

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 strokovni študij
gradbeništva, Konstrukcijska smer

Kandidat:

Adnan Đulsić

Načini gradnje nasipov s strmimi brežinami

Diplomska naloga št.: 365

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

Matjaž Brezavšček

Ljubljana, 2010

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.137(043.2)
Avtor: ADNAN ĐULSIĆ
Mentor: izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž.grad.
Somentor: Matjaž Brezavšček, univ. dipl. inž.grad.
Naslov: Gradnja strmih brežin
Obseg in oprema: 68 str., 14 pregl., 59 sl., 94 en.
Ključne besede: strme brežine, armirane zemljine, armirane brežine, gabioni, podporni zidovi

Izvleček

V diplomski nalogi sem obravnaval načine gradnje strmih brežin. Za dolgotrajno stabilnost in uporabnost strmih brežin je potrebno zagotoviti dodatne podporne sile, ki zagotavljajo varno gradnjo in uporabo brežin. Za varno gradnjo in uporabo strmih brežin sem predstavil štiri možne variante podpornih konstrukcij. Obravnaval sem dve vrste težnostnih podpornih konstrukcij ter podporne konstrukcije, ki so izvedene s pomočjo armiranja zemljin. Težnostni podporni konstrukciji sta armirano betonski podporni zid in podporni zid izveden z gabioni, podporni konstrukciji iz armiranih zemljin pa sta armirana brežina z zatravljenim čelom brežine in armirana brežina s čelom iz betonskih blokov. Vse štiri variante sem predstavil in opisal ter jih obravnaval v različnih primerih gradnje. Računske primere sem računal s pomočjo nemških smernic (EBGEO), priporočil za izračun stabilnosti podpornih konstrukcij iz gabionov, ki so zasnovani na britanskem standardu BS8002 ter z Evrokodom 7. Pri računskih primerih sem obravnaval možne lokalne in globalne porušitve ter pomike brežin. Kontrolo pomikov sem izvedel z računalniškim programom PLAXIS. Dobljene rezultate sem primerjal ter podal svoje zaključno mnenje za posamezen način gradnje strmih brežin.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:

Author: ADNAN ĐULSIĆ

Supervisor: Dr. Janko Logar, Assoc. Prof. Civ. Eng.

Co-Supervisor: Matjaž Brezavšček, Civ.Eng.

Title: Construction of embankments with steep slopes

Notes: 68 p., 14 tab., 59 fig., 94 eq.

Key words: steep slope, reinforced earth, reinforced slope, gabions, retaining structural walls

Abstract

The subject of this degree is different methods for construction of steep slopes. For long-term stability and usefulness of the steep slopes it is necessary to provide additional support forces to ensure safe construction and use of banks. For the safe construction and use of steep slopes, I presented four possible variants of the retaining structures. I considered two types of gravity retaining structures and retaining structures that rely on the reinforcement of soil. The studied gravity retaining structures were the reinforced concrete gravity wall and gabions, whereas retaining structures of reinforced soil included in thesis were the green reinforced slope with forehead made from layer of humus and reinforced slope with forehead made of concrete blocks. All four variants are presented, described and used in various practical examples. Static analysis of all structures were made according to the German guidelines (EBGEO), British reference guide for designing of mass gravity gabion walls based on British standard BS8002 and the Eurocode 7 for concrete gravity wall. For all cases relevant ultimate limit states and global stability were checked. The serviceability limit state (control of displacements) was analysed by FEM using Plaxis code. The results were compared and discussed. Final remarks on individual type of construction of embankment with steep slopes are given.

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ADNAN ĐULSIĆ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»NAČINI GRADNJE STRMIH BREŽIN«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 15.03.2010

Adnan Đulsić

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.137(043.2)
Avtor: ADNAN ĐULSIĆ
Mentor: izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž.grad.
Somentor: Matjaž Brezavšček, univ. dipl. inž.grad.
Naslov: Gradnja strmih brežin
Obseg in oprema: 68 str., 14 pregl., 59 sl., 94 en.
Ključne besede: strme brežine, armirane zemljine, armirane brežine, gabioni, podporni zidovi

Izvleček

V diplomski nalogi sem obravnaval načine gradnje strmih brežin. Za dolgotrajno stabilnost in uporabnost strmih brežin je potrebno zagotoviti dodatne podporne sile, ki zagotavljajo varno gradnjo in uporabo brežin. Za varno gradnjo in uporabo strmih brežin sem predstavil štiri možne variante podpornih konstrukcij. Obravnaval sem dve vrste težnostnih podpornih konstrukcij ter podporne konstrukcije, ki so izvedene s pomočjo armiranja zemljin. Težnostni podporni konstrukciji sta armirano betonski podporni zid in podporni zid izveden z gabioni, podporni konstrukciji iz armiranih zemljin pa sta armirana brežina z zatravljenim čelom brežine in armirana brežina s čelom iz betonskih blokov. Vse štiri variante sem predstavil in opisal ter jih obravnaval v različnih primerih gradnje. Računske primere sem računal s pomočjo nemških smernic (EBGEO), priporočil za izračun stabilnosti podpornih konstrukcij iz gabionov, ki so zasnovani na britanskem standardu BS8002 ter z Evrokodom 7. Pri računskih primerih sem obravnaval možne lokalne in globalne porušitve ter pomike brežin. Kontrolo pomikov sem izvedel z računalniškim programom PLAXIS. Dobljene rezultate sem primerjal ter podal svoje zaključno mnenje za posamezen način gradnje strmih brežin.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:

Author: ADNAN ĐULSIĆ

Supervisor: Dr. Janko Logar, Assoc. Prof. Civ. Eng.

Co-Supervisor: Matjaž Brezavšček, Civ.Eng.

Title: Construction of embankments with steep slopes

Notes: 68 p., 14 tab., 59 fig., 94 eq.

Key words: steep slope, reinforced earth, reinforced slope, gabions, retaining structural walls

Abstract

The subject of this degree is different methods for construction of steep slopes. For long-term stability and usefulness of the steep slopes it is necessary to provide additional support forces to ensure safe construction and use of banks. For the safe construction and use of steep slopes, I presented four possible variants of the retaining structures. I considered two types of gravity retaining structures and retaining structures that rely on the reinforcement of soil. The studied gravity retaining structures were the reinforced concrete gravity wall and gabions, whereas retaining structures of reinforced soil included in thesis were the green reinforced slope with forehead made from layer of humus and reinforced slope with forehead made of concrete blocks. All four variants are presented, described and used in various practical examples. Static analysis of all structures were made according to the German guidelines (EBGEO), British reference guide for designing of mass gravity gabion walls based on British standard BS8002 and the Eurocode 7 for concrete gravity wall. For all cases relevant ultimate limit states and global stability were checked. The serviceability limit state (control of displacements) was analysed by FEM using Plaxis code. The results were compared and discussed. Final remarks on individual type of construction of embankment with steep slopes are given.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. Janku Logarju in somentorju univ.dipl.ing. grad. Matjažu Brezavščku za pomoč, razumevanje in potrpežljivost pri nastajanju diplomske naloge ter podjetjem Provia d.o.o. in Belmont d.o.o..

Ob tej priložnosti bi se rad zahvalil tudi staršem in ostalim bližnjim za vso podporo skozi ves čas šolanja.

