
A12	4,4	-358	151	-356	250	344,5
A13	6,3	-355	230	413	200	280,8
Kombinacija 2						
A11-3	8,9	-352	224	446	100	124,4
A12	7,0	-324	166	-300	250	268,8

Zaradi nizke varnosti $\gamma_R < 1,25$ v profilu A13, ki pa ni merodajna, račun po kombinaciji 2 ni mogoč.

Dolomit 3 m višje:

V primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi 3 m višje, nam da stabilnostna analiza naslednje rezultate:

- piloti $\Phi 100/3$ m
- sidra 4 $\Phi 6''/6$ m
- sila zaklinjenja $P_0 = 250$ kN

Kljub temu, da se rezultati stabilnostne analize praktično ne razlikujejo od osnovne variante, so končni stroški nekoliko manjši, kar je posledica krajših pilotov in sider. Dolžina pilotov je od 10,5 do 12,0 m, dolžina veznega dela sidra ostaja enaka (7,0 m), prosti del sidra pa meri od 24 m do 26 m.

Preglednica 21: Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projektne vrednosti.

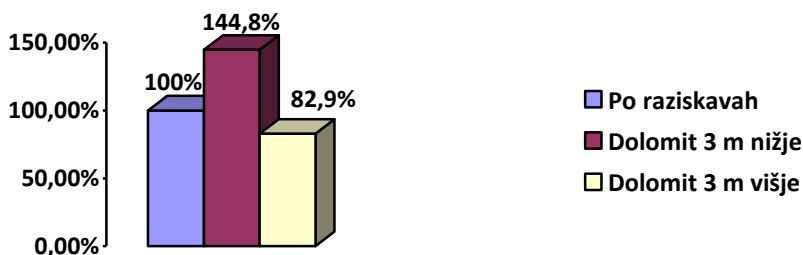
Profil	u_{tot} [mm]	N [kN/m]	Q_d [kN/pilot]	M_d [kNm/pilot]	P_0 [kN/sidro]	F_d [kN/sidro]
Kombinacija 1						
A11-3	8,0	-167	-397	579	100	174,2
A12	10,2	-175	352	628	250	360,5
A13	6,2	-173	-393	535	100	177,4
Kombinacija 2						
A11-3	11,9	-151	-306	516	100	142,8
A12	11,4	-163	276	495	250	271,8
A13	17,1	-154	369	675	100	179,4

5.4.11 Primerjava stroškov

Preglednica 22: Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.

Položaj nosilne plasti	Skupni stroški	Procent od osnove
Po raziskavah	718.612,44	100
Dolomit 3 m nižje	1.040.488,44	144,8
Dolomit 3 m višje	595.558,44	82,9

Pimerjava povečanja oz. zmanjšanja stroškov za primer pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oz. 3 m višje



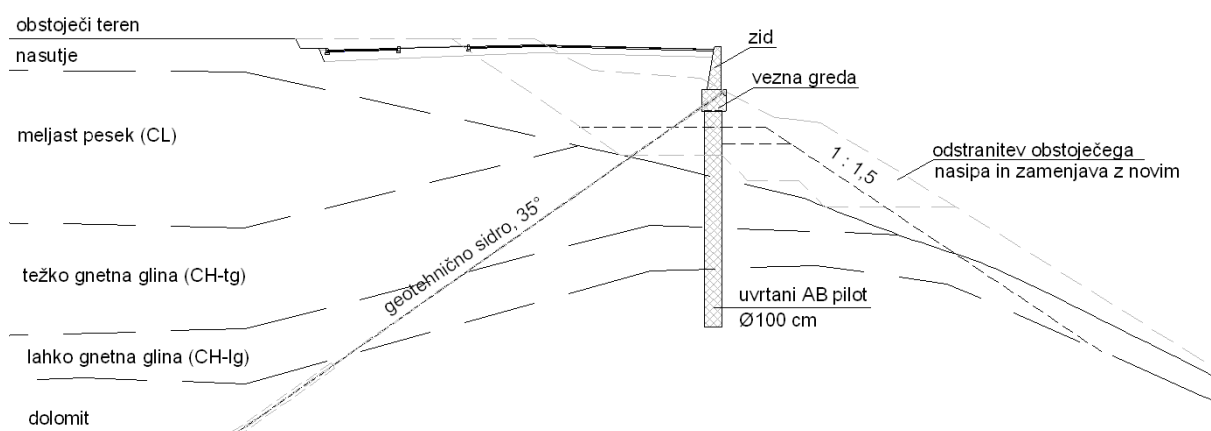
Grafikon 2: Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.

Na Grafikonu 2 je prikazana primerjava povečanja oziroma zmanjšanja skupnih stroškov v primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje oziroma 3 m višje od kote, dobljene po raziskavah. V primeru pojava dolomita 3 m nižje se stroški na račun povečanja izkopa in nasipa ter podaljšanja in zmanjšanja rastra pilotov in sider povečajo kar za 44,8 %. V primeru, da bi se nosilna plast dolomita pojavila 3 m višje, pa se stroški zmanjšajo za 17,1 % – predvsem na račun zmanjšanja izkopa in nasipa ter krajših pilotov in sider.

5.5 VARIANTA 2: SIDRANA PILOTNA STENA Z ZIDOM

Druga varianta vpete podporne konstrukcije, ki smo jo analizirali, je varianta pilotne stene z zidom (Slika 38). Statično gledano je ta varianta zelo podobna varianti 1, naj bi pa bila ekonomsko in izvedbeno ugodnejša, saj je izvedba pilotov dražja in težja od izvedbe zidu.

5.5.1 Zasnova



Slika 38: Karakteristični prerez pilotne stene z zidom v profilu A11-3

Predlog podpiranja brežine nasipa je sidrana pilotna stena z zidom. Tvorijo jo: zid višine 2,5 m in povprečne debeline 0,6 m, vezna greda $d/h = 140/130$ cm in armiranobetonski uvrtni piloti premera 100 cm. Glave pilotov povezuje sidrna greda, skozi katero se vgradi trajna geotehnična sidra. Sidra so vgrajena pod kotom 35° glede na horizontalo.

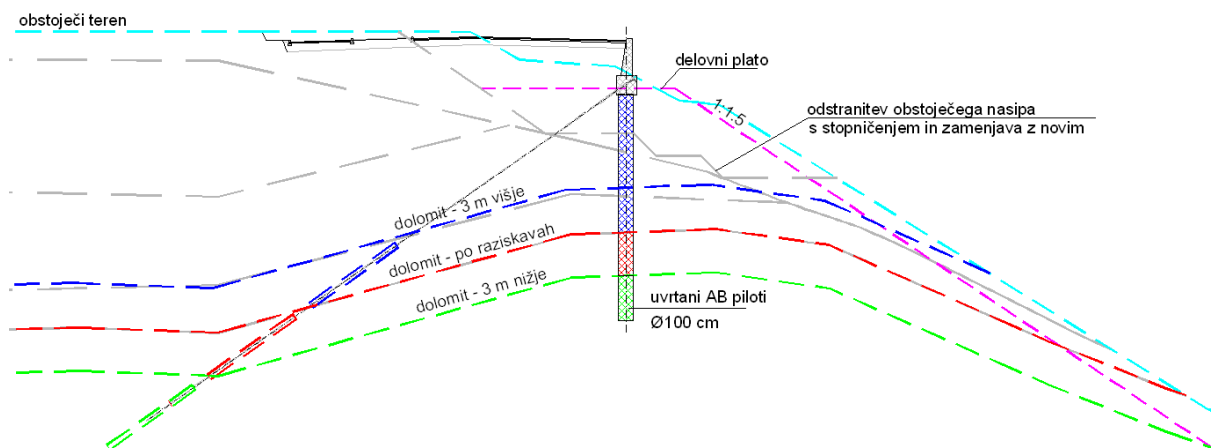
Medsebojno razdaljo med piloti, karakteristike sider ter potrebno silo zaklinjenja smo določili s statično analizo in jih podajamo naknadno.

5.5.2 Faze gradnje

- ✓ Obstoječe stanje: določitev začetnih napetosti v zemljini.
- ✓ Začetna varnost: določitev začetnega faktorja varnosti, ki mora biti $\gamma_R \cong 1,00$.
- ✓ Odstranitev obstoječega nasipa: odstranimo slabo nosilen nasipni material na površju.

- ✓ Izgradnja nasipa za plato: odstranjeni nasipni material nadomestimo s kvalitetnim tamponskim materialom.
- ✓ Izvedba pilotov in grede: vgradnja pilotov in izvedba vezne grede.
- ✓ Zid in zasip – 1. faza: celotna izvedba zidu ter zasip do polovice višine zidu.
- ✓ Sidranje: vgradnja in zaklinjanje geotehničnih sider.
- ✓ Zasip – 2. faza: zasip do vrha ceste.
- ✓ Promet: aktiviranje prometne obtežbe.
- ✓ Končna varnost: določitev končnega faktorja varnosti, ki mora znašati $\gamma_R \cong 1,25$.

5.5.3 Profil A11-3



Slika 39: Prečni prerez A11-3 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računke primere.

5.5.3.1 Analiza

Analizo konstrukcije smo izvajali po korakih, kot je prikazano v Preglednici 23. Gre za enak postopek kot v varianti 1. V vsakem koraku so prikazani spreminjajoči se vhodni podatki ter rezultati za kontrolo. Sledi razlaga rezultata posameznega koraka ter ukrep za naslednji korak. Končno stanje je doseženo takrat, ko so izpolnjene vse zahtevane predpostavke.

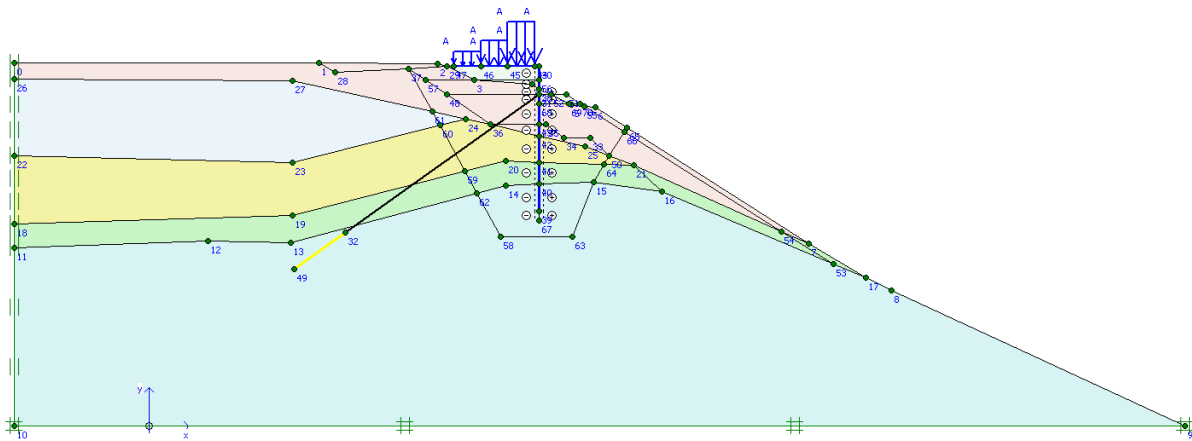
Preglednica 23: Računska analiza pilotne stene z zidom v profilu A11-3.

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena	Sidrana pilotna stena
Odstranitev obstoječega materiala	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa
Piloti	Φ100/3m	Φ100/3m	Φ100/2m
Sidranje	/	4-vrвна sidra; $L = 6$ m, $P_0 = 450$ kN/sidro	4-vrвна sidra; $L = 4$ m, $P_0 = 450$ kN/sidro
Vodoravna komponenta pomika vrha zidu [mm]	/	49,6	9,1
Upogibni moment $M_{d,max}$ [kNm/pilot]	/	1470	694
Globalna varnost γ_R	/	1,03	1,28
Razlaga rezultata	V fazi aktiviranja prometne obtežbe so deformacije tako velike, da je doseženo mejno stanje. Konstrukcija se poruši.	Pomik vrha pilota in moment v pilotu sta večja od zahtevane / dovoljene vrednosti. Zgostimo raster sider in pilotov.	Vse kontrole so v predpisanih / dovoljenih mejah.
Ukrep za naslednji korak	Dodamo sidra	Gostejši raster sider in pilotov.	✓

5.5.3.2 Končni rezultat

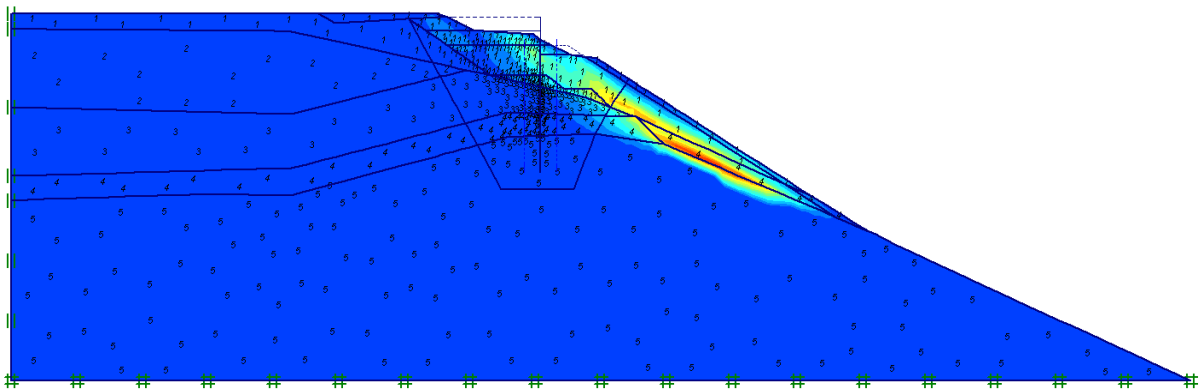
Na spodnjih slikah so podobno kot v varianti 1 prikazane računski shema, porušni mehanizem za začetno stanje, deformirana mreža v končnem stanju, karakteristične in projektne vrednosti notranjih statičnih količin, pomikov ter sidrskih sil, doseženih v končnem stanju. Prikazana je tudi varnost konstrukcije v končnem stanju ter diagram količnika varnosti za vsak profil posebej.

1. Računska shema



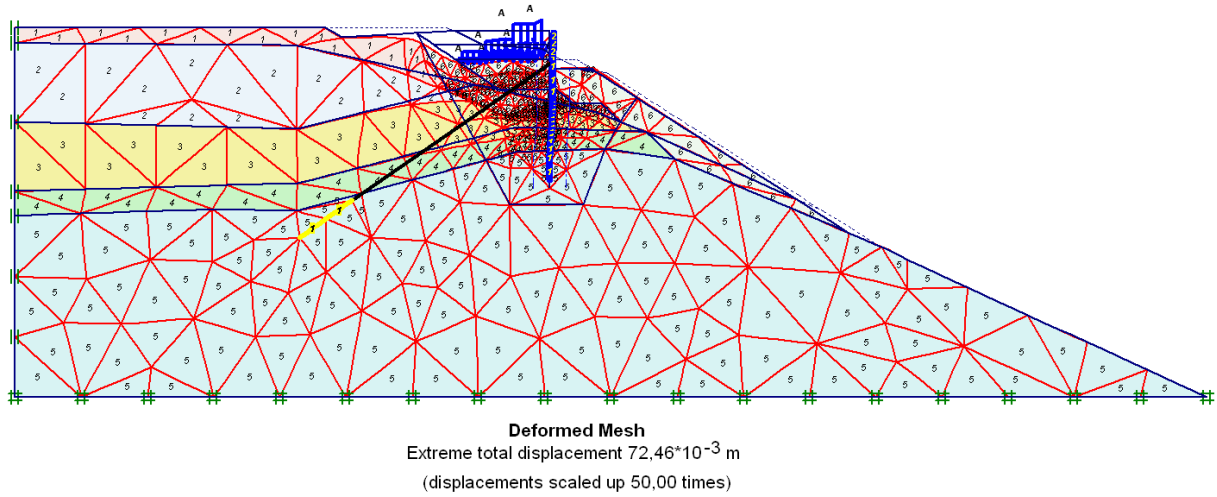
Slika 40: Računska shema profila A11-3.

2. Začetno – obstoječe stanje

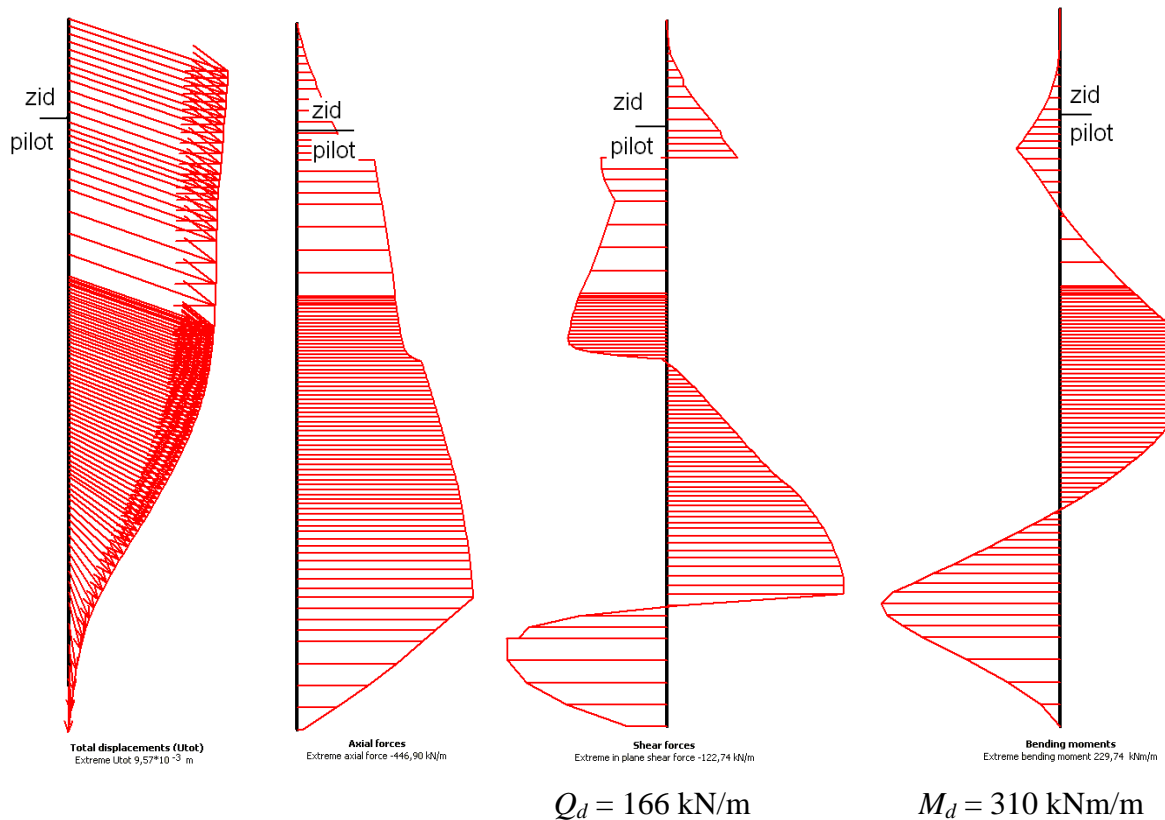


Slika 41: Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A11-3.