KAZALO VSEBINE

KAZALO VSEBINE	VII
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	X
KAZALO PRILOG	XII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XIV
SLOVAR STROKOVNIH BESED IN TUJK.....	XV
1 UVOD	1
2 BREŽINE S STRMIM NAKLONOM.....	2
2.1. Splošno	2
3 ARMIRANE ZEMLJINE.....	4
3.1. Splošno	4
3.2. Zgodovina.....	4
3.3. Princip delovanja.....	7
3.4. Komponente armiranih zemljin	9
3.4.1. Zemljina.....	9
3.4.2. Ojačitveni elementi	10
3.4.3. Čelni elementi.....	13
4 ARMIRANE BREŽINE.....	14
4.1. Splošno	14
4.1.1. Opis in vrste	14
4.1.2. Vpliv zaledne talne vode, meteorne vode in erozije na armirane brežine.....	15
4.2. Armirane brežine z zatravljenim čelom	17
4.2.1. Armirane brežine z zatravljenim čelom z nagibom čela manjšim od 45°	18
4.2.2. Armirane brežine z zatravljenim čelom z nagibom čela večjim od 45°	20
4.3. Armirane brežine s čelom iz prefabriciranih elementov (od 70° do 90°).....	21
4.3.1. Čelni elementi.....	22
4.3.1.1. Prefabricirani betonski bloki.....	22
4.3.1.2. Segmentni montažni elementi.....	23
5 TEŽNOSTNE PODPORNE KONSTRUKCIJE	25

5.1.	Kamniti gabioni	25
5.1.1.	Splošno.....	25
5.2.	Armirano betonski podporni zidovi.....	28
5.2.1.	Splošno.....	28
6	PREDSTAVITEV PROJEKTA IN SPREMEMB	29
6.1.	Opis izhodiščnega projekta.....	29
6.2.	Predstavitev variant izvedbe brežine s strmim naklonom	31
7	RAČUNSKI DEL.....	35
7.1.	Splošno	35
7.2.	Označevanje variant v prilogi	36
7.3.	Računski model	37
7.3.1.	Računski model za armirano brežino z zatravljenim čelom – varianta A ter za armirano brežino s čelom iz prefabriciranih elementov – varianta B	37
7.3.1.1.	Geometrija.....	38
7.3.1.2.	Vplivi.....	39
7.3.1.3.	Statične kontrole	40
7.3.2.	Računski model za težnostni podporni zid iz gabionov – varianta C.....	50
7.3.2.1.	Geometrija.....	50
7.3.2.2.	Vplivi.....	50
7.3.2.3.	Statične kontrole	53
7.3.3.	Računski model za armirano betonski podporni zid – varianta D.....	57
7.3.3.1.	Geometrija.....	58
7.3.3.2.	Vplivi.....	58
7.3.3.3.	Statične kontrole	60
8	ZAKLJUČEK	65
VIRI		68

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Nagib brežine za posamezne variante gradnje strmih brežin	35
Preglednica 2: Dodatni varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto A	41
Preglednica 3: Dodatni varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto B	41
Preglednica 4: Projektna nosilnost in projektna obremenitev temeljnih tal za računske primere variante A	43
Preglednica 5: Projektna nosilnost in projektna obremenitev temeljnih tal za računske primere variante B	43
Preglednica 6: Izbrana projektna natezna nosilnost geomrež za računske primere variante A	46
Preglednica 7: Izbrana projektna natezna nosilnost geomrež za računske primere variante B	46
Preglednica 8: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto A	49
Preglednica 9: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto B	49
Preglednica 9: Varnostni faktorji proti prevrnitvi glede na posamezno varianto C	54
Preglednica 10: Varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto C	55
Preglednica 11: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto C	57
Preglednica 12: Dodatni varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto D	60
Preglednica 13: Dodatni varnostni faktorji proti prevrnitvi glede na posamezno varianto D	62
Preglednica 14: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto B	63

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz brežine.	2
Slika 2: Možnosti porušitve konstrukcije.	3
Slika 3: Zemljina brez ojačitve.	5
Slika 4: Zemljina z ojačitvijo.	5
Slika 5: Agar-Quf Ziggurat.	5
Slika 6: Glinene opeke ojačane s tkanimi preprogami iz trstja.	5
Slika 7: Uporaba lesenih brun za gradnjo podpornega zidu.	6
Slika 8: Geomreža.	7
Slika 9: Strižna nosilnost v delcu zemljine brez ojačitve.	8
Slika 10: Strižna nosilnost v delcu zemljine z ojačitvijo.	8
Slika 11: Geotekstili.	10
Slika 12: Geomreža.	10
Slika 13: Primer uporabe jeklenih trakov.	11
Slika 14: Primer varjene geomreže.	11
Slika 15: Primer ekstrudirane geomreže.	11
Slika 16: Shematski prikaz zaklinjana zrn zemljine in geomreže.	12
Slika 17: Primer učinka zaklinjanja.	12
Slika 18: Primer izvedbe armirane brežine s čelnimi (betonskimi) elementi.	15
Slika 19: Primer izvedbe armirane brežine z zatravljenim čelom.	15
Slika 20: Primer ureditve odvodne in drenaže podporne konstrukcije iz armirane brežine.	16
Slika 21: Shematski prikaz armirane brežine z zatravljenim čelom.	17
Slika 22: Armirana brežina z naklonom večjim.	17
Slika 23: Armirana brežina z naklonom manjšim od 45° (ang. shallow slope).	17
Slika 24: Primer vgradnje sloja humusa.	18
Slika 25: Primer vgradnje sloja humusa.	18
Slika 26: Armirana brežina z naklonom manjšim od 45.	18
Slika 27: Primer uporabe protierozijskega platna.	19
Slika 28: Shematski prikaz sistema ovijanja čela brežine – (ang. wrap around) z uporabo kovinskih armaturnih mrež, krivljenih pod določenim kotom.	20
Slika 29: Izdelava strme brežine z ovijanjem čela s pomočjo montažne čelne podpore.	20

Slika 30: Kovinska armaturna mreža, krivljena pod določenim kotom.	20
Slika 31: Shematski prikaz armirane brežine z čelom iz prebafriciranimi elementi.	21
Slika 32: Primer izvedbe armirane brežine z votlimi betonskimi bloki.	22
Slika 33: Primer betonskih blokov.	23
Slika 34: Stik med geomrežo in betonskim elementom.	23
Slika 35: Montažni segmenti elementi.	23
Slika 36: Stik montažnih segmentnih elementov in ojačitve v zemljini.	24
Slika 37: Podporni zid iz kamnitih gabionov.	25
Slika 38: Uporaba gabionov v rečnih strugah.	25
Slika 39: Košare za gabione iz varjenih mrež.	26
Slika 40: Košare za gabione iz pletenih mrež.	26
Slika 41: Shematski prikaz nagiba gabionov.	28
Slika 42: Predvideno nadvišanje vkopne brežine z armirano betonskim podpornim zidom.	30
Slika 43: Alternativna varianta izvedba brežine po sistemu armirane zemljine.	30
Slika 44: Brežina po sistemu armirane zemljine v času gradnje.	31
Slika 45: Brežina po sistemu armirane zemljine po izvedbi.	31
Slika 46: Armirana brežina z zatravljenim čelom, varianta A.	32
Slika 47: Armirana brežina z betonskimi bloki, varianta B.	32
Slika 48: Strma brežina s kamnitimi gabioni, varianta C.	32
Slika 49: Klasična varianta armirano betonski podporni zid.	33
Slika 50: Prikaz spremembe oblike krone nasipa glede na dejansko stanje in računski model.	33
Slika 51: Geometrija variante A.	38
Slika 52: Geometrija variante B.	38
Slika 53: Shematski prikaz sil v ojačani zemljini.	41
Slika 54: Prikaz lege rezultante.	42
Slika 55: Shematski prikaz predpostavljene porušne drsine.	45
Slika 56: Prikaz vpliva sil na čelo brežine.	47
Slika 57: Geometrija podpornega zidu iz gabionov.	50
Slika 58: Geometrija variante D.	58
Slika 59: Razmerje med cenami posameznih variant.	67