3. Končno stanje



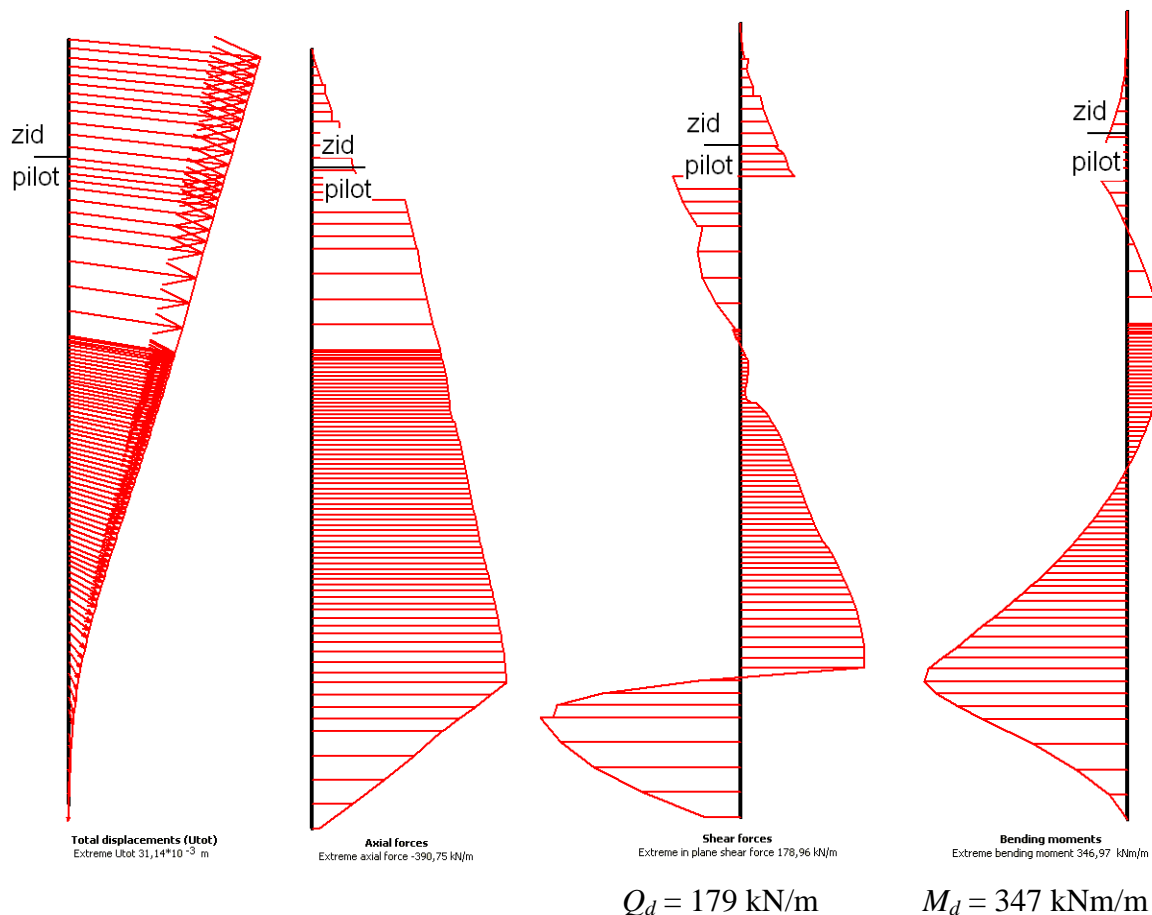
Slika 42: Deformirana mreža v končnem stanju profila A11-3.



Slika 43: Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A11-3, kombinacija 1.

Preglednica 24: Sidrna sila v profilu A11-3, karakteristična vrednost – kombinacija 1.

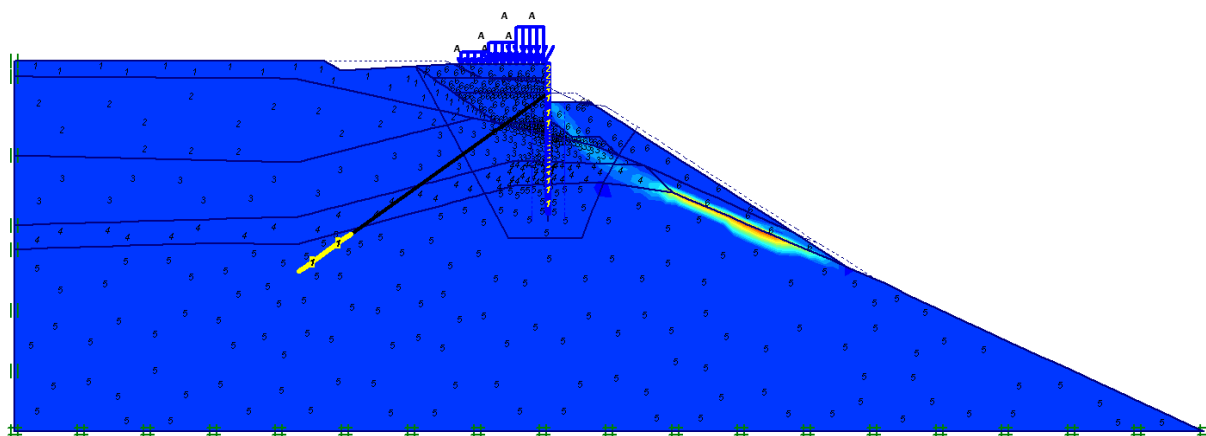
F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [kN/m]	$E \cdot A$ [10^3 kN/m]	L_s [m]
121,690	250,000	247,750	29,540	4



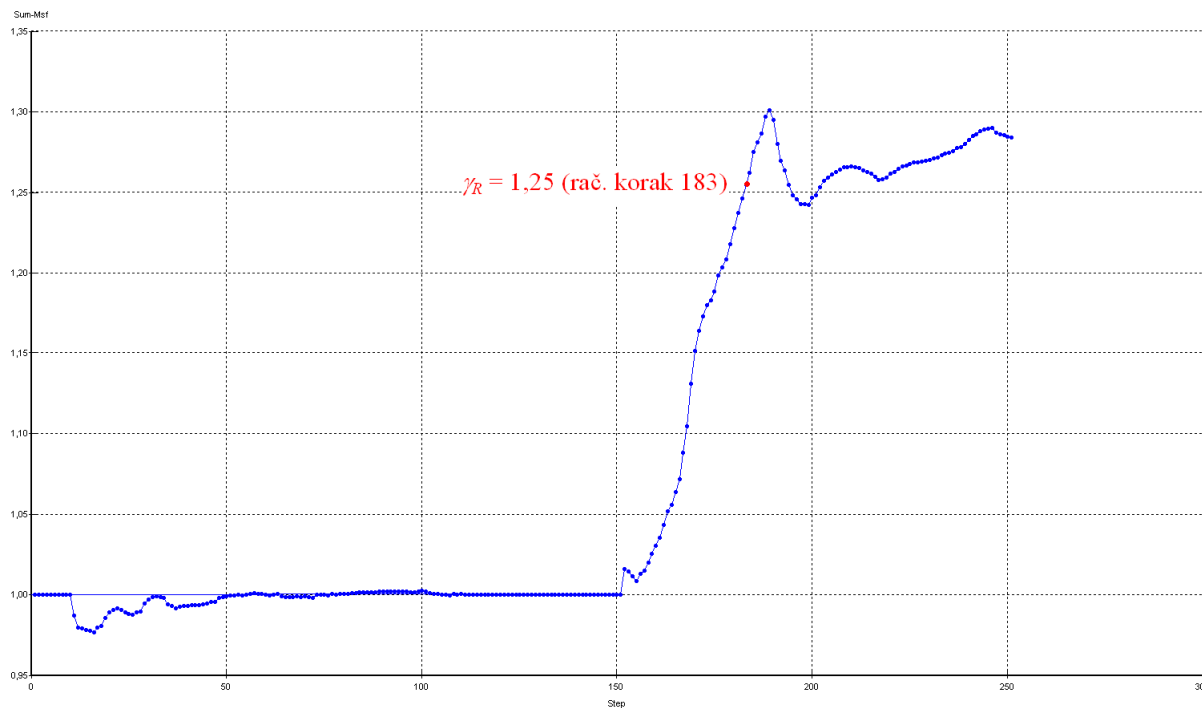
Slika 44: Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A11-3, kombinacija 2.

Preglednica 25: Sidrna sila v profilu A11-3, projektna vrednost – kombinacija 2.

F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [kN/m]	$E \cdot A$ [10^3 kN/m]	L_s [m]
135,748	250,000	247,750	29,540	4

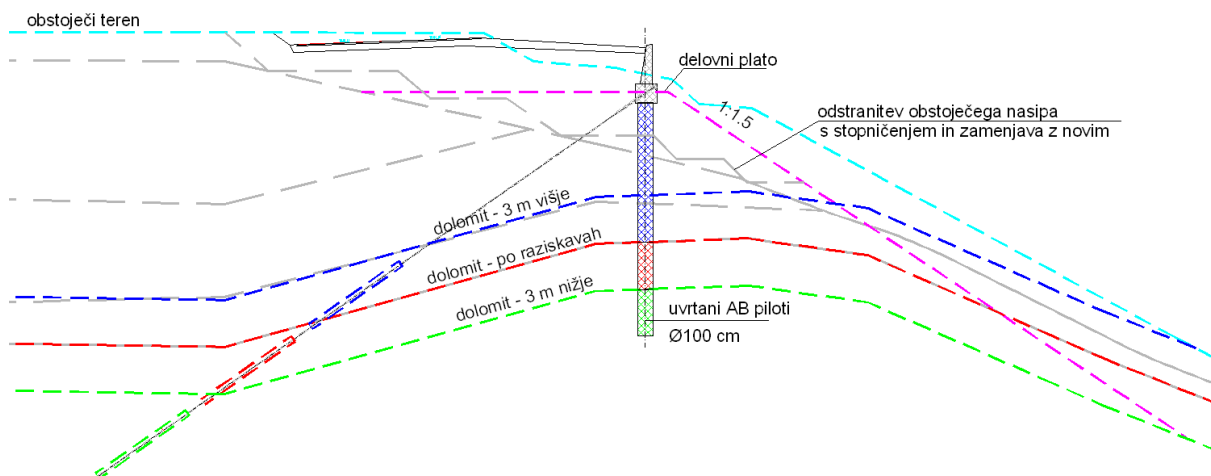


Slika 45: Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.



Slika 46: Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A11-3.

5.5.4 Profil A12



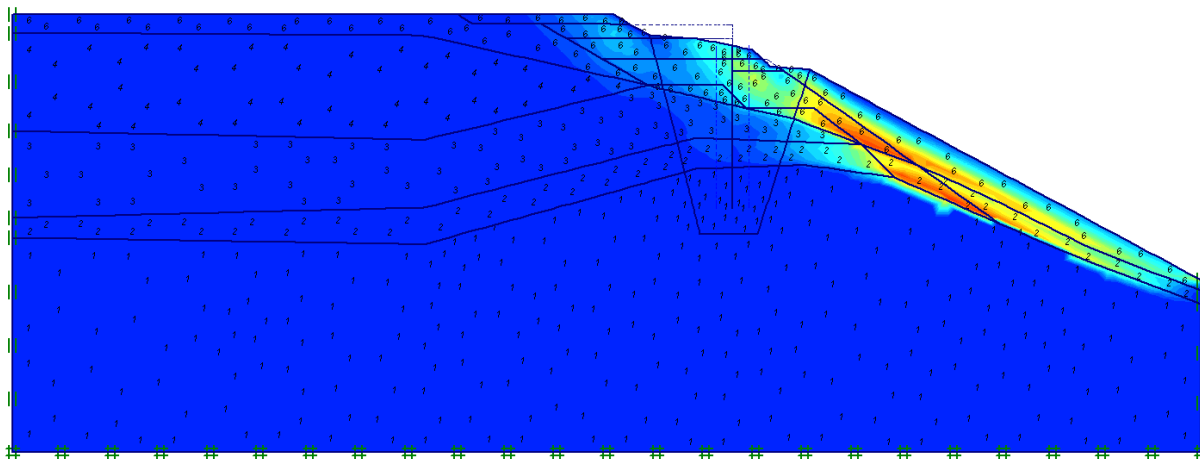
Slika 47: Prečni prerez A12 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računске primere.

5.5.4.1 Analiza

Preglednica 26: Računska analiza pilotne stene z zidom v profilu A12.

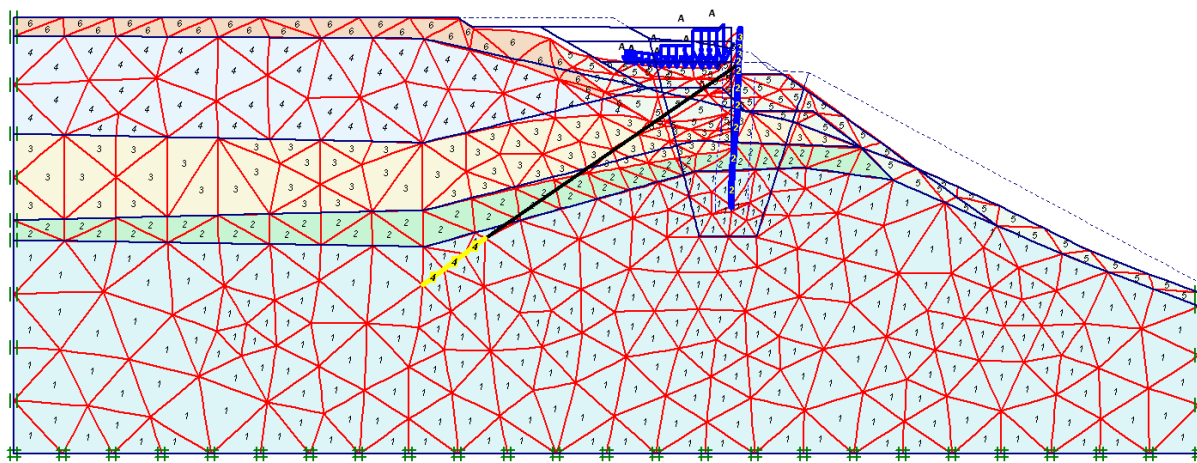
Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena	Sidrana pilotna stena
Odstranitev obstoječega materiala	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa
Piloti	Φ100/3m	Φ100/3m	Φ100/2m
Sidranje	/	4-vrвна sidra; $L = 6 \text{ m}$, $P_0 = 450 \text{ kN/sidro}$	4-vrвна sidra; $L = 3 \text{ m}$, $P_0 = 450 \text{ kN/sidro}$
Vodoravna komponenta pomika vrha zidu [mm]	/	33,4	7,6
Upogibni moment $M_{d,max}$ [kNm/pilot]	/	1263	378
Globalna	/	1,15	1,28

2. Začetno – obstoječe stanje



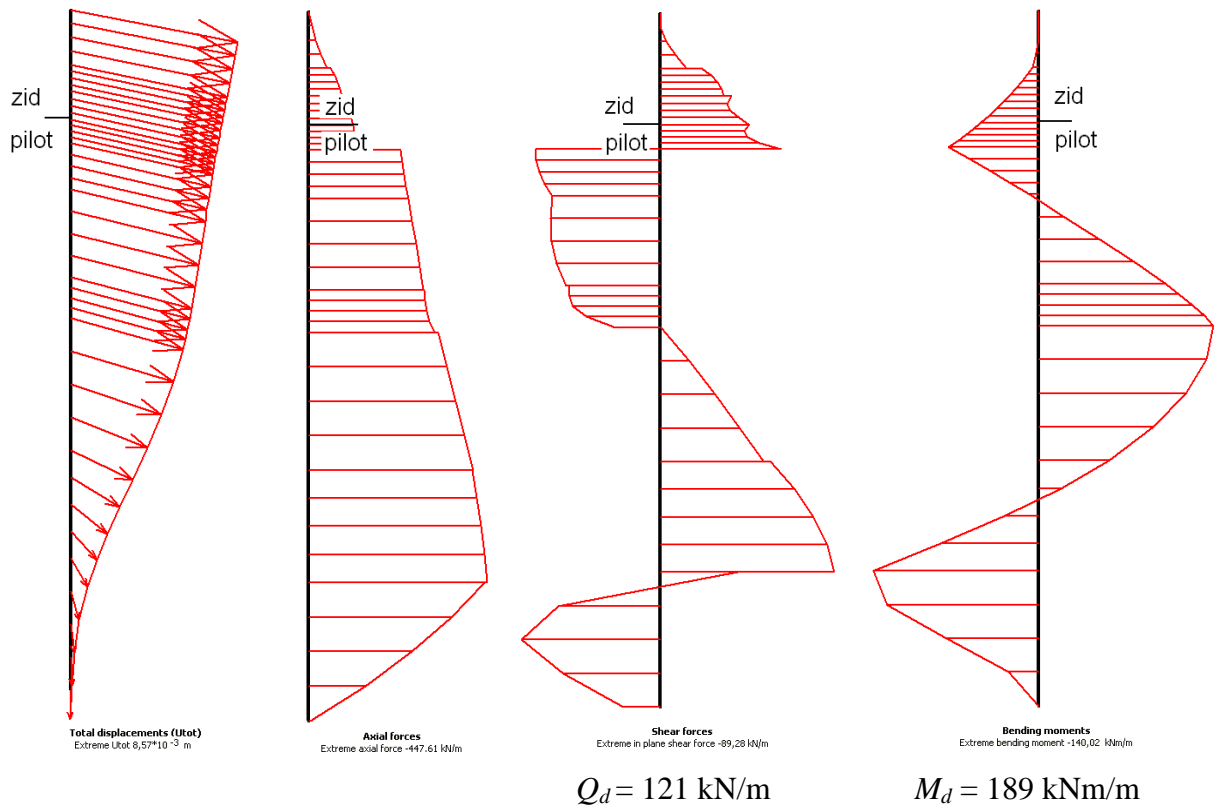
Slika 49: Porušni mehanizem za začetno stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A12.