KAZALO PRILOG

Priloga PA11:	izračun za računski primer A11
Priloga PA11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A11
Priloga PA12:	izračun za računski primer A12
Priloga PA12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A12
Priloga PA21:	izračun za računski primer A21
Priloga PA21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A21
Priloga PA22:	izračun za računski primer A22
Priloga PA22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A22
Priloga PB11:	izračun za računski primer B11
Priloga PB11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B11
Priloga PB12:	izračun za računski primer B12
Priloga PB12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B12
Priloga PB21:	izračun za računski primer B21
Priloga PB21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B21
Priloga PB22:	izračun za računski primer B22
Priloga PB22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B22
Priloga PC11:	izračun za računski primer C11
Priloga PC11/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C11
Priloga PC11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C11
Priloga PC12:	izračun za računski primer C12
Priloga PC12/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C12
Priloga PC12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C12
Priloga PC21:	izračun za računski primer C21
Priloga PC21/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C21
Priloga PC21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C21
Priloga PC22:	izračun za računski primer C22
Priloga PC22/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C22
Priloga PC22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C22
Priloga PD11:	izračun za računski primer D11
Priloga PD11/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D11

Priloga PD11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D11
Priloga PD12:	izračun za računski primer D12
Priloga PD12/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D12
Priloga PD12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D12
Priloga PD21:	izračun za računski primer D21
Priloga PD21/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D21
Priloga PD21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D21
Priloga PD22:	izračun za računski primer D22
Priloga PD22/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D22
Priloga PD22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D22

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

EBGEO	nemške smernice za armaturne geosintetike
H	višina brežine
B	širina temelja oziroma globina armiranja zemljine
$E_{ag,k}$	aktivni zemeljski pritisk
$K_{ah,k}$	koeficient aktivnega zemeljskega pritiska
φ	strižni kot zemljine
G	lastna teža konstrukcije
T_d	projektna vrednost obremenitve obravnavanega prereza
$R_{t,d}$	projektna vrednost odpornosti proti zdrsu zemljine
M_k	rezultirajoči moment vseh sil na središče temeljne ploskve
$N_{G,k}$	rezultanta normalnih sil na temeljno ploskev
N_d	projektna obremenitev temeljnih tal
$R_{n,d}$	projektna nosilnost temeljnih tal
$R_{B,d}$	projektna nosilnost armaturnega geosintetika
$f_{sg,k}$	povprečna vrednost koeficienta trenja med zemljino in armaturnim geosintetikom
$e_{\text{čela}}$	vpliv pasivnega zemeljskega pritiska na posamezni element
η_g	koeficient deformabilnosti čela brežine
l_v	razmak med armaturnimi geosintetiki
$E_{\text{čela}}$	rezultanta zemeljskega pritiska na posamezni element
l_i	potrebna sidrna dolžina i-te plasti
ν	Poissonov količnik
E	elastični modul materiala

SLOVAR STROKOVNIH BESED IN TUJK

shallow slope brežine, ki so izvedene z armiranjem brežine in imajo naklon brežine manjši od 45° (položne armirane brežine),

steep slope brežine, ki so izvedene z armiranjem brežine in imajo naklon brežine večjim od 45° (strme brežine),

wrap around metoda zaščite čela brežine z ovijanjem posameznih plasti čela brežine.

1 Uvod

Zaradi vse strožjih okoljskih zahtev glede poseganja v naravo na področju gradnje cest je potrebno zagotoviti čim bolj naravne rešitve. Pri diplomski nalogi sem se posvetil področju gradnje strmih brežin.

Namen diplomske naloge je analizirati posamezne rešitve za gradnjo nasipov s strmimi brežinami in ugotoviti katera rešitev je primerna v različnih pogojih (gradnje, uporabe, vzdrževanja, itd). Obravnaval bom rešitve, ki vključujejo armirane brežine, kombinacijo armirane brežine z betonskimi bloki ter kamnite gabione s klasično rešitvijo (armirano betonska podporna konstrukcija), ki je v današnji praksi najbolj uporabljena. Rešitve sem analiziral ter jih v primerjal med sabo. Primerjal sem jih na področju stroškov, vzdrževanja in ekonomičnosti. Pri analizi sem zaradi pomanjkanja slovenskih standardov na tem področju uporabil Evrokod 7 in nemške smernice za armirane brežine.

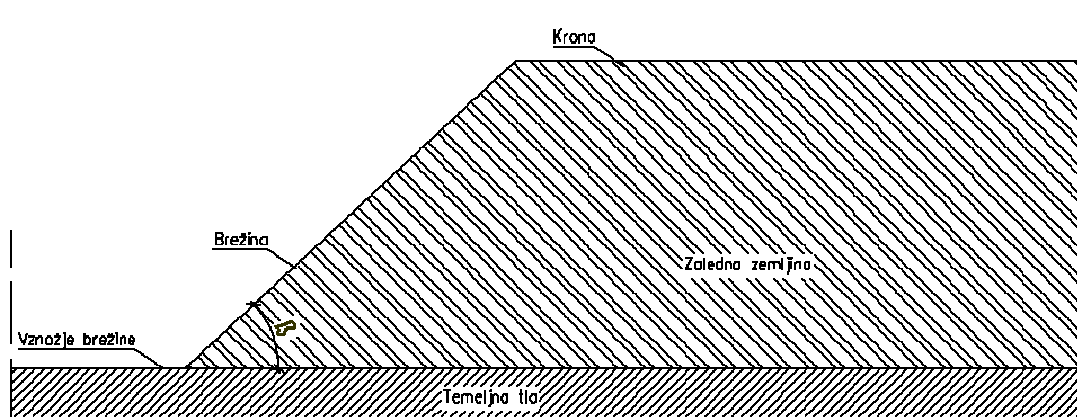
Osnova za analizo je bil projekt za preprojektiranje armirano betonskega podpornega zidu v armirani brežino, ki je bil izveden na avtocesti A-2 Predor Karavanke - Obrežje odsek Vrba - Peračica, pri kraju Lesce. Preprojektiranje se je izvedlo zaradi okoljskih zahtev (izgled konstrukcije). Projekt in spremembe, ki sem jih naredil za diplomsko nalogo, so opisane v poglavju 6.

Ker smo v konkretnem projektu ugotovili, da je alternativna rešitev z armirano zemljino veliko bolj ugodna tako okoljskega vidika kot tudi iz ekonomskega, sem se odločil primerjati omenjeni rešitvi izvedbe v različnih pogojih gradnje. Obravnaval sem še druge podobne možnosti izvedbe za gradnjo podpornih konstrukcij v različnih pogojih, da bi poiskal optimalno varianto za posamezne pogoje.

V zadnjem poglavju sem podal zaključke glede rezultatov omenjenih rešitev in oceno stroškov za posamezno varianto.

2 Brežine s strmim naklonom

2.1. Splošno



Slika 1: Shematski prikaz brežine.

Tudi če temeljna tla zagotavljajo zahtevano nosilnost za gradnjo brežin, so lahko brežine nestabilne pri želenem naklonu, kar lahko pripelje do porušitve brežine oziroma brežine ne izpolnjujejo zahtevanih varnostnih faktorjev. Pri novogradnji lahko dosežemo želeni naklon brežine z uporabo zasipnega materiala z boljšimi karakteristikami, pri obstoječih brežinah pa je tak poseg preobsežen in je redko kdaj izvajan. Za vsak material, ki ga uporabljamo za gradnjo brežin obstaja maksimalni naklon (β_{lim}) brežine, pri katerem lahko zagotovimo minimalni zahtevani varnostni faktor. Za primer nekohezivne in suhe zemljine je maksimalni naklon enak strižnemu kotu zemljine (φ), ki je uporabljen v brežini.

$$\beta_{lim}=\varphi$$

Brežine z naklonom večjim od strižnega kota, so brežine s strmim naklonom. Da lahko zgradimo brežine, ki imajo strmi naklon, je potrebno zagotoviti dodatne reakcije za vzdrževanje ravnotežja. Dodatne reakcije za vzdrževanje ravnotežja pa zagotavljamo s podpornimi konstrukcijami. Podporne konstrukcije delimo na težnostne, upogibne ali vpete podporne konstrukcije ter na armirane zemljine.

Težnostne podporne konstrukcije so:

- kamniti podporni zidovi,
- kamnite zložbe,
- armirano betonski podporni zidovi,
- kašte in
- gabioni.

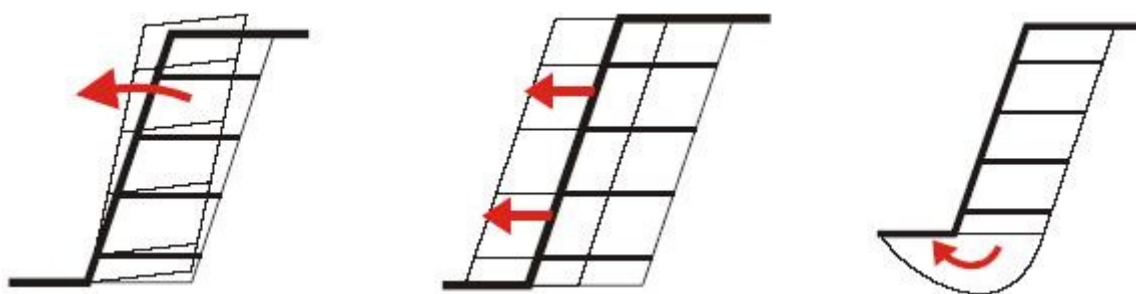
Upogibne podporne konstrukcije so:

- pilotna stena,
- diafragma,
- zagatna stena in
- berlinska stena (vertikalni nosilci z vmesnimi polnili).

Armirane zemljine pa so:

- fasadne armirano betonske plošče s sidrnimi trakovi ali geomrežami in
- geomreže ali geotekstili brez fasadnih elementov.

Ne glede na vrsto podporne konstrukcije moramo zagotoviti lokalno stabilnost konstrukcije (prevrnitev, zdrs) in globalno stabilnost okolice (porušitev temeljnih tal).



Slika 2: Možnosti porušitve konstrukcije.

Zaradi vse večje aktualnosti za rešitve, ki so prijazne okolju sem v svoji diplomski nalogi obravnaval alternativne rešitve in sicer gabione in armirane zemljine ter jih primerjal z najbolj pogosto uporabljeno rešitvijo armirano betonskim podpornim zidom.

3 Armirane zemljine

3.1. Splošno

Armirana zemljina je kompozitni material, sestavljen iz velike količine cenovno ugodnega materiala (zemljine), ki ima določeno strižno ter tlačno nosilnost, zelo majhno natezno nosilnost in relativno majhne količine ojačitvenega dražjega materiala z visoko natezno nosilnostjo – ojačitev. S ustreznim kombiniranjem zemljine in ojačitve dosežemo primerne karakteristike kompozita za konkretne primere uporabe. Način sodelovanja med ojačitvenim materialom in zemljino lahko primerjamo s sodelovanjem armature in betona pri armiranem betonu.

Karakteristike zemljin, ki ne zadostijo zahtevam glede varnosti, potrebujejo ojačitve predvsem zaradi:

- dodatne oziroma prevelike obtežbe na zemljino (npr. gradnja novih tras – prometnice, železnice,...),
- preprečevanja zdrsa zemljine oziroma erozijske zaščite,
- vpliva zemeljskega pritiska ter
- hidrostatičnega in hidrodinamičnega vpliva.

S konceptom armirane zemljine lahko izvedemo različne konstrukcije:

- armiranje brežin nasipa oziroma vkopa,
- podporne konstrukcije,
- izboljšane nosilne plasti pri gradnji prometnic in pri gradnji železnikih prog,
- gradnja nasipov na zemljini z nizko nosilnostjo,
- izboljšanje nosilnosti temeljnih tal ter
- gradnjo objektov na blatnih jezerih.

3.2. Zgodovina

Koncept armirane zemljine je človek razvil skozi stoletja s preprosto idejo dodajanja ojačitev v zemljino na način, da se izboljšajo karakteristike zemljine (Slika 3 in Slika 4).

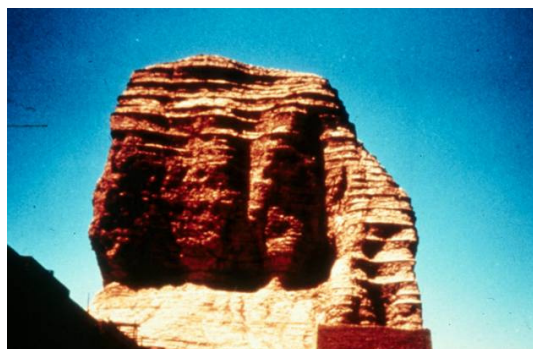


Slika 3: Zemljina brez ojačitve.



Slika 4: Zemljina z ojačitvijo.

To je starodaven koncept gradnje. Prvi primeri uporabe segajo v obdobje pred 3000-letji, v čas Babiloncev. Babilonci so za ojačitve svojih »zigguratov« uporabljali prepletene palmove veje. Agar-Quf Ziggurat (Slika 5) je bil narejen iz glinene opeke, ojačane s tkanimi preprogami iz trsja (Slika 6). Tkane preproge so bile položene horizontalno na plast peska in gramoza na vertikalni oddaljenosti od 0,5 m do 2,0 m. Objekt je bil visok preko 80 m.

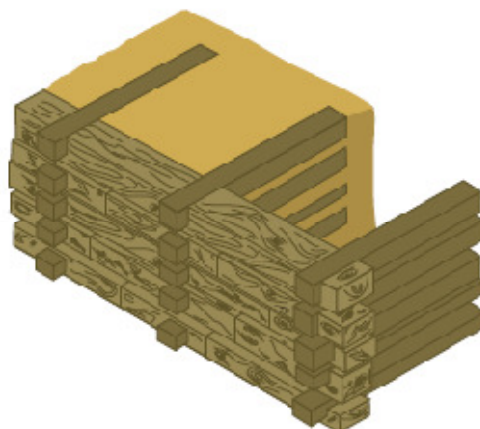


Slika 5: Agar-Quf Ziggurat.



Slika 6: Glinene opeke ojačane s tkanimi preprogami iz trstja.

Rimljani so uporabljali kar nekaj tipov armirane zemljine. Med drugim so znani primeri uporabe lesenih brun v zemljini, ki so postavljeni pravokotno na čelo zemljine za graditev podpornih konstrukcij (Slika 7).