3. Končno stanje



Deformed Mesh
Extreme total displacement $35,94 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 100,00 times)

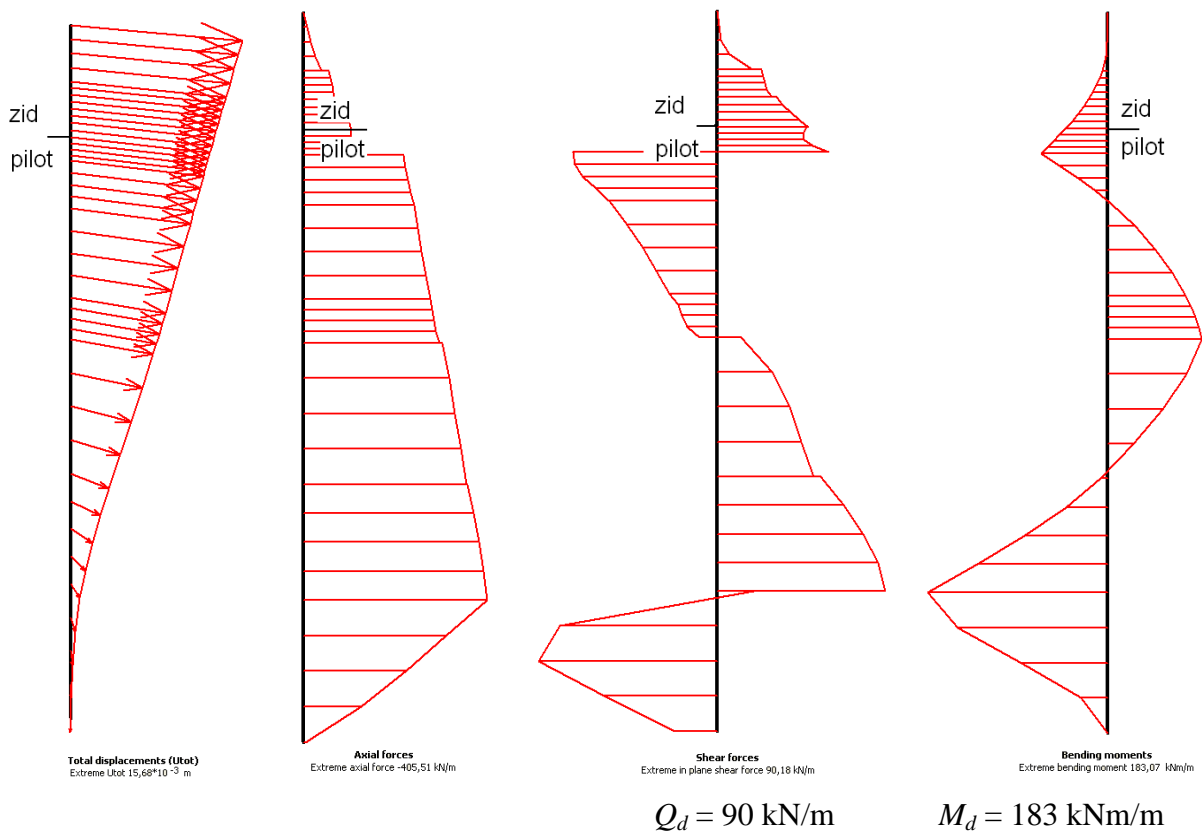
Slika 50: Deformirana mreža v končnem stanju profila A12.



Slika 51: Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A12, kombinacija 1.

Preglednica 27: Sidrna sila v profilu A12, karakteristična vrednost – kombinacija 1.

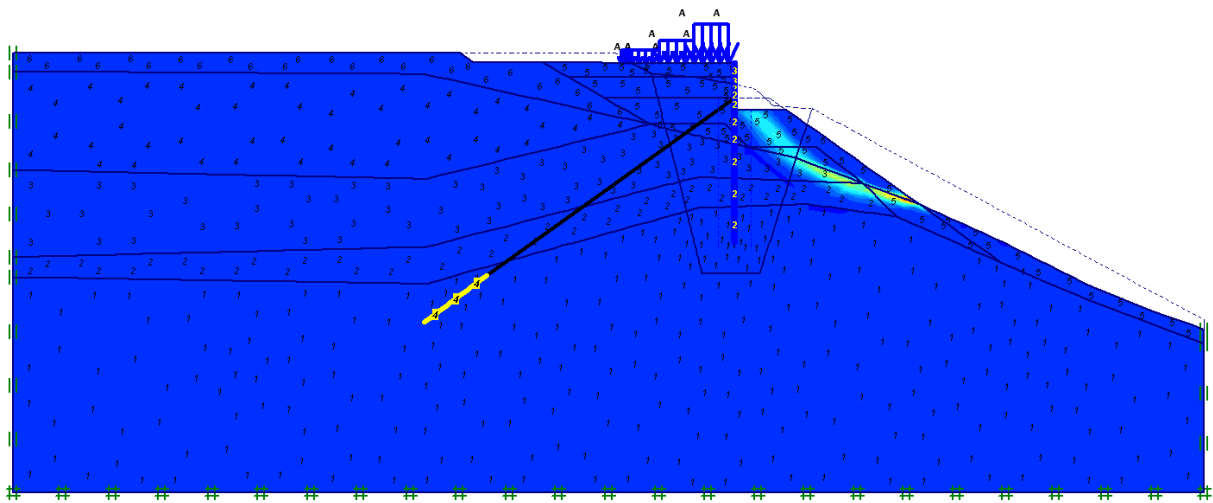
F	$ F_{max,comp} $	$ F_{max,tens} $	$E \cdot A$	L_s
[kN/m]	[10^{12} kN/m]	[kN/m]	[10^3 kN/m]	[m]
157,433	333,333	330,333	39,387	3



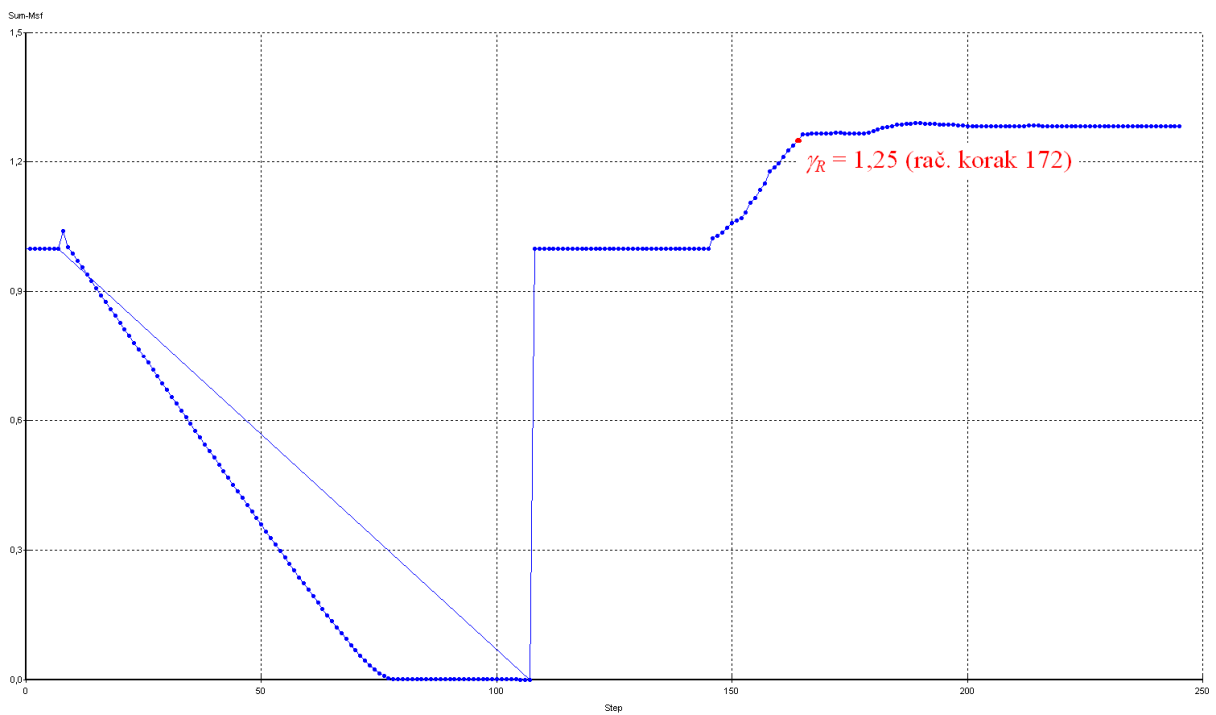
Slika 52: Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A12, kombinacija 2.

Preglednica 28: Sidrna sila v profilu A12, projektna vrednost – kombinacija 2.

F	$ F_{max,comp} $	$ F_{max,tens} $	$E \cdot A$	L_s
[kN/m]	[10^{12} kN/m]	[kN/m]	[10^3 kN/m]	[m]
162,571	333,333	330,333	39,387	3

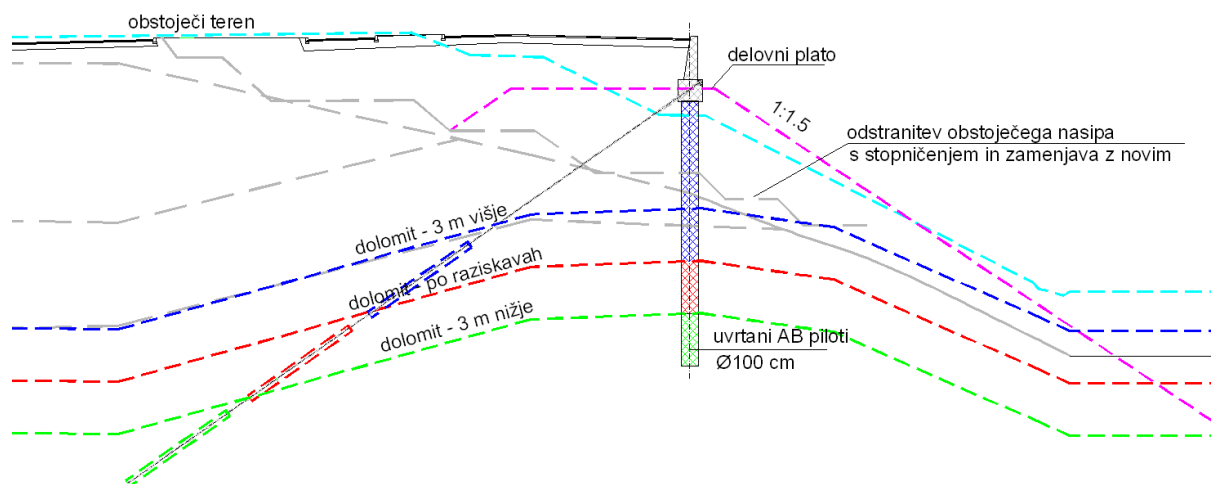


Slika 53: Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A12.



Slika 54: Diagram količnika varnosti, $\gamma_R = 1,28$ v profilu A12.

5.5.5 Profil A13



Slika 55: Prečni prerez A13 s prikazom poteka nosilne plasti dolomita za vse tri računske primere.

5.5.5.1 Analiza

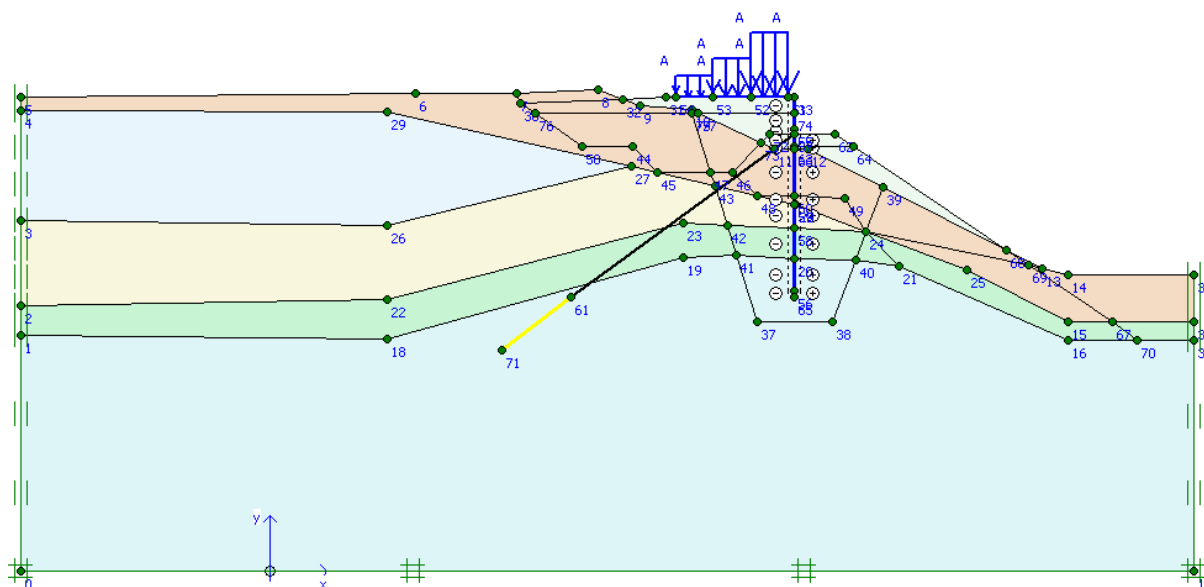
Preglednica 29: Računska analiza pilotne stene z zidom v profilu A13.

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena	Sidrana pilotna stena
Odstranitev obstoječega materiala	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju	Celotni nasuti material na površju + lahko gnetna glina ob vznožju nasipa
Piloti	Φ100/3m	Φ100/3m	Φ100/2m
Sidranje	/	4-vrвна sidra; $L = 6 \text{ m}$, $P_0 = 450 \text{ kN/sidro}$	4-vrвна sidra; $L = 4 \text{ m}$, $P_0 = 450 \text{ kN/sidro}$
Vodoravna komponenta pomika vrha zidu [mm]	/	11,5	2,7
Upogibni moment $M_{d,max}$ [kNm/pilot]	/	777	-596
Globalna	/	1,33	1,36

Analiza konstrukcije	Konzolna stena	Sidrana pilotna stena	Sidrana pilotna stena
varnost γ_R			
Razlaga rezultata	V fazi aktiviranja prometne obtežbe so deformacije tako velike, da je doseženo mejno stanje. Konstrukcija se poruši.	Pomik vrha pilota in moment v pilotu sta večja od zahtevane / dovoljene vrednosti. Zgostimo raster sider in pilotov.	Pomika vrha pilota in moment, ki se pojavi v pilotu sta v mejah dovoljenega.
Ukrep za naslednji korak	Dodamo sidra	Gostejši raster sider in pilotov	✓

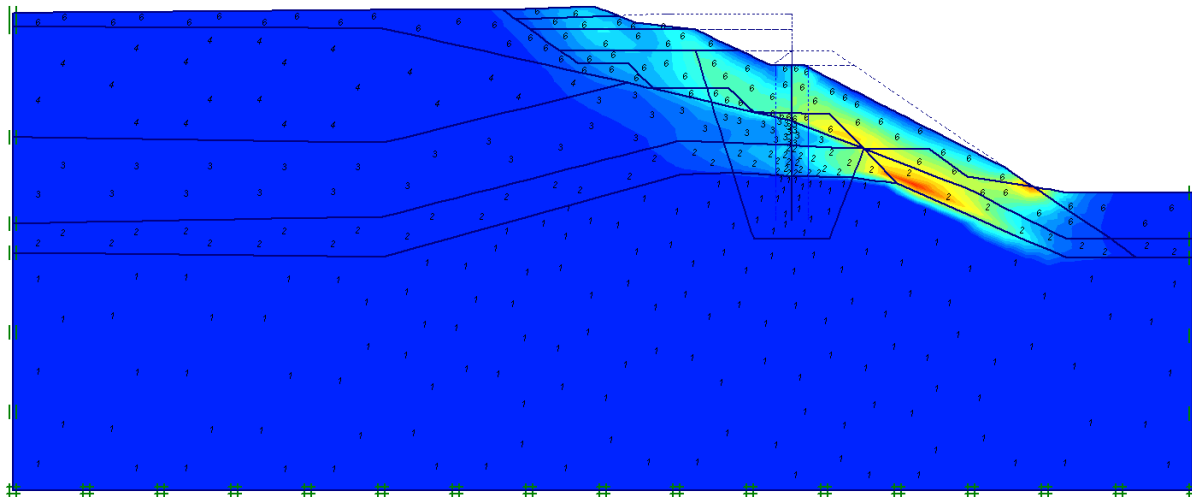
5.5.5.2 Končno stanje

1. Računska shema



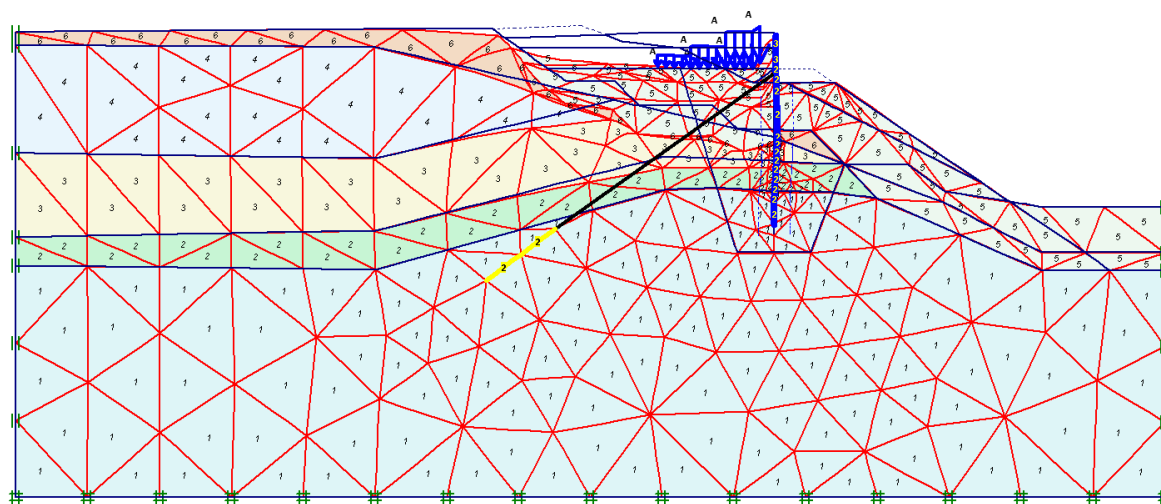
Slika 56: Računska shema profila A13.