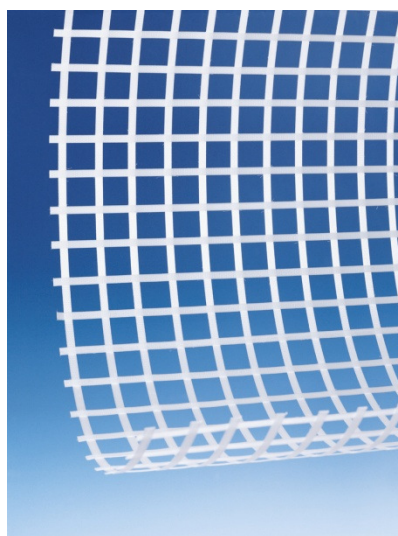


Slika 7: Uporaba lesenih brun za gradnjo podpornega zidu.

Nekateri odseki Kitajskega zidu, ki je bil zgrajen pred 2000 leti, vsebujejo koncept armirane zemljine in sicer je bil ta koncept uporabljen v primeru uporabe gline in gramoza, ki sta bila ojačana s vejami tamariske.

Polkovnik Pasley je v letu 1822 predstavil britanski vojski koncept armiranja zemljin z demonstracijo serije poskusov, da se lahko bočni pritisk na podporne zidove zmanjša, če je zaledje armirano s horizontalnimi plastmi lesenih rastlin, platna itd.

V dolgoletni tradiciji uporabe armiranih zemljin je bil vedno problem predvsem omejena trajnost naravnih materialov, ki so se uporabljali za ojačitev zemljine. Velik preskok na področju armiranih zemljin pa se je zgodil z uporabo armaturnih geosintetikov (kot primer armaturnega geosintetika je prikazana na Sliki 8 geomreža). Proizvodi iz umetnih materialov (polipropilena, poliestra in podobno), ki so posebej razviti za armiranje zemljine, zagotavljajo tovarniško kontrolo tehničnih karakteristik, enotno delovanje in zelo dolgo trajnost. Uporaba armaturnih geosintetikov omogoča konstrukcijam večjo zanesljivost in varnejšo ter ekonomično gradnjo v primerjavi z uporabo naravnih materialov za armiranje zemljin.



Slika 8: Geomreža.

3.3. Princip delovanja

Stabilnost zemljine zagotavljata strižna in tlačna nosilnost zemljine. Na strižno nosilnost zemljine vplivajo sledeči faktorji:

- trenje med zrn,
- oblika zrn in
- zbitosti zemljine.

Strižne lastnosti zemljine izboljšamo z ojačitveno plastjo, na način, da ta združi delovanje zgoraj naštetih lastnosti. Ojačitev je postavljena v smeri nateznih napetosti oziroma obremenitve_tako, da deformacije v zemljini ustvarijo natezno silo v ojačitvi. Posledično natezna sila v ojačitvi »reagira« in izboljša lastnost kompozita z zmanjšanjem sil v zemljini, ki povzročajo porušitev oziroma povečanjem sil, ki prispevajo k nosilnosti zemljine, kar lahko predstavimo s pomočjo direktnega strižnega preskusa (Slika 9 in Slika 10). Tlačne in natezne napetosti ustvarijo razvoj strižne ploskve skozi zemljino. Vodoravno silo, ki je posledica obtežbe (P_s), prevzame strižna odpornost zemljine.

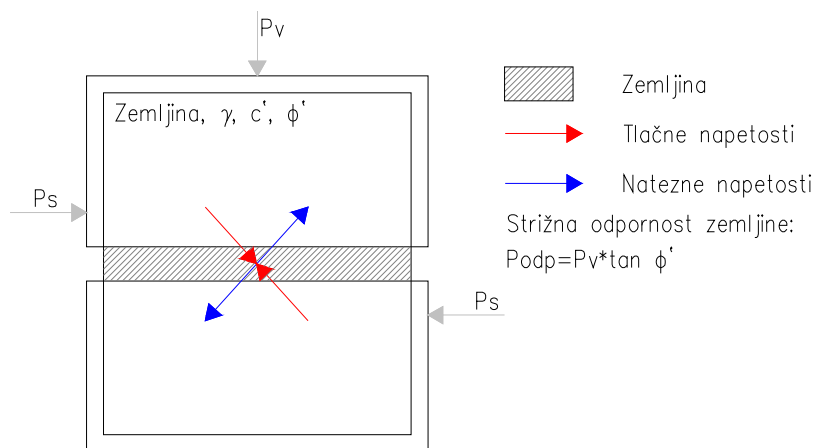
$$P_{odp} = P_v \cdot \tan\varphi \quad (1)$$

Kjer je:

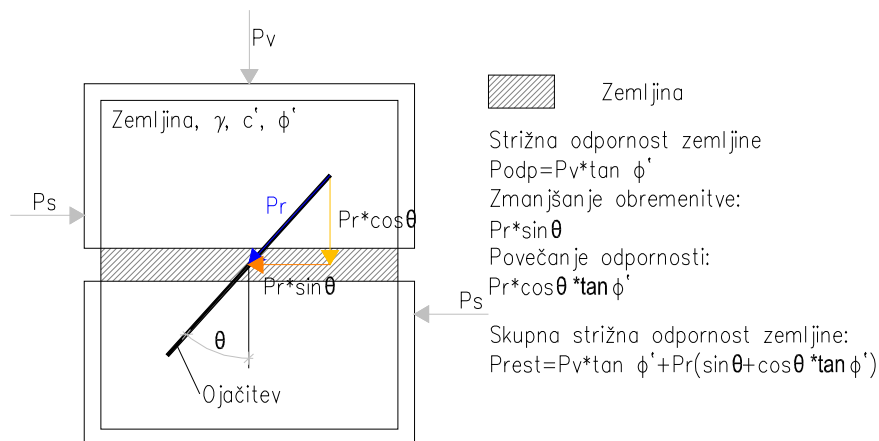
P_{odp}strižna odpornost zemljine

P_vtlačna sila (obremenitev)

ϕstrižni kot zemljine



Slika 9: Strižna nosilnost v delcu zemljine brez ojačitve.



Slika 10: Strižna nosilnost v delcu zemljine z ojačitvijo.

Strižna deformacija v zemljini povzroči, da se razvije natezna sila v ojačitvi P_r (Slika 9).

Posledica sile v ojačitvi (P_r) je dvojna:

- komponenta sile v ojačitvi P_r vzdolž strižne površine $P_r \cdot \sin \theta$ zmanjša obremenitev,
- komponenta sile v ojačitvi P_r , pravokotno na strižno ravnino $P_r \cdot \cos \theta$ poveča tlak v zemljini skozi strižno ravnino in pri tem poveča trenje med zrni, kar vpliva na strižno nosilnost zemljine.

Strižna odpornost ojačane zemljine znaša:

$$P_{\text{odp}} = P_v \cdot \tan \varphi + P_r \cdot (\sin \theta + \cos \theta \cdot \tan \varphi) \quad (2)$$

Kjer je:

P_{odp}strižna odpornost zemljine

P_vtlačna sila (obremenitev)

P_rsila v ojačitvi

φstrižni kot zemljine

Omenjeni koncepti vodijo do naslednjih ugotovitev v zvezi z armirano zemljino:

- ko je obtežba posledica gravitacijskih sil, ponavadi pride do mobilizacije nateznih napetosti v horizontalni smeri. Ker ojačitve najboljše prenašajo natezne obremenitve, jih postavljamo v horizontalnih plasteh.
- Togost ojačitve predstavlja razmerje med osno natezno silo ter deformacijo. Togost ojačitve določa, kolikšna je potrebna deformacija za mobilizacijo sil v ojačitvi.