2. Začetno – obstoječe stanje



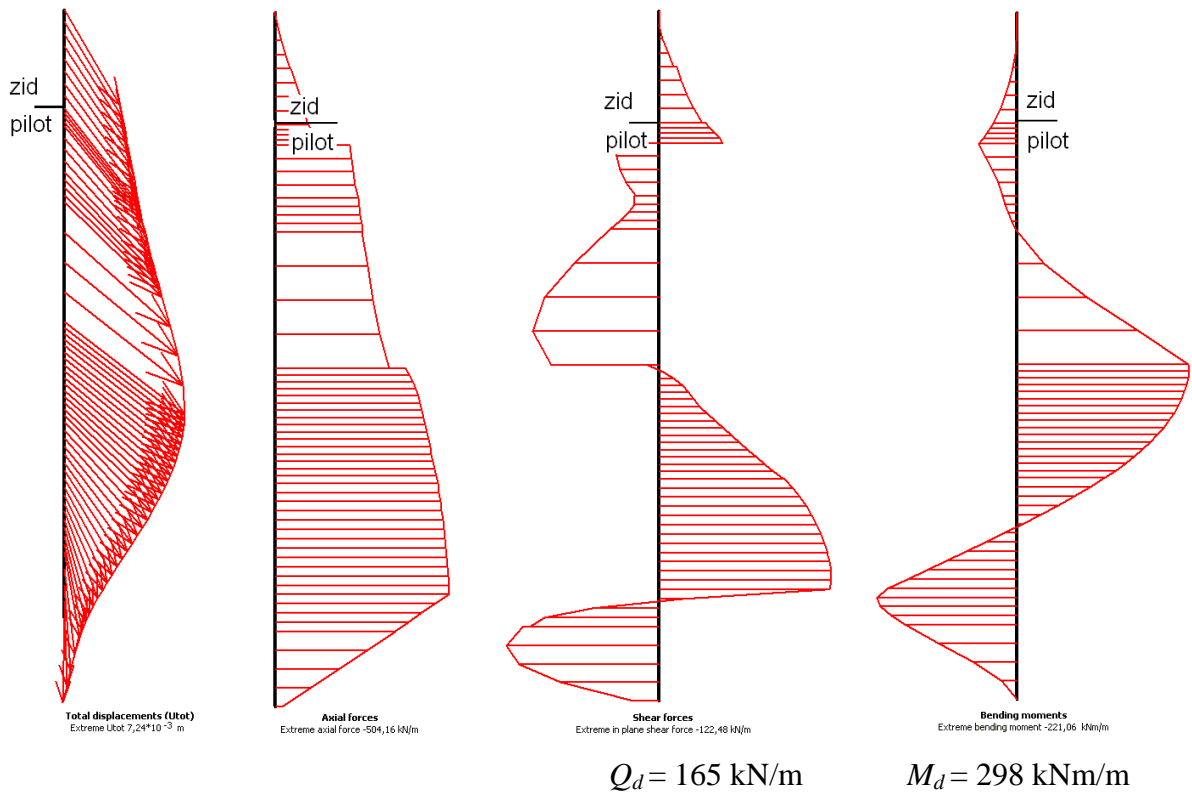
Slika 57: Obstojče stanje, $\gamma_R = 1,0$ v profilu A13.

3. Končno stanje



Deformed Mesh
Extreme total displacement $61,24 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 50,00 times)

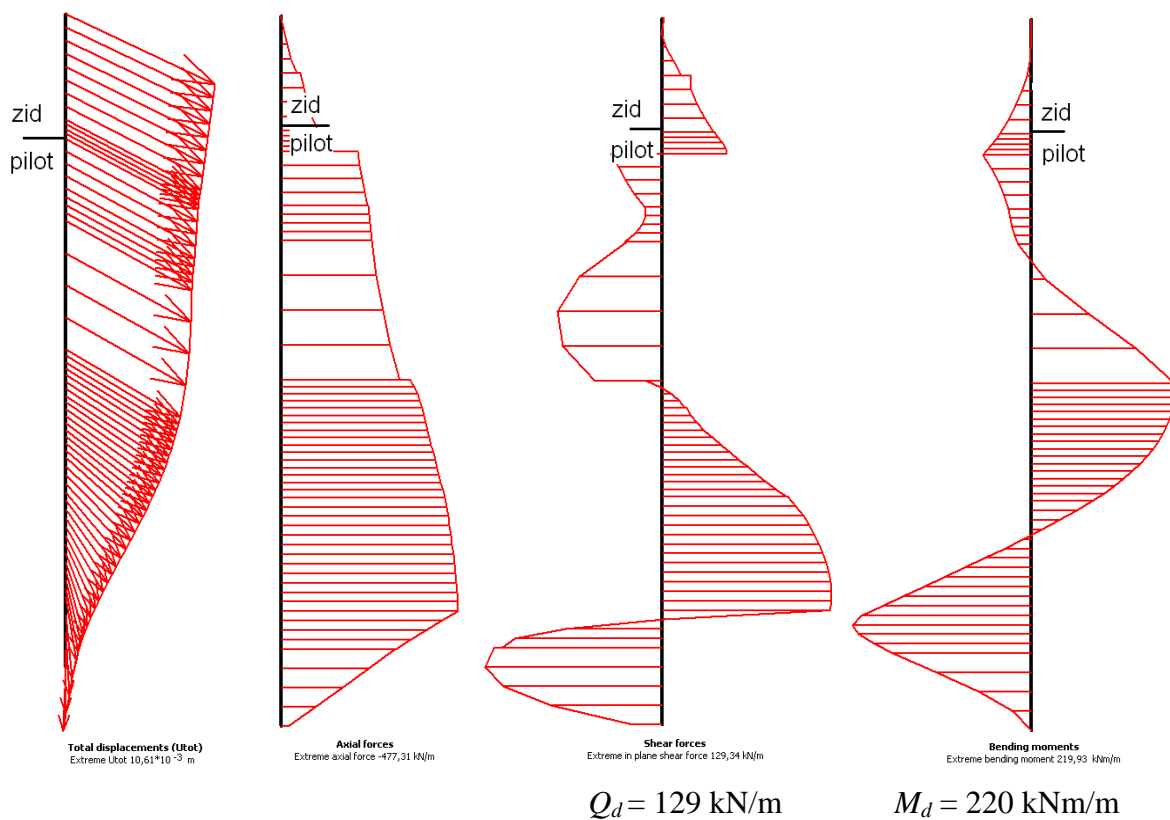
Slika 58: Deformirana mreža v končnem stanju profila A13.



Slika 59: Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A13, kombinacija 1.

Preglednica 30: Sidrna sila v profilu A13, karakteristična vrednost – kombinacija 1.

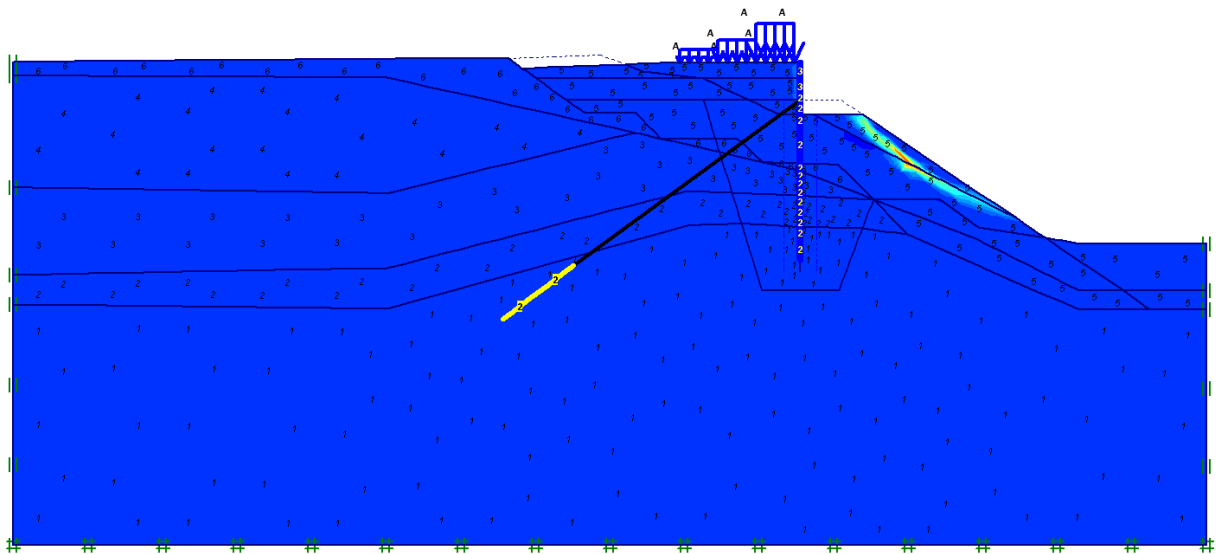
F	$ F_{max,comp} $	$ F_{max,tens} $	$E \cdot A$	L_s
[kN/m]	[10^{12} kN/m]	[kN/m]	[10^3 kN/m]	[m]
119,551	250,000	247,750	29,540	4



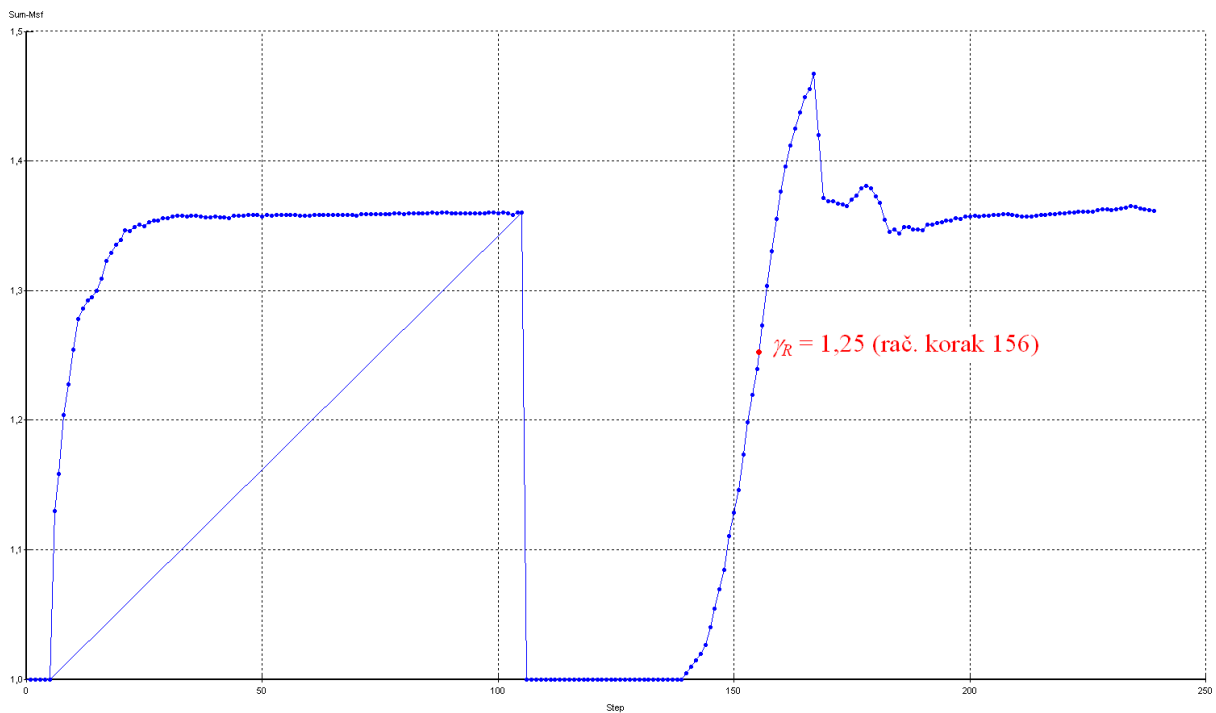
Slika 60: Maksimalne notranje sile v zidu in pilotu ter pomiki v profilu A13, kombinacija 2.

Preglednica 31: Sidrna sila v profilu A13, projektna vrednost – kombinacija 2.

F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [kN/m]	$E \cdot A$ [10^3 kN/m]	L_s [m]
124,739	250,000	247,750	29,540	4



Slika 61: Varnost konstrukcije v končnem stanju, $\gamma_R = 1,36$ v profilu A12.



Slika 62: Diagram količnika varnosti pred pilotno steno, $\gamma_R = 1,36$.

5.5.6 Dimenzioniranje pilotne stene z zidom

Armiranobetonski piloti Φ 100 cm na rastru $r = 2$ m:

Kombinacija 1 ($Q_{d,max} = Q_{max} \cdot r \cdot 1,35$; $M_{d,max} = M_{max} \cdot r \cdot 1,35$)

Preglednica 32: Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 1.

Profil	Q_{max} [kN/m']	Q_{max} [kN/pilot]	$Q_{d,max}$ [kN/pilot]	M_{max} [kNm/m']	M_{max} [kNm/pilot]	$M_{d,max}$ [kNm/pilot]
A11-3	-123	-246	-332	230	460	621
A12	-89	-178	240	-140	280	378
A13	-122	-244	-329	-221	-442	-597

Kombinacija 2 ($Q_{d,max} = Q_{max} \cdot r \cdot 1,00$; $M_{d,max} = M_{max} \cdot r \cdot 1,00$)

Preglednica 33: Maksimalne notranje sile v pilotu za kombinacijo 2.

Profil	$Q_{d,max}$ [kN/m']	$Q_{d,max}$ [kN/pilot]	$M_{d,max}$ [kNm/m']	$M_{d,max}$ [kNm/pilot]
A11-3	179	358	347	694
A12	90	180	183	366
A13	129	258	220	440

Sidra na rastru 4 m (profil A11-3 in A13) in 3 m (profil A12)

Preglednica 34: Sidrne sile za kombinacijo 1 in 2.

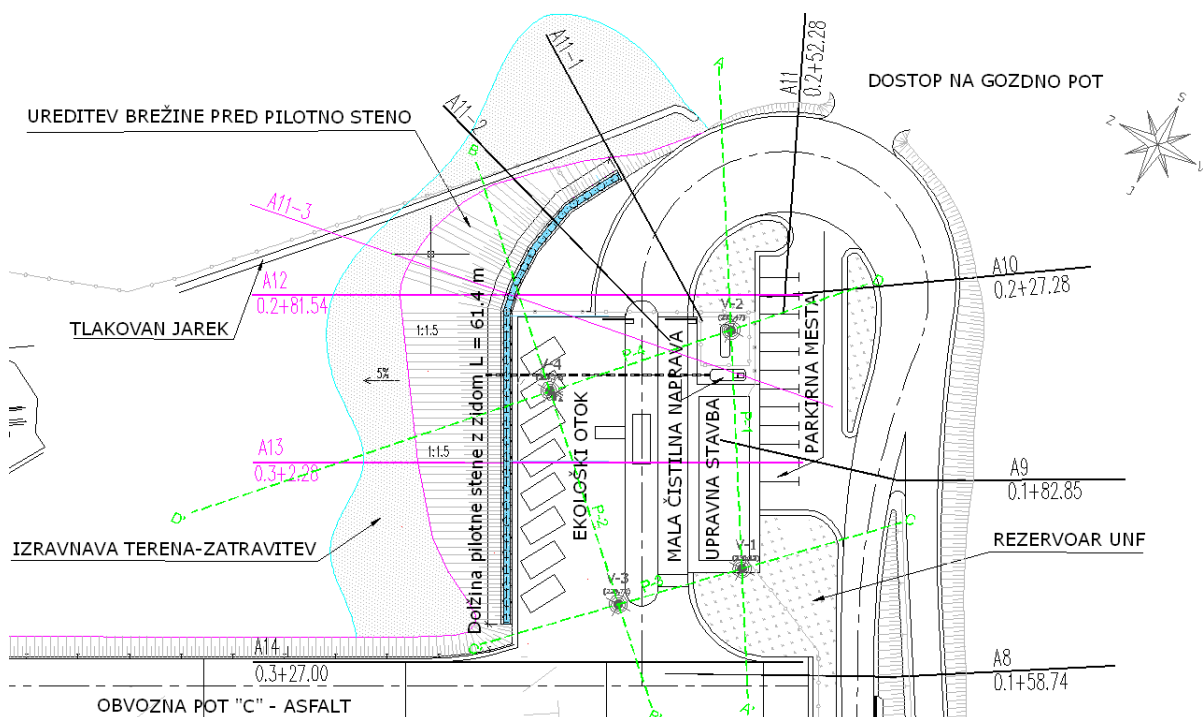
Profil	Kombinacija 1			Kombinacija 2	
	P [kN/m]	P [kN/sidro]	P_d [kN/sidro]	P_d [kN/m]	P_d [kN/sidro]
A11-3	121,7	486,8	657,2	135,7	542,8
A12	157,4	472,2	637,5	162,6	487,8
A13	119,6	478,4	645,8	124,7	498,8

Kontrola notranje nosilnosti: $P_d = 657,2 \text{ kN} < R_{d,n} = 991 \text{ kN} / 1,1 = 900,9 \text{ kN}$

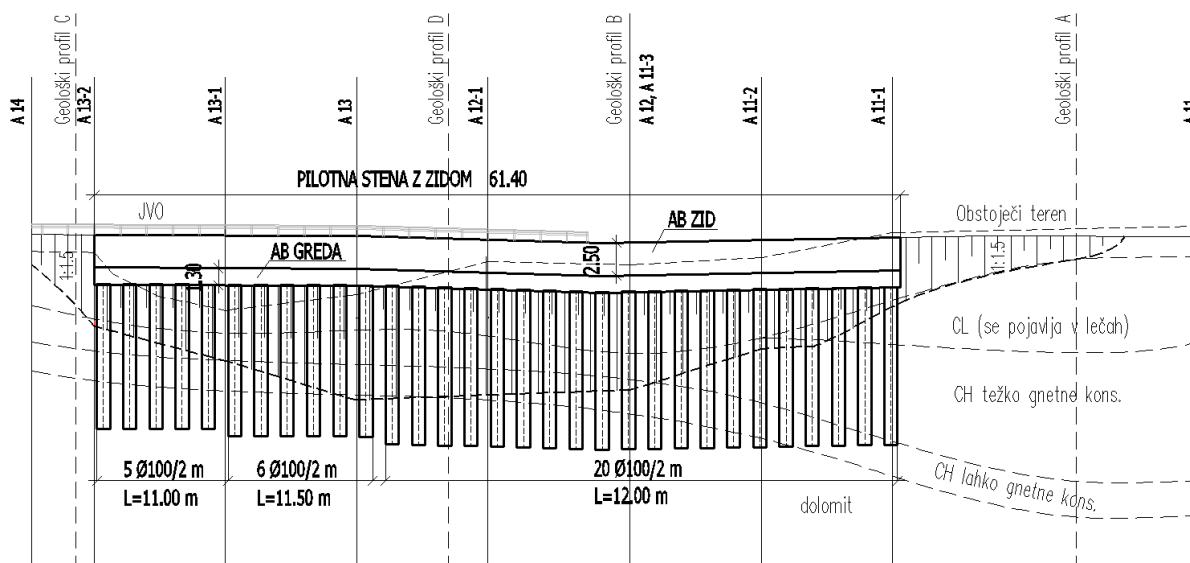
Zunanja nosilnost, ugotovljena s preizkusi nosilnosti sider, mora biti minimalno:

$$R_{d,z} = 657,2 \cdot 1,1 = 722,9 \text{ kN}$$

5.5.7 Opis konstrukcije



Slika 63: Tlorisna situacija sidrane pilotne stene z zidom s prikazom računskih profilov.



Slika 64: Vzdolžni prerez pilotne stene z zidom.

Pilotno steno z zidom dolžine 61,4 m sestavlja 31 uvrtnih pilotov premera 100 cm na medsebojni razdalji 2,0 m. Dolžina pilotov je 11,0–12,0 m.

V vezni sidrni gredi dimenzij $b/h = 140/130$ cm je nameščenih 20 geotehničnih sider ($4\Phi 0,6''$) na rastru 3,0 m. Sidra so nameščena v naklonu 35° od horizontale. Vrvi so iz visokokvalitetnega jekla $f_y/f_{tk} = 1570/1770$ N/mm². Pretržna sila $P_{tk} = 991$ kN. Predvidena sila zaklinjenja je $P_0 = 450$ kN. V vzdolžni smeri so sidra sestavljena iz veznega dela z dolžino 7,0 m, ki mora v celoti segati v dolomitno podlago in prostega dela dolžine od 19,0 do 23,5 m. Na gredo se izvede zid višine 2,5 m in spremenljive širine od 0,8 m spodaj do 0,4 m zgoraj.

Zaradi poenostavitve so kot končni rezultat upoštevani le rezultati analize, dobljeni v kritičnem prerezu.

5.5.8 Tehnologija gradnje

5.5.8.1 Priprava temeljnih tal

Pred izvedbo platoja se s stopničenjem v raščeno podlago odstrani celoten sloj umetnega nasipa debeline 1–6 m. Višina stopnic je do okoli 1,8 m, širina pa 2–3 m. Ob vznožju nasipa

se odstrani tudi plast lahko gnetne razmočene gline. Sledi zapolnitev izkopa in hkrati izdelava platoja za gradbeno mehanizacijo za izdelavo uvrtnih pilotov, ki se izvede s kvalitetnim tamponskim materialom od spodaj navzgor. Material se vgrajuje z vibracijskimi valjarji v horizontalnih plasteh debeline 60 cm. Vsaka plast se pred polaganjem naslednje plasti kontrolira z meritvami gostote. Zgoščenost mora biti večja od 95 % MMP. Nasip za plato se izvede v naklonu 1 : 1,5, ki se ga končno humusira in zatravi.

5.5.8.2 Izdelava pilotne stene

Pilote se izvede do trdne podlage dolomita. Če je globina večja od predvidene, se izkop podaljša do zahtevane globine. V izkop vsakega pilota se vgradi armaturni koš, ki se ga zalije z betonom, ob istočasnem izvlačenju opažne kolone (kontraktorski način).

Po izdelavi vseh pilotov se za izvedbo vezne grede in izvedbo sidranja konstrukcije delovni plato zniža za 1,0 m. Sledi izvedba podložnega betona debeline 10 cm, na katerega se postavi armaturo in opaž za vezno gredo. Na notranji strani pilotov se položi filtrski geosintetik in drenažno cev, ki se jo zalije z drenažnim betonom. Na predvidenih mestih sider pustimo odprtine za prehod sider skozi vezno gredo, ki se jih vgradi pod kotom 35° glede na horizontalo.

Po končanem betoniranju vezne grede sledi izvedba zidu. Najprej se postavi opaž in vanj namesti armaturo. Opaž nato zalijemo z betonom.

Ko je zid narejen, sledi zasip zaledja do polovice višine zidu (1. faza zasipa: $\approx 1,25$ m), s čimer dosežemo manjše pomike pilota in zidu v fazi sidranja konstrukcije in s tem manjše obremenitve v pilotu. Nasuti material se mora skomprimirati, tako da se doseže zahtevana zgoščenost (> 95 % MMP).

Skozi plastične cevi, ki smo jih predhodno vgradili, se nato vgradi trajna prednapeta sidra. Najprej se injektira vezni del sidra. Po doseženi trdnosti veznega dela se sidro preizkusi, zaklini in protikorozijsko zaščiti. Izvede se kontrola protikorozijske zaščite in kontrola vnašanja sile prednapenjanja. Na koncu je potrebno sidrne glave ustrezno zaščititi.

Po končanem sidranju se izvede zasip (2. faza) do nivoja ceste. Tudi tega je potrebno skomprimirati do zahtevane zgoščenosti.

5.5.9 Groba ocena stroškov

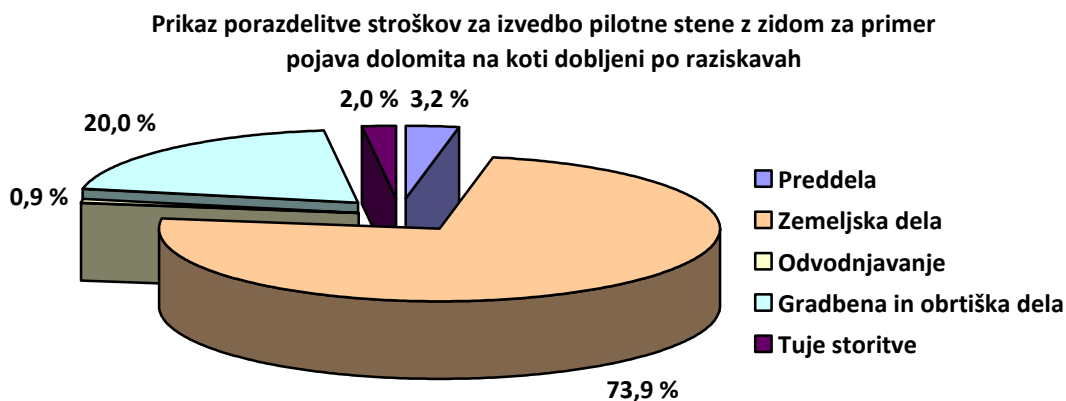
Iz Preglednice 35 ter Grafikona 3 je razvidno, da tudi v tej varianti največji delež stroškov pade na zemeljska ter gradbena in obrtniška dela, ti pa so celo višji od variante 1. Ostali stroški so znatno nižji.

Zemeljska dela v grobem zajemajo izkop nenosilnega materiala, ureditev planuma temeljnih tal, nasip za delovni plato, izvedba uvrtnih pilotov, zasipni klin in izvedba tampona ter humusiranje in zatravitev, gradbena in obrtniška dela pa izdelavo opaža za izvedbo vezne grede in zidu, armiranje in vgraditev podložnega in cementnega betona, sidranje konstrukcije ter vgraditev jeklene varnostne ograje.

Zemeljska dela so torej tudi v tem primeru največji segment, v katerem bi lahko iskali optimizacije za ugodnejšo finančno rešitev z ugodnejšo masno bilanco.

Preglednica 35: Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).

Vrsta del	Vrednost	Procent vseh stroškov
Preddela	19.800,00	3,2
Zemeljska dela	460.195,00	73,9
Odvodnjavanje	5.373,00	0,9
Gradbena in obrtniška dela	124.705,70	20,0
Tuje storitve	12.300,00	2,0
Skupaj	622.373,70	100
DDV 20 %	124.474,74	20
Skupaj z DDV	746.848,44	120



Grafikon 3: Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo sidrane pilotne stene.

5.5.10 Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje

Tudi v tem primeru so rezultati stabilnostne analize za vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje v posameznem računskem profilu različni. V Preglednici 36 in 37 so prikazani pomiki, projektne vrednosti notranjih statičnih količin, sila zaklinjenja ter projektne vrednosti sidrnih sil za vsak profil posebej. Zaradi poenostavitve pa so kot končni rezultat upoštevan le rezultati analize, dobljeni v kritičnem prerezu.

Dolomit 3 m nižje:

V primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi na koti, ki je 3 m nižje od kote dobljene po raziskavah, nam rezultati stabilnostne analize povedo, da moramo za zagotovitev globalne varnosti, omejitev pomikov in obremenitev pilotov zgostiti raster sider. Rezultat je torej:

- piloti $\Phi 100$ na osni razdalji 2,0 m
- sidra 4 $\Phi 0,6''$ na razdalji 2,0 m
- sila zaklinjenja $P_0 = 450$ kN

Poleg tega je posledica tudi podaljšanje pilotov za 3 m ($L_{pilot} = 14,0-15,0$ m) ter podaljšanje dolžine prostega dela sider, ki bi v tem primeru znašala od 33 m do 36 m.

Seveda pa bi to vplivalo tudi na stroške.

Preglednica 36: Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projektne vrednosti.

Profil	u_{tot} [mm]	N [kN/m]	Q_d [kN/pilot]	M_d [kNm/pilot]	P_o [kN/sidro]	F_d [kN/sidro]
Kombinacija 1						
A11-3	5,7	-558	259	-467	400	563,0
A12	9,2	-619	300	-805	450	622,6
A13	8,4	-615	337	-759	300	428,8
Kombinacija 2						
A13	15,3	-589	414	706	300	356,4

Zaradi varnosti $\gamma_R < 1,25$ v profilih A11-3 in A12, ki pa ni merodajna za globalno varnost konstrukcije (kritična je drsina pred pilotno steno), račun po kombinaciji 2 ni mogoč.

Dolomit 3 m višje:

V primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi 3 m višje, nam da stabilnostna analiza rezultate:

- piloti $\Phi 100/3$ m
- sidra $4 \Phi 6''/4$ m
- sila zaklinjenja $P_o = 450$ kN

Končni stroški so manjši na račun krajših pilotov in sider ter manjšega rastra med njimi. Dolžina pilotov je od 8,0 do 9,0 m, dolžina veznega dela sidra ostaja enaka ($L = 7,0$ m), prosti del sidra pa meri od 16 m do 19 m.

Preglednica 37: Maksimalne notranje sile in pomiki v pilotu za kombinacijo 1 in 2 – projekte vrednosti.

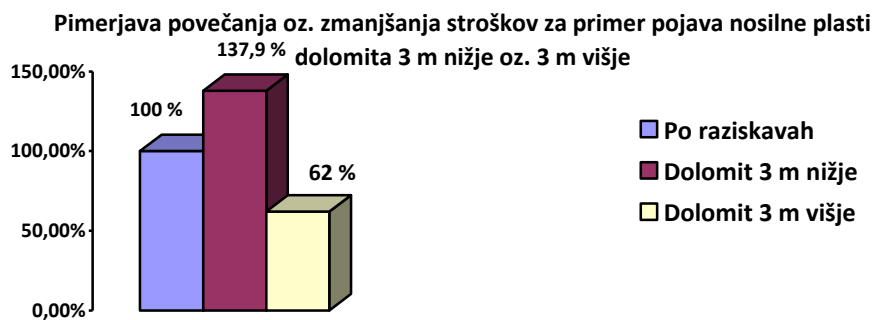
Profil	u_{tot} [mm]	N [kN/m]	Q_d [kN/pilot]	M_d [kNm/pilot]	P_0 [kN/sidro]	F_d [kN/sidro]
Kombinacija 1						
A11-3	6,2	-359	-514	-632	450	662,6
A12	4,1	-319	-454	454	450	635,6
A13	6,4	-354	-462	-697	450	626,9
Kombinacija 2						
A11-3	13,1	-329	402	549	450	524,0
A12	8,5	-288	-327	447	450	468,4

Zaradi nizke varnosti $\gamma_R < 1,25$ v profilu A13 račun za kombinacijo 2 ni mogoč.

5.5.11 Primerjava stroškov

Preglednica 38: Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.

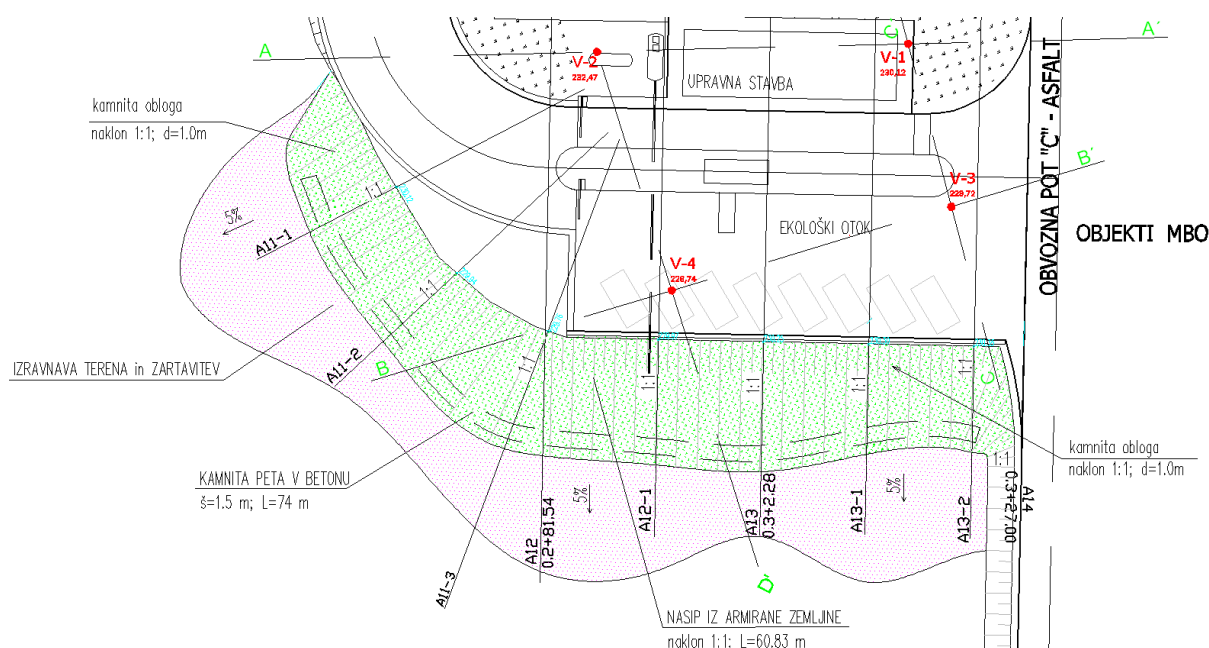
Položaj nosilne plasti	Skupni stroški	Procent od osnove
Po raziskavah	746.848,44	100
Dolomit 3 m nižje	1.030.132,44	137,9
Dolomit 3 m višje	463041,6	62,0



Grafikon 4: Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.

Na Grafikonu 4 je prikazana primerjava povečanja oziroma zmanjšanja skupnih stroškov za izvedbo sidrane pilotne stene z zidom v primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje oziroma 3 m višje od kote, dobljene po raziskavah. V primeru pojava dolomita 3 m nižje se stroški na račun povečanja izkopa in nasipa, podaljšanja pilotov ter podaljšanja in zmanjšanja rastra sider povečajo kar za 37,9 %. V primeru, da bi se nosilna plast dolomita pojavila 3 m višje, pa se stroški zmanjšajo za 38 % – predvsem na račun manjšega izkopa in nasipa, manjše medosne razdalje med piloti in sidri ter krajših pilotov in sider .

6 PODPIRANJE BREŽINE Z ARMIRANIM NASIPOM



Slika 65: Tloris situacije podpiranja brežine nasipa z armirano zemljino (naklon 1 : 1).

6.1 Statična analiza

Stabilnostne analize za podpiranje brežine nasipa z armirano zemljino smo izvedli s programom SLIDE. Najprej smo analizirali obstoječe stanje in izkop nasutega materiala, ki je nujen za stabilnost nasipa. Nato smo poskusili z analizo nasipa v naklonu 1 : 1 brez armiranja. Sledile so analize armiranega nasipa v treh variantah:

- VARIANTA 1: Nasip, armiran z armaturnim geosintetikom v naklonu 1 : 1.
- VARIANTA 2: Nasip, armiran z armaturnim geosintetikom v naklonu 1,5 : 1.
- VARIANTA3: Nasip, armiran z armaturnim geosintetikom in kamnito oblogo debeline 1,0 m v naklonu 1 : 1.

Analizirali smo tri geometrijsko različne profile z različnimi svetlinami A11-3, A12 in A13. Najprej smo izvedli izračun za primer, ko se nosilna plast dolomita nahaja na globini, ki je bila določena v sklopu terenskih raziskav, nato pa še analizo za primer, če se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje oziroma 3 m višje od tiste, dobljene po raziskavah.

V računu smo upoštevali parametre in predpostavke, prikazane v Preglednici 5 in preverili varnost kritične drsine.

Najprej smo preverili varnost obstoječega stanja. V računu smo upoštevali karakteristične vrednosti parametrov zemljin. Rezultati so pokazali, da se varnost obstoječega stanja giblje okoli $\gamma_R \cong 1,00$. Ugotovili smo, da bo potrebno nasuti material na površju odstraniti. Nadaljnji rezultati stabilnostne analize, ko smo preverjali varnost izkopa in nato novega nasipa, so pokazali, da moramo, da bi dosegli zahtevano varnost, odstraniti celotni nasuti material na površju. Pri analizi varnosti izkopa in nasipa smo šli v račun s projektnimi vrednostmi parametrov zemljin.