3.4. Komponente armiranih zemljin

Sistem armirane zemljine sestavljata zemljina in ojačitveni element. V primeru gradnje armiranih brežin z naklonom večjim od 65° , je priporočljiva uporaba čelnih elementov (polni betonski bloki, segmentni betonski elementi), saj je zelo težko izvesti zatravitev na brežinah z naklonom večjim od 65° .

3.4.1. Zemljina

Karakteristike zemljine so definirane s prostorninsko težo (γ), strižnim kotom zemljine (φ) in kohezijo (c). Glede na že izvedene konstrukcije iz armiranih zemljin je v večini primerov ugoden material za gradnjo sistema armirane zemljine material frakcije 16/32 mm. Z uporabo materiala frakcije 16/32 mm dosežemo manjšo deformabilnost pobočja, vgradnja materiala pa je lažja, kar posledično pospeši čas gradnje in zmanjša stroške. Zbitost zemljine pri optimalno vlažnem materialu mora biti 95 %. Kohezivne zemljine morajo biti zbite v plasteh od 150 do 200 mm, nekohezivne zemljine pa od 200 do 300 mm. V primeru uporabe materiala s slabimi karakteristikami, je glede na že izvedene konstrukcije priporočeno nasutje boljšega materiala

ob ojačitvi v plasteh debeline minimalno 200 mm. Z uporabo lokalnega nasutja dosežemo večjo »zaklinjenost« med ojačitvijo in zemljino.

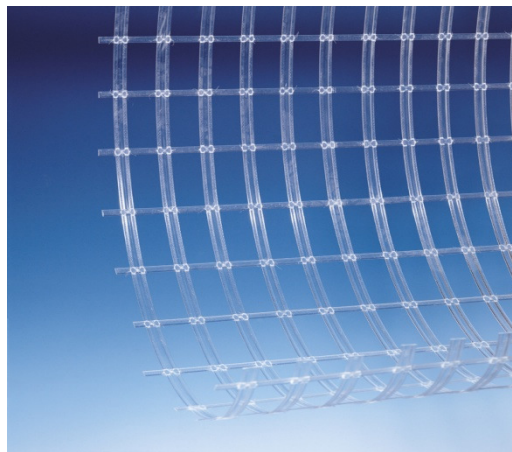
Posebno pozornost je potrebno posvetiti neprepustnim zemljinam v primeru da jih uporabljamo za zasipno zemljino z zagotovitvijo drenaže za območjem ojačitve. Drenažo lahko zagotovimo s slojem propustnega kamnitnega materiala ali pa z drenažno cevjo. Izvedba drenaže se kot tudi pri ostalih konstrukcijah priporoča tudi pri vseh konstrukcijah iz armirane zemljine (glej Sliko 20).

3.4.2. Ojačitveni elementi

Ojačitvene elemente ločimo na deformabilne in nedeformabilne oziroma manj deformabilne. Tipični predstavniki deformabilnih materialov, ki se uporabljajo za ojačitve, so armaturni geosintetiki. Armaturne geosintetike ločimo na geotekstile (Slika 11), geomreže (Slika 12) itd. Predstavniki nedeformabilnih ojačitev so jeklene ojačitve - jekleni trakovi (Slika 13).



Slika 11: Geotekstili.



Slika 12: Geomreža.

Prve armirane zemljine so bile izvedene z jeklenimi trakovi že v prejšnjem stoletju. Uporaba geosintetičnih materialov kot ojačitev se je začela v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Danes se v večini držav za ojačitev zemljine uporabljajo geosintetični materiali, saj je armiranje oziroma ojačanje zemljine z njimi lažje izvedljivo in cenejše v primerjavi z jeklenimi trakovi.

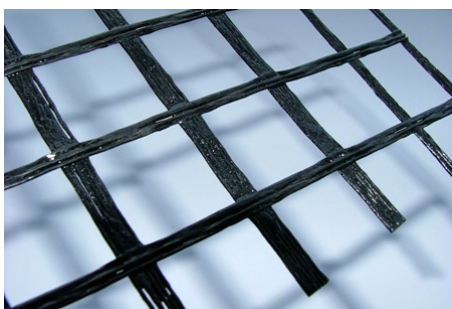


Slika 13: Primer uporabe jeklenih trakov.

Ker je v zadnjem času uporaba geosintetikov v velikem porastu, sem se pri svoji diplomski nalogi osredotočil na armaturne geosintetike, točneje na geomreže.

Geomreže

Ojačitvene geomreže, ki so lahko varjene (Slika 13) ali ekstrudirane (Slika 14), so izdelane iz visoko orientiranega ekstrudiranega polipropilenskega oziroma poliestrskega traku ali kot monofilament (ekstrudirani trakovi). Geomreže so lahko enoosne ali dvoosne. Dvoosne se večinoma uporabljajo za armiranje temeljnih tal, enoosne pa so primerne za vse druge namene uporabe. Geomreže iz poliestrskega traku se uporabljajo za armiranje brežin, saj imajo veliko večjo odpornost proti ultravijolični svetlobi kot polipropilenske geomreže, ki pa se večinoma uporabljajo za armiranje temeljnih tal oziroma tam, kjer lahko zagotovimo zadostno zaščito proti vplivom ultravijolične svetlobe.

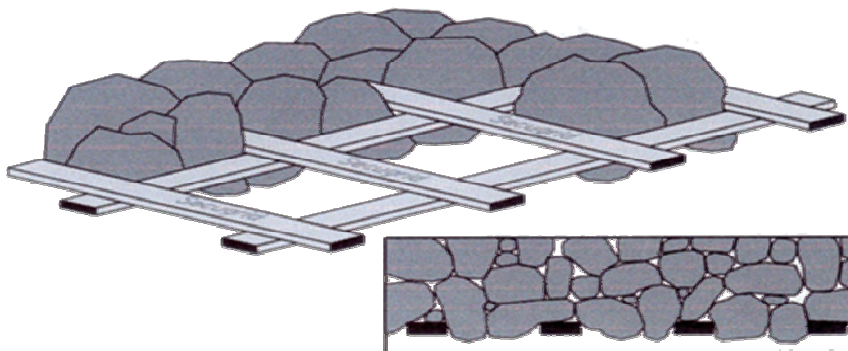


Slika 14: Primer varjene geomreže.

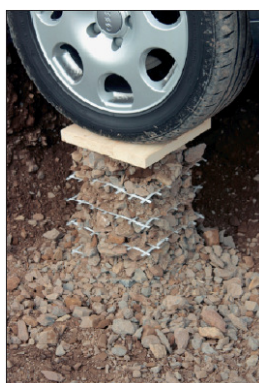


Slika 15: Primer ekstrudirane geomreže.

Geomreže prevzamejo natezne sile v zemljini in jih prenesejo na trakove z visoko natezno trdnostjo. Prerazporeditev sil se izvede preko dveh mehanizmov: zaklinjanja zrn zemljine med okenca v mreži (Slika 15), ki fizično preprečujejo bočno premikanje zrn v nevezanih granuliranih plasteh preko trenja med zemljino in strukturiranimi trakovi mreže. Okenca v geomreži omogočajo, da se zrna iz zgornje nasute plasti zaklinijo v odprtine in med rebra na trakovih mreže ter tako preprečijo premikanje nasipne plasti zaradi togosti in trdnosti reber. To zaklinjanje zemljinskih zrn v kombinaciji z visokim modulom oziroma togostjo kompozita zmanjšuje deformacije zemljine in zagotavlja integriteto konstrukcije ojačane z geomrežami. Primer zaklinjanja je prikaz na Sliki 16 in Sliki 17 primer avtomobila, ki stoji na stebru gramoza, armiranega z geomrežo.