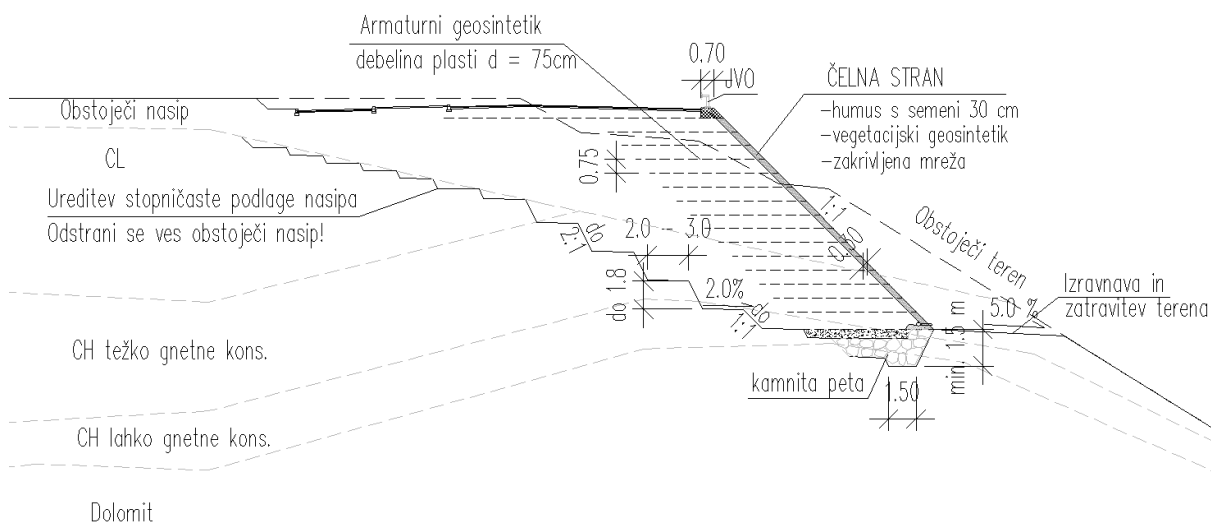
6.2 Potrebne natezne trdnosti armaturnega geosintetika

Potrebno natezno trdnost armaturnega geosintetika smo določili s stabilnostno analizo kritičnega prereza (pri prerezu z najvišjo svetlo višino). Za lažjo primerjavo vseh variant med seboj smo izbrali konstanten raster polaganja armaturnega geosintetika. Debelina plasti med mrežami je 75 cm.

Rezultati so pokazali, da potrebujemo armaturni geosintetik z dolgoročno natezno trdnostjo minimalno 25 kN/m pri 2 % raztezku.

6.3 VARIANTA 1: NASIP IZ ARMIRANE ZEMLJINE – NAKLON 1 : 1

6.3.1 Zasnova



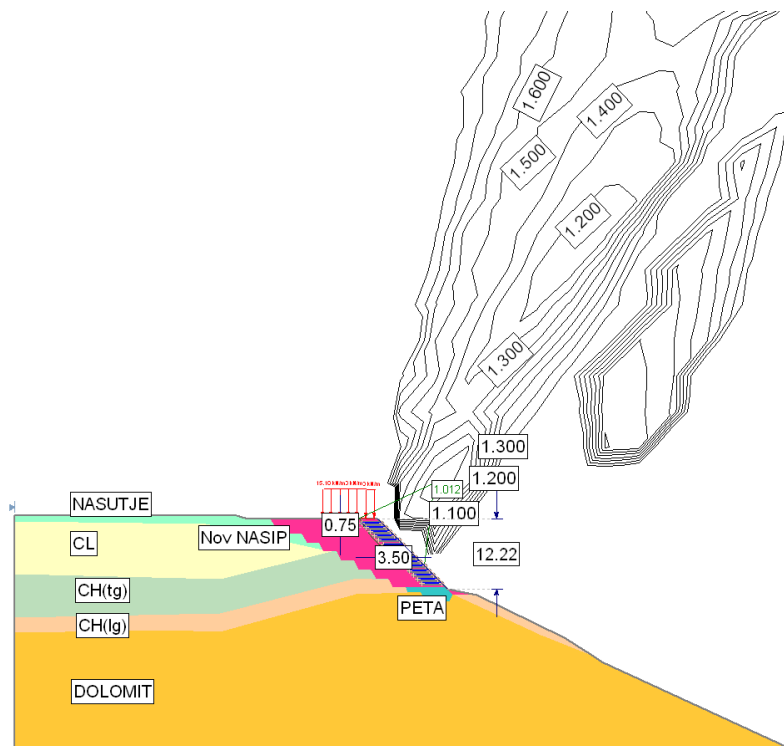
Slika 66: Karakteristični prerez nasipa iz armirane zemljine v naklonu 1 : 1 v profilu A11-3.

Predlog podpiranja brežine je nasip iz armirane zemljine z naklonom brežin 1 : 1. Debelina plasti med mrežami dolgoročne natezne trdnosti 25 kN/m je 75 cm. Čelno stran se varuje z zakrivljeno mrežo, na notranji strani ovito z vegetacijskim geosintetikom. Vznožje nasipa se utrdi s kamnito peto, globine minimalno 1,5 m, katere dno mora segati v celoti v dolomitno podlago.

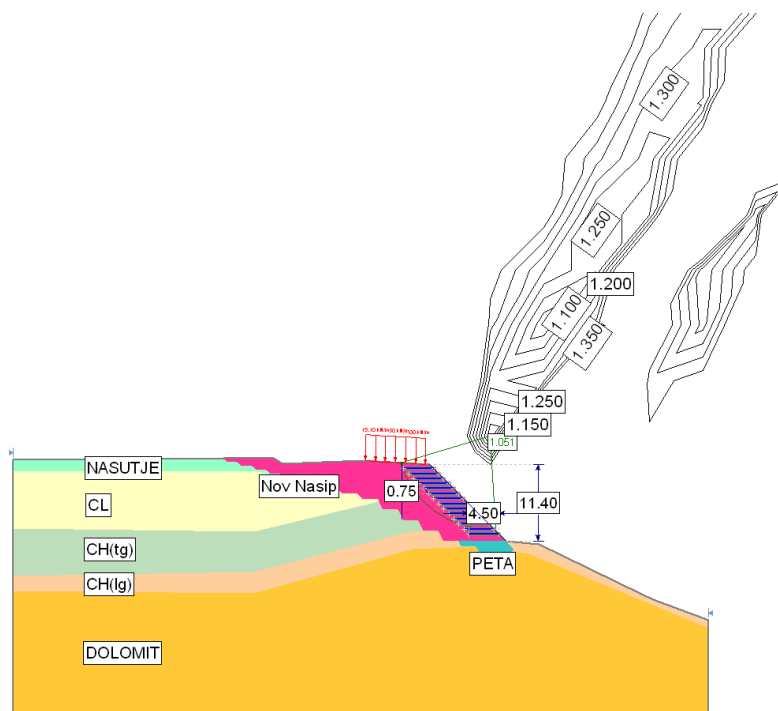
Potrebno dolžino mrež smo določili s stabilnostnimi analizami; v več prerezih in jih podajamo naknadno.

6.3.2 Stabilnostne analize v profilih A11-3, A12 in A13

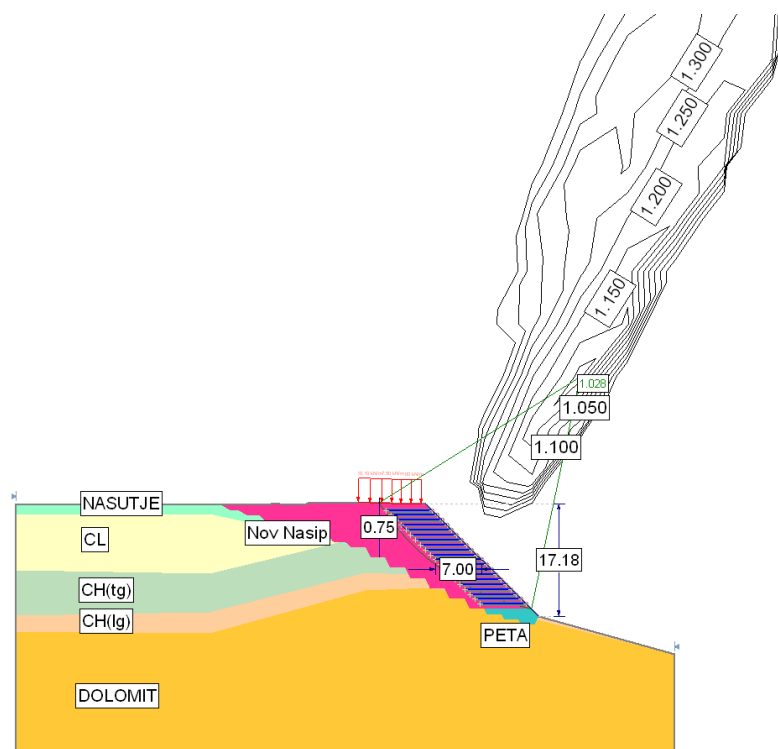
Rezultate stabilnostne analize prikazujemo na Slikah 67, 68 in 69. Izpisana varnost kritične drsine je projektna vrednost. Enako velja tudi za varianti 2 in 3.



Slika 67: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A11-3; kritična drsina: $\gamma_R = 1,012$.



Slika 68: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A12, kritična drsina: $\gamma_R = 1,051$.



Slika 69: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A13, kritična drsina: $\gamma_R = 1,028$.

6.3.3 Gradnja nasipa iz armirane zemljine – varianta 1

6.3.3.1 Analiza rezultatov stabilnostne analize

Iz rezultatov stabilnostnih analiz v treh prerezih smo ugotovili, da se z višanjem nasipa večja potrebna dolžina armaturnih mrež. Računsko določeno geometrijo razporeditve mrež zaradi potreb enostavne in lahko nadzorovane gradnje poenostavimo. Zato izberemo konstantno dolžino armaturnega geosintetika po celotni dolžini. Ob upoštevanju rezultatov računske analize je v kritičnem prerezu (prerezu z najvišjo svetlo višino nasipa) potrebna dolžina armaturnega geosintetika z dolgoročno natezno trdnostjo traku 25 kN/m pri raztežku 2 % $L = 7$ m. Pri nižjih prerezih, kjer po rezultatih računske analize zadošča armaturni geosintetik dolžine 3,5–5 m, bi lahko uporabili krajšega, vendar ne krajšega od 5 m.

6.3.3.2 Opis konstrukcije

Na odseku med A12 - 20 m in A13 + 10 m se v dolžini cca. 61,4 m izvede nasip iz armirane zemljine višine 8,0–17,5 m z naklonom brežin 1 : 1. Dolžina armaturnega geosintetika je 7,0 m, debelina plasti med mrežami pa 75 cm. Čelna stran se varuje z zakrivljeno mrežo, na notranji strani ovito z vegetacijskim geosintetikom. Vznožje nasipa se utrdi s kamnito peto, katere dno mora segati v preperel dolomit, hkrati pa mora imeti globino minimalno 1,5 m.

6.3.3.3 Priprava temeljnih tal

Pod predvidenim nasipom se s stopničanjem v raščeno podlago odstrani celoten sloj umetnega nasipa debeline okoli 1–6 m. Višina stopnic je do okoli 1,8 m, širina pa naj bo minimalno 1,5 m. Potek stopnic se prilagaja poteku raščenih tal.

V vznožju nasipa se izvede izkop za temeljno peto nasipa, ki mora z dnom v celoti segati v dolomit. Globina pete je minimalno 1,5 m. V kolikor se z izkopom do predvidene kote ne doseže hribinske podlage, se izvede poglobitev do dolomita. V zaledju kamnite pete se odstranijo lahko gnetne razmočene gline pod nasipom. Izkop se zapolni s kamni v drenažnem betonu, konča pa se z 0,5 m debelo plastjo kamnitega materiala, ki se uvalja na stopnjo zgoščenosti > 95 % MMP.

6.3.4 Izvedba armiranega nasipa

Tehnologija izvedbe nasipa iz armirane zemljine z uporabo trajne čelne stene iz ukrivljene mreže (nagib brežine 1 : 1)

1. Na vrh kamnite pete se postavi prva vrsta varjenih armaturnih mrež, predhodno ukrivljenih pod kotom 45,0°, pod katerim bo nasip tudi izveden. Mreže se medsebojno prekrivajo za okoli 5 cm, povežejo se z žicami in zasidrajo v tla s sidri iz armaturnih palic.

2. Nato se položi prva plast armaturnega geosintetika, tako da se role odvijajo prečno na vzdolžno os nasipa in se prekrivajo za 10 cm oziroma 5 okenčkov. Dolžina mrež je 7 m, zadnji armaturni trak pod platojem pa se izvede v dolžini 15 m. Mreže se med seboj povežejo z žico ali plastičnim trakom in sidrajo v tla (1 sidro/m v vzdolžni smeri), kar prepreči gubanje pri nasipavanju.

3. Na notranjo stran mreže se položi vegetacijski geosintetik, ki preprečuje erozijo in omogoča zasaditev. Položi se ga tako, da v dolžini 50 cm prekriva spodnji armaturni geosintetik. Nato se ga povleče čez železno mrežo in odreže tako, da 50 cm traku visi čez čelno mrežo.
4. Po položitvi vegetacijskega geosintetika se mreže dodatno ojača po diagonali s kljukami iz rebrastega železa na rastru 60 cm, ki preprečujejo izrivanje mrež z notranje strani.
5. Na mreže se čelno nasuje prva plast kamnitega nasipa v debelini 35 cm in utrdi z lahkim valjarjem. Ob zunanji rob se ročno nasuje plast rodovitne humusne zemlje, pomešane s semeni in ročno utrdi.
6. Narine se še druga plast do končne višine in ponovno zavalja z vibracijskim valjarjem. Za zunanje robove se uporabijo lažji valjarji in ročna nabijala. Vsaka taka plast debeline 75 cm se pred polaganjem naslednje plasti kontrolira z meritvami gostote (95 % MPP).
7. Čez končano nasuto plast se zapogne vegetacijski geosintetik, ki je začasno visel na zunanjo stran čelne mreže in se ga zasidra. Priporočljivo je, da se vsaka plast pred vgraditvijo nove plasti dobro naškropi z vodo.
8. Postopek 1–7 se ponavlja do vrha nasipa. Odvečni zgornji del mreže zadnje plasti se zakrivi skupaj z geosintetikom nazaj v nasip.

6.3.5 Groba ocena stroškov

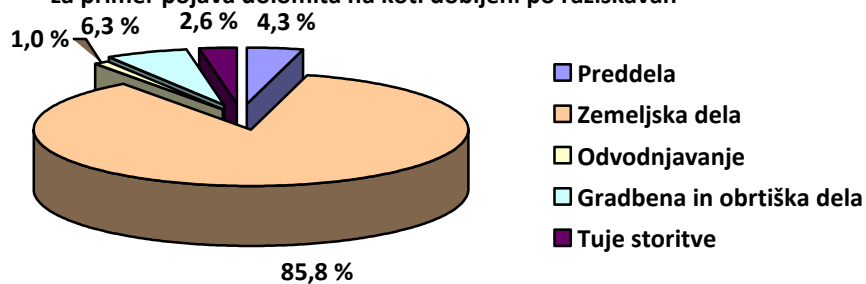
Spodnja preglednica prikazuje rekapitulacijo stroškov ter delež posameznih vrst stroškov glede na skupne stroške. Iz Grafikona 5 je lepo razvidno, da največji delež stroškov povzročijo zemeljska dela. Ta v grobem zajemajo izkop nenosilnega materiala, ureditev planuma temeljnih tal, ureditev pete nasipa, izdelavo filtrske plasti nad kamnito peto, dobavo in vgraditev geotekstila za ločilno plast, zasip z zrnato zemljino in izdelavo drenažne plasti na čelni strani.

Preglednica 39: Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).

Vrsta del	Vrednost	Procent vseh stroškov
Preddela	19.800,00	4,3
Zemeljska dela	398.230,00	85,8
Odvodnjavanje	4.650,00	1,0
Gradbena in obrtniška dela	29.319,50	6,3
Tuje storitve	12.300,00	2,6
Skupaj	464.299,50	100
DDV 20 %	92.859,90	20
Skupaj z DDV	557.159,40	120

Zemeljska dela so torej segment, v katerem bi lahko iskali optimizacije za ugodnejšo finančno rešitev. Optimizacija bi bila možna z ugodnejšo masno bilanco, saj največ stroškov povzročita ravno izkop nasipa in vgradnja novega, kvalitetnega nasipnega materiala.

Prikaz porazdelitve stroškov za izvedbo armiranega nasipa v naklonu 1 : 1 za primer pojava dolomita na koti dobljeni po raziskavah



Grafikon 5: Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo armirane zemljine v naklonu 1 : 1.

6.3.6 Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje

Če se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje, to pomeni večjo svetlo višino nasipa, kar pa vpliva na končno ceno izvedbe. Stroški se povečajo tehnološko predvsem zaradi izkopa za izvedbo kamnite pete, ki je v tem primeru večji. Statične analize pa nam pokažejo, da potrebujemo tudi daljši armaturni geosintetik. Potrebna dolžina armaturnega geosintetika v kritičnem prerezu ja $L = 10$ m, kar pa tudi vpliva na ceno gradnje.

Obratno je, če se zgodi, da se nosilna plast pojavi 3 m višje od kote, dobljene z geotehničnimi raziskavami. V tem primeru nam statična analiza pove, da v kritičnem prerezu zadostujejo armaturne mreže dolžine 5 m. Temu primerno manjša je tudi globina izkopa za izvedbo kamnite pete.

Rezultati stabilnostne analize se v posameznih profilih nekoliko razlikujejo (različna dolžina geomrež). Zaradi poenostavitve pa so kot končni rezultat upoštevani le rezultati analize, dobljene v kritičnem prerezu.

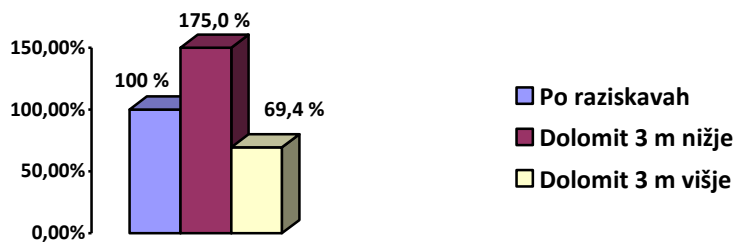
6.3.7 Primerjava stroškov

V Preglednici 40 in Grafikonu 6 je prikazana primerjava povečanja oziroma zmanjšanja skupnih stroškov v primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje oziroma 3 m višje od kote, dobljene po raziskavah. V primeru pojava dolomita 3 m nižje se stroški na račun povečanja izkopa in nasipa ter podaljšanja geotekstila povečajo kar za 75 %. V primeru, da bi se nosilna plast dolomita pojavila 3 m višje, pa se stroški zmanjšajo za 30,6 % predvsem na račun zmanjšanja izkopa in nasipa ter krajših geomrež.

Preglednica 40: Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.

Položaj nosilne plasti	Skupni stroški	Procent od osnove
Po raziskavah	557.159,40	100
Dolomit 3 m nižje	975.333,00	175,0
Dolomit 3 m višje	386.672,28	69,4

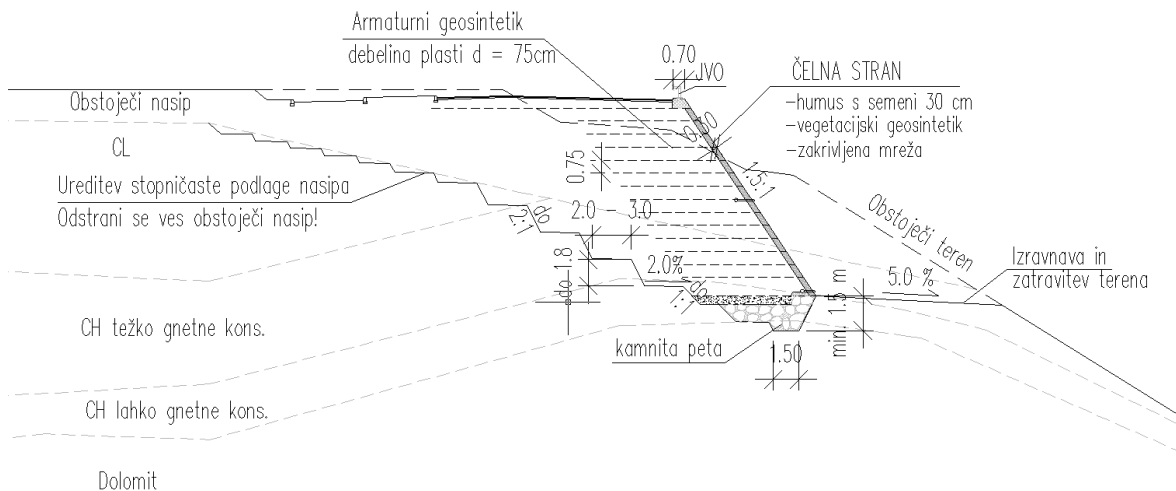
Pimerjava povečanja oz. zmanjšanja stroškov za primer pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oz. 3 m višje



Grafikon 6: Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.

6.4 VARIANTA 2: NASIP IZ ARMIRANE ZEMLJINE – NAKLON 1,5 : 1

6.4.1.1 Zasnova

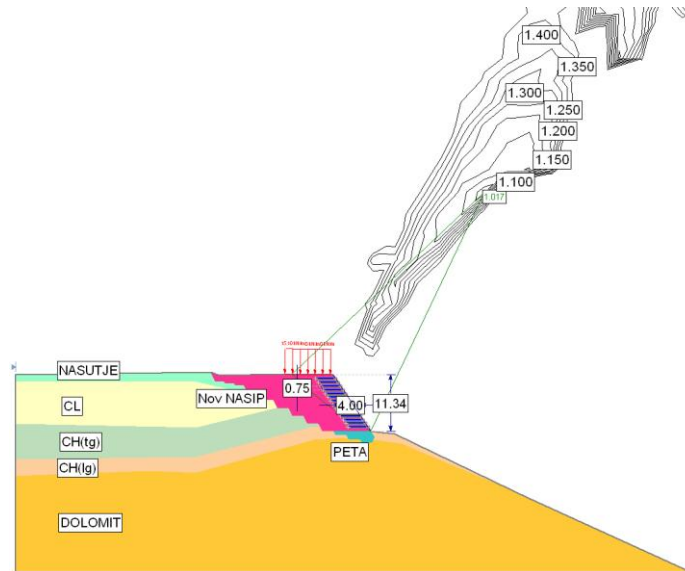


Slika 70: Karakteristični prerez nasipa iz armirane zemljine v naklonu 1,5 : 1 v profilu A11-3.

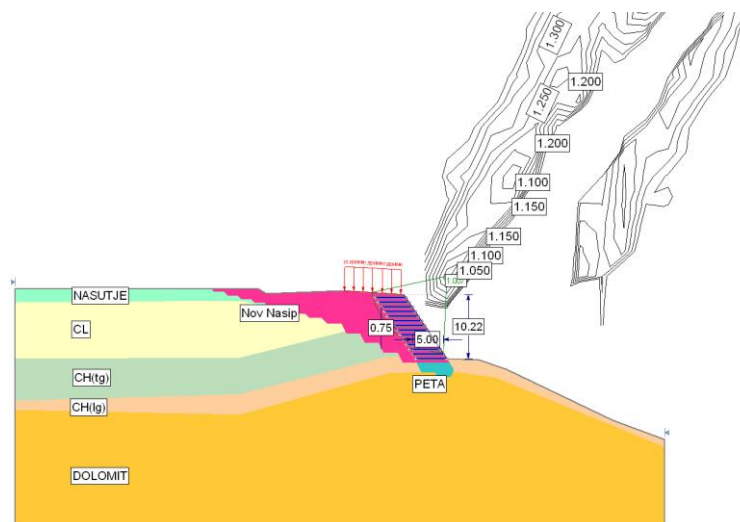
Predlog podpiranja brežine je nasip iz armirane zemljine z naklonom brežin 1,5 : 1. Debelina plasti med mrežami dolgoročne natezne trdnosti 25 kN/m je 75 cm. Čelno stran se varuje z zakrivljeno mrežo, na notranji strani ovito z vegetacijskim geosintetikom. Vznožje nasipa se utrdi s kamnito peto globine minimalno 1,5 m, katere dno mora segati v celoti v dolomitno podlago.

Potrebno dolžino mrež smo določili s stabilnostnimi analizami v več prerezih in jih podajamo naknadno.

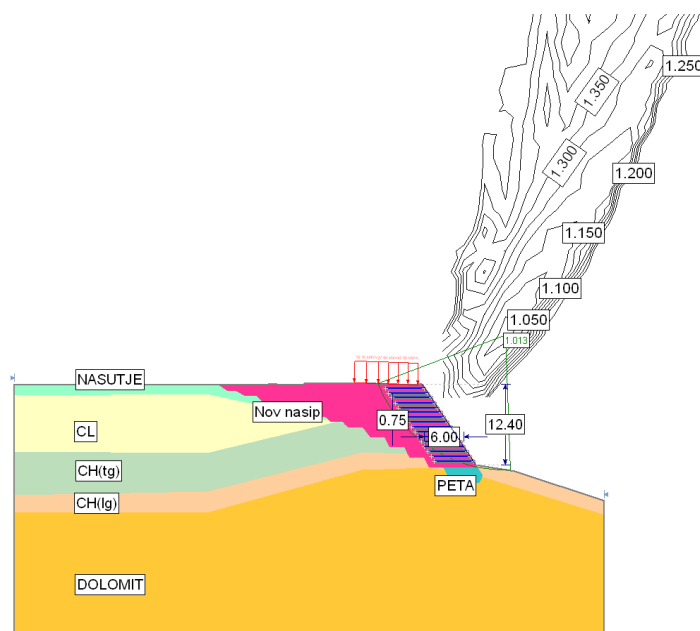
6.4.2 Stabilnostne analize v profilih A11-3, A12 in A13



Slika 71: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A11-3, kritična drsina: $\gamma_R = 1,017$.



Slika 72: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A12, kritična drsina: $\gamma_R = 1,007$.



Slika 73: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A13, kritična drsina: $\gamma_R = 1,013$.

6.4.3 Gradnja nasipa iz armirane zemljine – varianta 2

6.4.3.1 Analiza rezultatov stabilnostne analize

Iz rezultatov stabilnostnih analiz v treh prerezih smo ugotovili, da se z višanjem nasipa večja potrebna dolžina armaturnih mrež. Računsko določeno geometrijo razporeditve mrež zaradi potreb enostavne in lahko nadzorovane gradnje poenostavimo. Zato izberemo konstantno dolžino armaturnega geosintetika po celotni dolžini. Ob upoštevanju rezultatov računske analize je v kritičnem prerezu (prerezu z najvišjo svetlo višino nasipa) potrebna dolžina armaturnega geosintetika z natezno trdnostjo traku 25 kN/m pri raztezku 2 % $L = 6$ m. Pri nižjih prerezih, kjer po rezultatih računske analize zadošča armaturni geosintetik dolžine 4–5 m, bi lahko uporabili krajšega, vendar ne krajšega od 5 m.

6.4.3.2 Opis konstrukcije

Na odseku med A12 – 20 m in A13 + 10 m se v dolžini cca. 61,4 m izvede nasip iz armirane zemljine višine 5,0 –12,5 m z naklonom brežin 1,5 : 1. Dolžina armaturnega geosintetika je 6,0 m, debelina plasti med mrežami pa 75 cm. Čelna stran se varuje z zakrivljeno mrežo, na notranji strani ovito z vegetacijskim geosintetikom. Vznožje nasipa se utrdi s kamnito peto, katere dno mora segati v preperel dolomit, hkrati pa mora imeti globino minimalno 1,5 m.

6.4.3.3 Priprava temeljnih tal

Pod predvidenim nasipom se s stopničenjem v raščeno podlago odstrani celoten sloj umetnega nasipa debeline okoli 1–6 m. Višina stopnic je do okoli 1,8 m, širina pa naj bo minimalno 1,5 m. Potek stopnic se prilagaja poteku raščenih tal.

V vznožju nasipa se izvede izkop za temeljno peto nasipa, ki mora z dnem v celoti segati v dolomit. Globina pete je minimalno 1,5 m. V kolikor se z izkopom do predvidene kote ne doseže hribinske podlage, se izvede poglobitev do dolomita. V zaledju kamnite pete se odstranijo lahko gnetne razmočene gline pod nasipom. Izkop se zapolni s kamni v drenažnem betonu, konča pa se z 0,5 m debelo plastjo kamnitega materiala, ki se uvalja na stopnjo zgoščenosti > 95 % MPP.

6.4.3.4 Izvedba armiranega nasipa

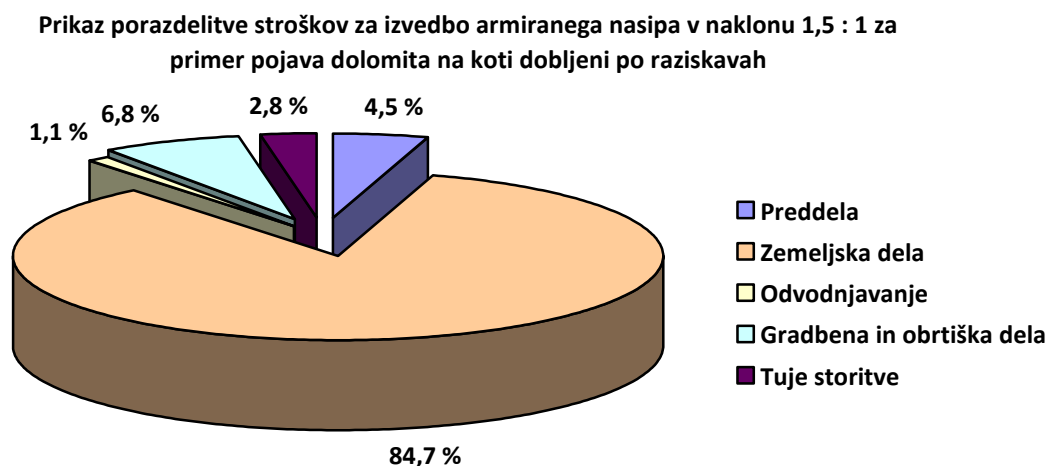
Tehnologija izvedbe nasipa iz armirane zemljine z uporabo trajne čelne stene iz ukrivljene mreže (nagib brežine 1,5 : 1) je enaka kot pri varianti 1, le da se v varianti 2 mreže predhodno ukrivijo pod kotom 56,3°.

6.4.4 Groba ocena stroškov

Iz spodnje preglednice in grafikona je razvidno, da tudi v tem primeru največji delež stroškov povzročijo zemeljska dela.

Preglednica 41: Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).

Vrsta del	Vrednost	Procent vseh stroškov
Preddela	19.800,00	4,5
Zemeljska dela	365.731,30	84,7
Odvodnjavanje	4.650,00	1,1
Gradbena in obrtniška dela	29.319,50	6,8
Tuje storitve	12.300,00	2,8
Skupaj	431.800,80	100
DDV 20 %	86.360,16	20
Skupaj z DDV	518.160,98	120



Grafikon 7: Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo armiranega nasipa v naklonu 1,5 : 1.

6.4.5 Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje

Če se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje, to pomeni večjo svetlo višino nasipa, kar pa vpliva na končno ceno izvedbe. Stroški se povečajo tehnološko predvsem zaradi izkopa za izvedbo kamnite pete, ki je v tem primeru večji. Statične analize pa nam pokažejo, da potrebujemo tudi daljši armaturni geosintetik. Potrebna dolžina armaturnega geosintetika v kritičnem prerezu ja $L = 9$ m, kar pa tudi vpliva na ceno gradnje.

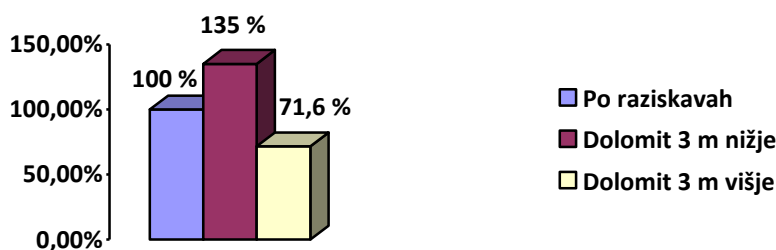
Obratno je, če se zgodi, da se nosilna plast pojavi 3 m višje od kote, dobljene z geotehničnimi raziskavami. V tem primeru nam statična analiza pove, da v kritičnem prerezu zadostujejo armaturne mreže dolžine 4 m. Temu primerno manjša je tudi globina izkopa za izvedbo kamnite pete.

6.4.6 Primerjava stroškov

Preglednica 42: Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.

Položaj nosilne plasti	Skupni stroški	Procent od osnove
Po raziskavah	518.160,98	100
Dolomit 3 m nižje	699.786,24	135,0
Dolomit 3 m višje	370.922,16	71,6

Pimerjava povečanja oz. zmanjšanja stroškov za primer pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oz. 3 m višje

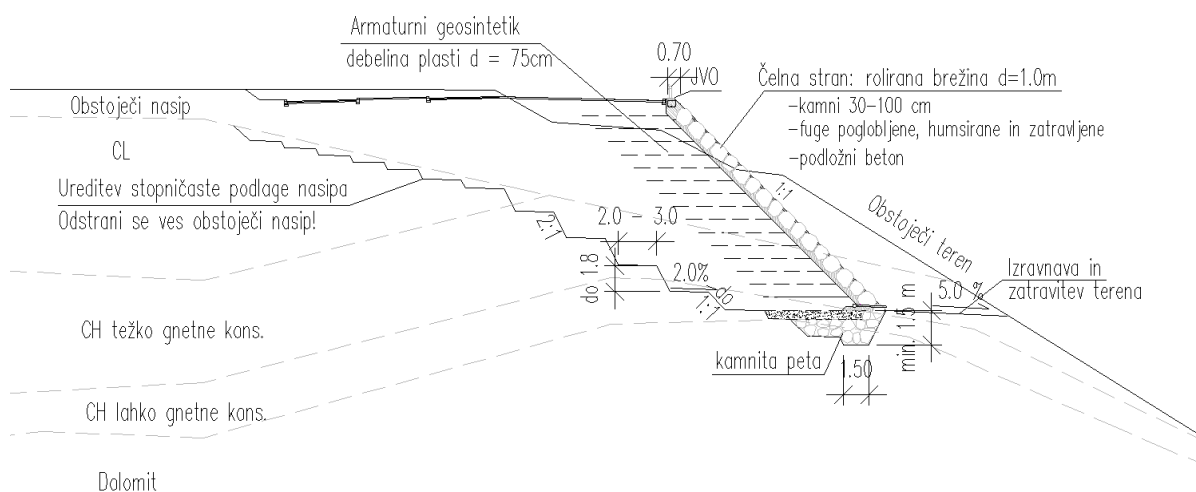


Grafikon 8: Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.

Na Grafikonu 8 je prikazana primerjava povečanja oziroma zmanjšanja skupnih stroškov za izvedbo armiranega nasipa v naklonu 1,5 : 1 v primeru, da se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje oziroma 3 m višje od kote, dobljene po raziskavah. V primeru pojava dolomita 3 m nižje se stroški na račun povečanja izkopa in nasipa ter podaljšanja geotekstila povečajo kar za 35,0 %. V primeru, da bi se nosilna plast dolomita pojavila 3 m višje, pa se stroški zmanjšajo za 28,4 %, predvsem na račun manjšega izkopa in nasipa ter krajših geomrež.