Slika 16: Shematski prikaz zaklinjanja zrn zemljine in geomreže.



Slika 17: Primer učinka zaklinjanja.

Ena izmed prednosti geomrež v primerjavi z ostalimi materiali za ojačitve (naravni materiali, jekleni trakovi) je v obstojnosti. Življenjska doba geomrež je predvidoma več kot 100 let in je bila določena s pomočjo matematičnih modelov. Doba preizkušanj v praksi je še prekratka, da

bi nudila neposreden dokaz za dejansko življenjsko dobo geomrež.

3.4.3. Čelni elementi

Čelni elementi v kombinaciji z armirano zemljino se uporabljajo večinoma pri armiranih brežinah z naklonom večjim od 65° , saj je v tem primeru naravna ozelenitev brez namakanja redko uspešna. S čelnimi elementi, ki so opisani v nadaljevanju dosežemo izboljšanje stabilnosti in protierozijsko zaščito brežine ter lahko vplivamo na estetski izgled brežine (ozelenitev brežine). Čelni elementi so predstavljeni v podpoglavju armiranih brežin s čelom iz prefabriciranih elementov.

4 Armirane brežine

4.1. Splošno

4.1.1. Opis in vrste

Armirane brežine so definirane kot konstrukcije, ki so sestavni del nasipa ali vkopa iz zemljine s horizontalnim plastmi v zemljini, s katerimi izboljšamo stabilnost zemeljske konstrukcije. Z izboljšanjem karakteristik zemljine oziroma izboljšanjem stabilnosti dosežemo večji naklon brežine oziroma zmanjšamo vplivno območje brežine. Armirane brežine delimo na podskupini v odvisnosti od kota brežine in sicer na armirane brežine z naklonom do 65° ter armirane brežine z naklonom večjim od 65° . Glavna razlika med omenjenimi armiranimi brežinami je v oblikovanju čela brežine. Posamezne variante oblikovanja čela brežine so opisane v posameznih poglavjih.

Armirane brežine z naklonom do 65° delimo na podskupine in sicer na brežine z naklonom manjšim od 45° (ang. shallow slope) in na brežine z nagibom med 45° in 65° (ang. steep slope). Armirane brežine z naklonom večjim od 65° delimo glede na vrsto čelnega elementa, ki ga uporabljamo. Podporne konstrukcije iz armiranih brežin so veliko bolj fleksibilne kot klasični armirano betonski podporni zidovi in veliko bolj primerne za območja z majhno nosilnostjo temeljnih tal zaradi manjše lastne teže konstrukcije.

Pred začetkom gradnje armiranih brežin je potrebno pripraviti in zagotoviti zadostno nosilnost in togost temeljnih tal. Priprava temeljnih tal je odvisna od predvidene obtežbe, ki deluje na armirano brežino ter od sistema odvodnjavanja meteorne in zaledne vode od armirane brežine.



Slika 18: Primer izvedbe armirane brežine s čelnimi (betonskimi) elementi.



Slika 19: Primer izvedbe armirane brežine z zatravljenim čelom.

4.1.2. Vpliv zaledne talne vode, meteorne vode in erozije na armirane brežine

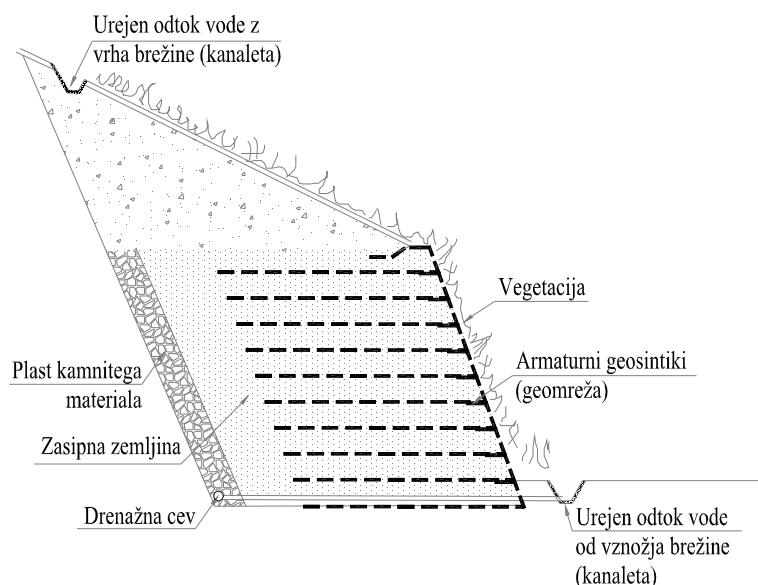
Ker pri podpornih konstrukcijah zgrajenih iz armiranih zemljin kot tudi pri vseh ostalih podpornih konstrukcijah ne želimo hidrostatičnih pritiskov, moramo zagotoviti površinsko odvodnjavanje meteorne vode in dreniranje zaledne vode.

Pri armiranih brežinah je potrebno posvetiti pozornost zaledni, talni in meteorni vodi ter eroziji. Vpliv hidrostatičnih sil, ki so posledica **talne vode** na zadnji del armirane brežine in nekontrolirano pronicanje vode v maso armirane brežine zmanjšuje stabilnost in posledično pride do porušitve konstrukcije. Pronicanje vode skozi armirane brežine lahko zmanjša trenje med ojačitvijo in zemljino, povzroča neugodne strujne sile. Hkrati pa lahko tudi ustvari dodaten vpliv erozije na čelu armirane brežine. Pri projektiranju zaščite pred talno vodo moramo upoštevati pretok talne vode, položaj drenaže, filtracijski sloj in detajle pri iztoku iz brežine. Drenažne sisteme se ponavadi postavlja na zaledju armirane zemljine. Na število in velikost iztokov iz drenaž vpliva geometrija brežine oziroma zaledne krone brežine, pričakovan pretok, predvidena časovna uporaba konstrukcije in druge posebne zahteve če obstajajo. Pri računski stabilnostni analizi brežine je potrebno upoštevati manjšo vrednost trenja med ojačitvijo in zemljino vzdolž drenažnih sistemov. Torej lahko pride do porušne drsine na območju omenjene ploskve med drenažnim sistemi in zemljino. Ojačitve morajo zagotavljati večjo prepustnost vode kot zasipni material, da ne pride do hidravličnega dviga

nad ojačitvijo. Posebej je potrebno posvetiti pozornost drenaži pri konstrukcijah, kjer je drenaža kritična za vzdrževanje stabilnosti nasipa.

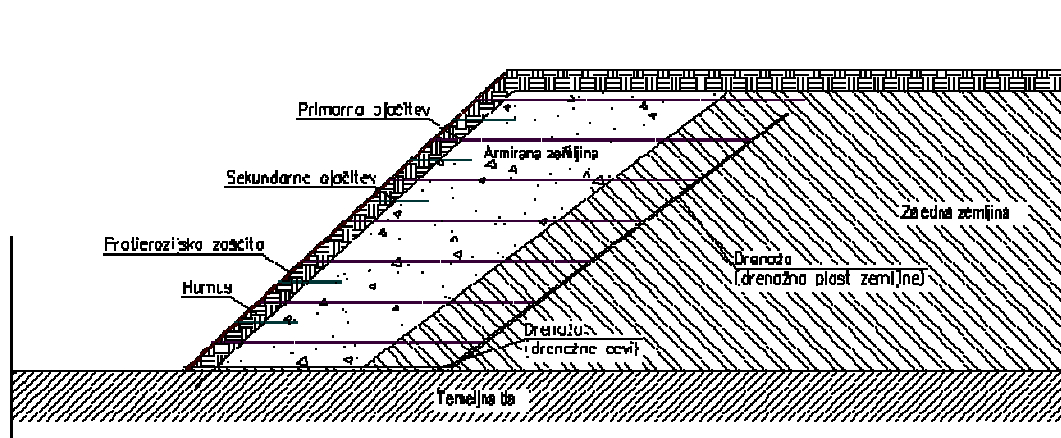
Stabilnost brežine je lahko ogrožena oziroma zmanjšana tudi zaradi vpliva erozije, ki je posledica **meteorne vode** in okoljskih vplivov. Erozijska lahko privede do zdrsa humusa ter posledično lokalne porušitve zasipne zemljine. Erozijska zaščita in vegetacija morata biti sestavni del vseh armiranih brežin.