6.5 VARIANTA 3: NASIP IZ ARMIRANE ZEMLJINE S KAMNITO OBLOGO V NAKLONU 1 : 1

6.5.1 Zasnova

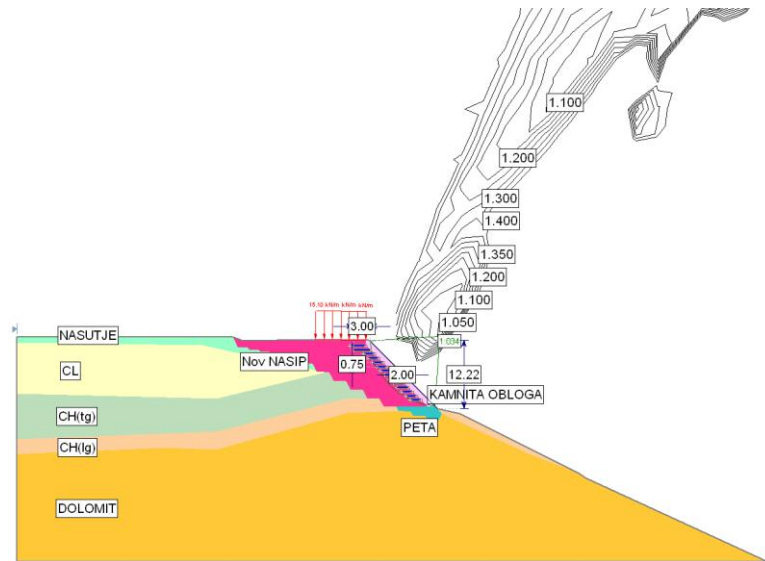


Slika 74: Karakteristični prerez nasipa iz armirane zemljine v naklonu 1 : 1 v profilu A11-3.

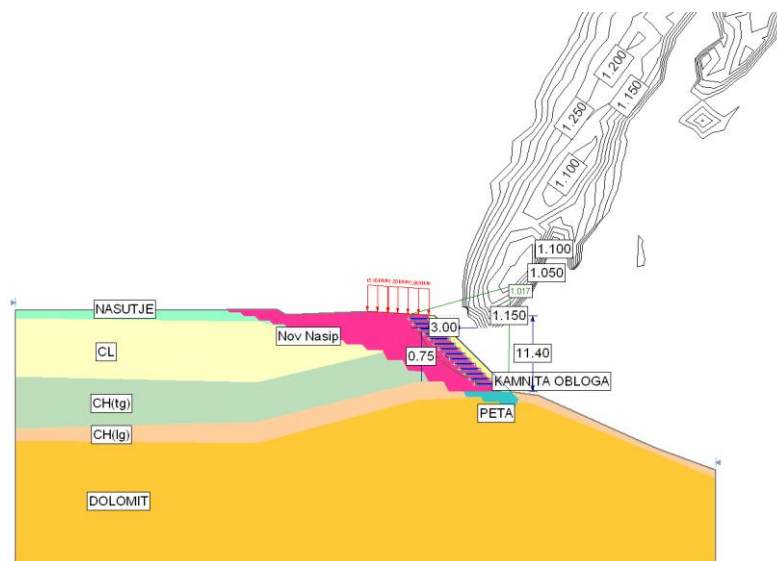
Predlog ureditve brežine je nasip iz armirane zemljine s kamnito oblogo debeline 1,0 m na čelni strani v naklonu brežin 1 : 1. Debelina plasti med mrežami natezne trdnosti 25 kN/m je 75 cm. Čelno stran se varuje z zakrivljeno mrežo, na notranji strani ovito z vegetacijskim geosintetikom. Vznožje nasipa se utrdi s kamnito peto, globine minimalno 1,5 m, katere dno mora segati v celoti v dolomitno podlago.

Potrebno dolžino sider smo določili s stabilnostnimi analizami v več prerezih in jih podajamo naknadno.

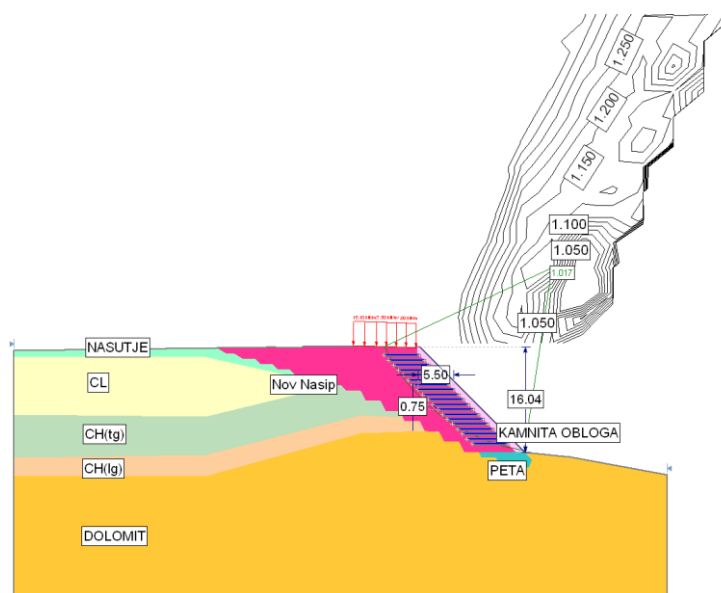
6.5.2 Stabilnostne analize v profilih A11-3, A12 in A 13



Slika 75: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A11-3; kritična drsina: $\gamma_R = 1,034$.



Slika 76: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A12; kritična drsina: $\gamma_R = 1,017$.



Slika 77: Stabilnostna analiza armiranega nasipa v prerezu A13; kritična drsina: $\gamma_R = 1,017$.

6.5.3 Gradnja nasipa iz armirane zemljine – varianta 3

6.5.3.1 Analiza rezultatov stabilnostne analize

Iz rezultatov stabilnostnih analiz v treh prerezih smo ugotovili, da se z višanjem nasipa večja potrebna dolžina armaturnih mrež. Računsko določeno geometrijo razporeditve mrež zaradi potreb enostavne in lahko nadzorovane gradnje poenostavimo. Zato izberemo konstantno dolžino armaturnega geosintetika po celotni dolžini. Ob upoštevanju rezultatov računske analize je v kritičnem prerezu (prerezu z najvišjo svetlo višino nasipa) potrebna dolžina armaturnega geosintetika z dolgoročno natezno trdnostjo traku 25 kN/m pri raztežku 2 % $L = 5,5$ m. Pri nižjih prerezih, kjer po rezultatih računske analize zadošča armaturni geosintetik dolžine 3 m, bi lahko uporabili krajšega.

6.5.3.2 Opis konstrukcije

Na odseku med A12 – 20 m in A13 + 10 m se v dolžini cca. 61,4 m izvede nasip iz armirane zemljine s kamnito oblogo višine 5,0–16,0 m z naklonim brežin 1 : 1. Dolžina armaturnega geosintetika je 5,5 m, debelina plasti med mrežami pa 75 cm. Vznožje nasipa se utrdi s

kamnito peto, katere dno mora segati v preperel dolomit, hkrati pa mora imeti globino minimalno 1,5 m. Čelna stran se izvede s kamnito oblogo iz kamnov premera 30–50 cm.

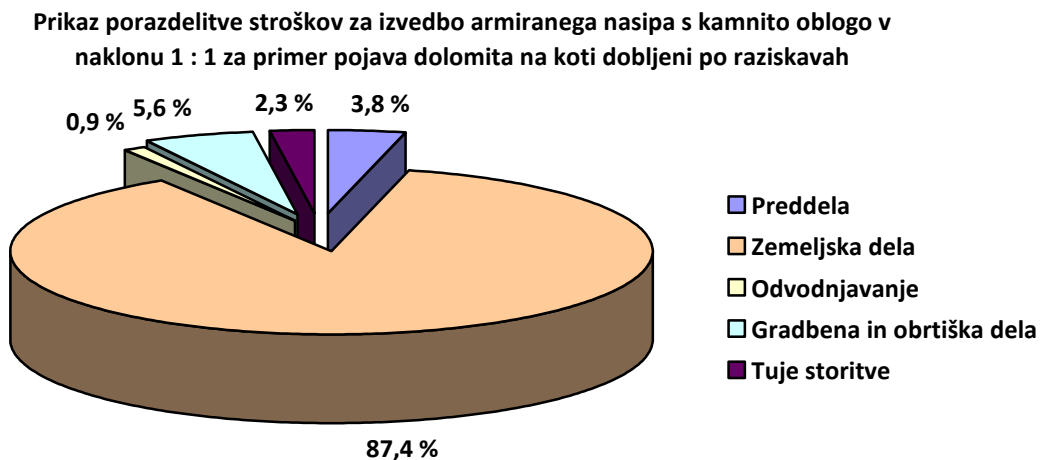
6.5.3.3 Tehnologija gradnje

Način polaganja armaturnega geosintetika in izvedbe plasti so enake kot pri varianti 1. Namesto izvedbe čelne strani nasipa z armaturno mrežo, vegetacijskim geosintetikom in humusno zemljino se sprti z napredovanjem nasipa izvaja kamnita obloga. Zunanji robovi mrež se sidrajo med kamnite bloke. Kamnita obloga se gradi iz kamnitih blokov velikosti 30–50 cm, ki se polagajo v beton C12/15. Fuge se zapolni s cementno malto.

6.5.4 Groba ocena stroškov

Preglednica 43: Rekapitulacija stroškov (v EUR) in delež posameznih vrst stroškov k skupnim stroškom (v %).

Vrsta del	Vrednost	Procent vseh stroškov
Preddela	19.800,00	3,8
Zemeljska dela	459.821,00	87,4
Odvodnjavanje	4.650,00	0,9
Gradbena in obrtniška dela	29.319,50	5,6
Tuje storitve	12.300,00	2,3
Skupaj	525.890,50	100
DDV 20 %	105.178,10	20
Skupaj z DDV	631.068,60	120



Grafikon 9: Prikaz porazdelitve posameznih vrst stroškov za izvedbo armiranega nasipa s kamnito oblogo v naklonu 1 : 1.

6.5.5 Vpliv pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oziroma 3 m višje

Če se nosilna plast dolomita pojavi 3 m nižje, to pomeni večjo svetlo višino nasipa, kar pa vpliva na končno ceno izvedbe. Stroški se povečajo tehnološko predvsem zaradi izkopa za izvedbo kamnite pete, ki je v tem primeru večji. Statične analize pa nam pokažejo, da potrebujemo tudi daljši armaturni geosintetik. Potrebna dolžina armaturnega geosintetika v kritičnem prerezu ja $L = 8$ m, kar pa tudi vpliva na ceno gradnje.

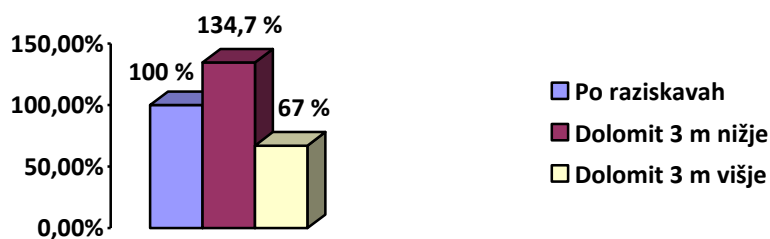
Obratno je, če se zgodi, da se nosilna plast pojavi 3 m višje od kote, dobljene z geotehničnimi raziskavami. V tem primeru nam statična analiza pove, da v kritičnem prerezu zadostujejo armaturne mreže dolžine 3 m. Temu primerno manjša je tudi globina izkopa za izvedbo kamnite pete.

6.5.6 Primerjava stroškov

Preglednica 44: Skupni stroški (v EUR) in odstotek odstopanja od osnove za tri različne položaje nosilne plasti.

Položaj nosilne plasti	Skupni stroški	Procent od osnove
Po raziskavah	631.068,60	100
Dolomit 3 m nižje	849.957,00	134,7
Dolomit 3 m višje	422.795,40	67,0

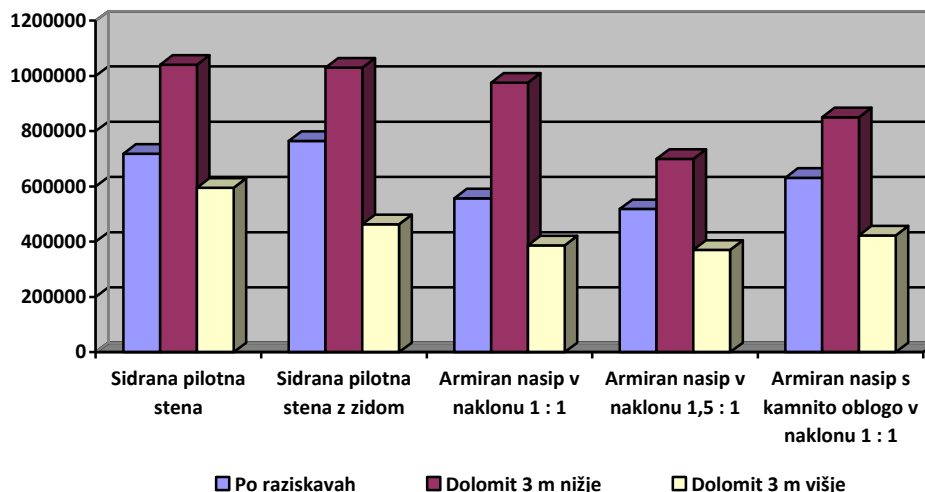
Pimerjava povečanja oz. zmanjšanja stroškov za primer pojava nosilne plasti dolomita 3 m nižje oz. 3 m višje



Grafikon 10: Primerjava povečanja/zmanjšanja skupnih stroškov v primeru pojava dolomita +/-3 m.

7 IZBIRA VARIANTE PODPIRANJA BREŽINE NASIPA

7.1 Ekonomsko ugodnejša varianta podpiranja brežine nasipa



Grafikon 11: Primerjava končnih stroškov med posameznimi variantami izvedbe.

Iz Grafikona 11 vidimo, da je varianta podpiranja nasipa s pilotno steno absolutno dražja od katerekoli od variant podpiranja z armiranim nasipom. Največji delež stroškov v vseh variantah predstavljajo zemeljska dela, saj je obstoječi nasip nestabilen in ga je potrebno v celoti odstraniti.

Varianta izvedbe armiranega nasipa v naklonu 1,5 : 1 se iz ekonomskega vidika izkaže kot najugodnejša. Poleg tega pa je tudi najmanj občutljiva na spremembo lege nosilne plasti.

7.2 Izvedbeno ugodnejša varianta podpiranja brežine nasipa

Varianta podpiranja brežine z armiranim nasipom v naklonu 1,5 : 1 je najugodnejša tudi iz izvedbenega vidika. V primerjavi z nasipom v naklonu 1 : 1 je boljši, ker je bolj strm, kar pomeni, da je pot do nosilne plasti dolomita krajša, s tem pa je manjša tudi količina izkopa in količina potrebnega boljšega nasipnega materiala. Poleg tega je potrebna dolžina armaturnega geosintetika krajša, kar nam pokažejo stabilnostne analize.

Podpiranje brežine z armiranim nasipom z kamnito oblogo v naklonu 1 : 1 bi prišla v poštev v primeru, da bi za stabilnost nasipa zadostovala samo zamenjava materiala in kamnita obloga. Stabilnostne analize so pokazale, da kljub kamniti oblogi potrebujemo geotekstil, zato se ta varianta tako iz ekonomskega kot iz izvedbenega vidika ne izplača.

Izvedba pilotne stene je prav tako cenovno kot tudi tehnološko neupravičena, saj je pilotno steno običajno ugodno izvesti takrat, ko ni potrebno izkopati velike količino materiala. V našem primeru so stabilnostne analize pokazale, da moramo izkopati ves nasuti material na površju in ga zamenjati z boljšim, da bi sploh lahko izvajali pilotno steno. To pa je seveda nesmiselno.

7.3 Predlog podpiranja brežine nasipa

Predlog podpiranja brežine je torej izvedba armiranega nasipa v naklonu 1,5 : 1, saj je ekonomsko in tehnološko najugodnejša.

8 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge smo računsko, tehnološko in ekonomsko preverili možnosti podpiranja brežine nasipa pod predvidenim platojem za kontejnerje za ločeno zbiranje odpadkov na severnem delu deponije Centra za ravnanje z odpadki Dolenjska.

Obravnavali smo dve osnovni varianti. To sta pilotna stena z dvema podvariantama (brez in z zidom) in armirana zemljina s tremi podvariantami (v naklonu 1 : 1, 1,5 : 1 in 1 : 1 s kamnito oblogo). Poleg teh obravnavanih variant podpiranja brežine nasipa bi bila seveda možna še kakšna, ki smo jih zaradi višine nasipa, sestave tal in tehnoloških možnosti na osnovi izkušenj opustili že v začetku.

Ugotovili smo, da se izvedba podpiranja brežine nasipa s pilotno steno z ali brez zidu tako tehnološko kot ekonomsko ne izplača. Stroški so, v primerjavi s katerokoli od izvedb nasipa z armirano zemljino, precej večji. Poleg tega je ta varianta tudi najbolj občutljiva na spremembo lege nosilne plasti dolomita.

Med variantami podpiranja brežine z nasipom iz armirane zemljine se je kot najugodnejša izkazala varianta s strmejšim naklonom 1,5 : 1. Tehnološko se bistveno ne razlikuje od tiste, z naklonom 1 : 1, so pa zato stroški na račun manjše količine potrebnega izkopa manjši. Poleg tega je ta varianta najmanj občutljiva na spremembo lege nosilne plasti dolomita.

Nasip iz armirane zemljine v naklonu 1,5 : 1 je bil s strani podjetja PROMICO d.o.o, na nivoju PGD projekta tudi obdelan. V dolžini cca. 41 m se izvede nasip v naklonu 1,5 : 1. Razlika je na obeh straneh (konceh), kjer nasip z vitopirjenjem preide v nagib 1 : 1. Izveden je z armirano zemljino in kamnito oblogo na čelni strani.

VIRI

Logar, J., Geotehnične gradnje, FGG Ljubljana, študijsko gradivo
www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva, 2009

Majes, B., Mehanika tal s temeljenjem, FGG Ljubljana, študijsko gradivo
www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva, 2009

Geološko-geomehansko poročilo o zgradbi tal in pogojih temeljenja Upravne stavbe in pripadajočih objektov na območju CeROD-a (faza PGD), februar 2009, ECONO d.o.o.,

Petkovšek, A., 2008, Tehnološki elaborat zemeljskih del na trasi AC A2 Karavanke – Obrežje, pododsek Pluska – Ponikve – ANEKS 2

Objekt: CeROD II – zunanja in prometna ureditev, Risba št. N-266/08: Ureditvena situacija, PGD, št.proj.: PGD-266/08, , junij 2008, Novo mesto, STIA Projektiranje in tehnično svetovanje d.o.o.

Salobir, B., Osnove geomehanike, učbenik za 2./3. letnik programov Rudarski tehnik PTI/SSI

SLONEP gradnja in montažne hiše
<http://gradnja.slonep.net>, julij 2009

GRADIMO, Spletni portal za gradnjo
<http://www.gradimo.com>, julij 2009

BIOSAN
<http://www.biosan.si>, julij 2009