Meteorno vodo je potrebno zbirati na kroni brežine ter jo potem odvajati k vznožju brežine, na primer s kanaletami ali z ureditvijo jarka s kamnometom itd. Z vegetacijo lahko dosežemo protierozijsko zaščito ali vsaj omejiti posledice vpliva erozije na čelu brežine. Zahteve so zelo odvisne od geografskih pogojev brežine (lega, položaj,...) in namembnosti brežine. Ukrepi za vegetacijo so različni glede na projekt. Izbira vegetacije je odvisna od geografskih pogojev, orientacije brežine, dostopnosti brežine itd. Izbira sistema vegetacije in erozijske zaščite je zelo pomembna, saj lahko z izbiro pravega sistema zmanjšamo stroške vzdrževanja in povečamo življenjsko dobo konstrukcije. Ko je postavljen sistem vegetacije in erozijske zaščite na čelu brežine, je potrebno določiti sistem vzdrževanja brežine. Vzdrževanje brežine zajema čiščenje brežine, čiščenje odtokov, in podobno. Iz praktičnih primerov je razvidno, da se zelo redko izvaja vzdrževanje brežine, zaradi s tem povezanih stroškov, dostopnosti do brežine in podobno.



Slika 20: Primer ureditve odvodne in drenaže podporne konstrukcije iz armirane brežine.

4.2. Armirane brežine z zatravljenim čelom

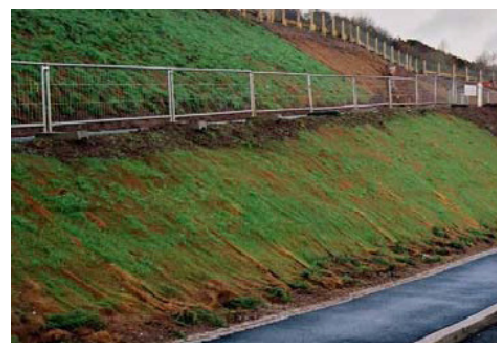


Slika 21: Shematski prikaz armirane brežine z zatravljenim čelom.

Armirane brežine z zatravljenim čelom so definirane kot brežine z naklonom manjšim od 65° . Delimo jih na brežine z naklonom manjšim od 45° (ang: shallow slopes) ter brežine z naklonom večjim od 45° (ang: steep slopes). Glavna razlika je v oblikovanju sistema čela brežine (Slika 22 in Slika 23). Čelo brežin z naklonom večjim od 45° in manjšim od 65° lahko izvedemo s dodatnimi ojačitvami na čelu brežine (ang.»wrap around« metoda). Čelo brežin z manjšim naklonom od 45° pa lahko izvedemo brez dodatnih ojačitev na čelu brežine.



Slika 22: Armirana brežina z naklonom večjim od 45° (ang. steep slope).



Slika 23: Armirana brežina z naklonom manjšim od 45° (ang. shallow slope).

Ozelenitev brežine izvedemo tako, da na čelni strani brežine v debelini 20 cm vgradimo rasten humusni sloj zemljine. V rastnem sloju so primešana semena željene vegetacije (trave, plezalke,...). Pred vgradnjo sloja humusa je potrebno položiti oziroma vgraditi zaščito pred vplivom erozije na sloj humusa na čelu brežine. V današnji praksi se večinoma uporabljajo kokosova platna, ki so se izkazala za zelo učinkovite pri varovanju sloja humusa pred erozijo.



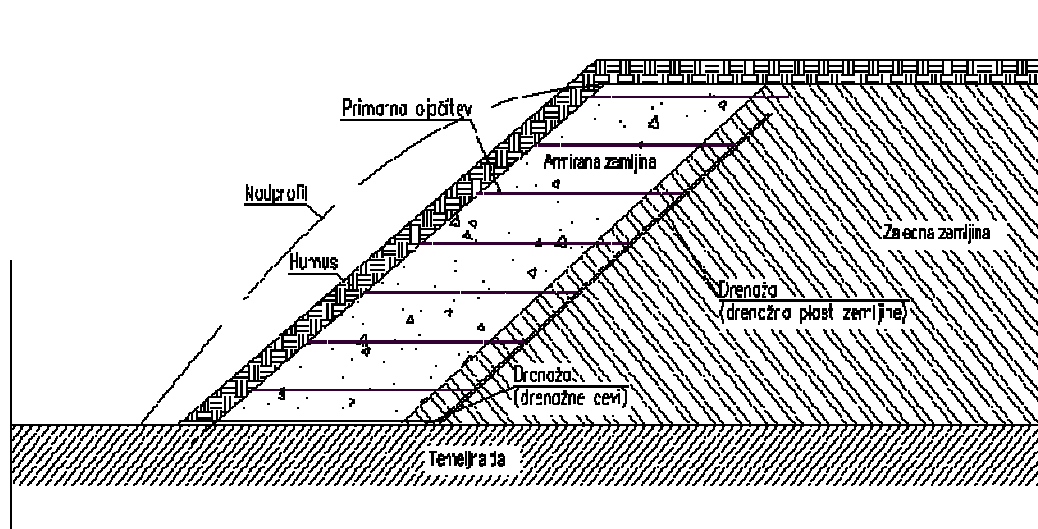
Slika 24: Primer vgradnje sloja humusa.



Slika 25: Primer vgradnje sloja humusa.

4.2.1. Armirane brežine z zatravljenim čelom z nagibom čela manjšim od 45°

V primeru, da ima čelo brežine naklon manjši od 45° in če so plasti ojačitev postavljene dovolj blizu, ni potrebna dodatna (sekundarna) ojačitev čela brežine. V tem primeru se ojačitev preprosto podaljša do čela brežine z naknadno namestitvijo površinske protierozijske zaščite, če je ta potrebna. Lahko pa izvedemo alternativno varianto z nadprofilom, ki ga kasneje odstranimo in uredimo brežino v predvidenem naklonu (Slika 26). Pri tem je treba paziti, da pri končnem oblikovanju brežine ne poškodujemo vgrajenih ojačitev. Pri izvedbi čela strmih brežin iz geosintetičnih materialov je treba izbrati materiale odporne na ultravijolično svetlobo.

Slika 26: Armirana brežina z naklonom manjšim od 45° .

Večina zemljin, ki jih uporabljamo za gradnjo armiranih brežin do naklona 45° in niso podvržena velikim erozijskim silam, bi morale biti po izgradnji poraščene, da bi zmanjšali posledice vpliva erozije zaradi padavin in odtoka meteorne vode po čelu brežine. Za trajno protierozijsko zaščito čela brežine lahko uporabimo platna iz različnih materialov (geotekstil, kokosova in podpobno), ki jih je potrebno stabilizirati oziroma pričvrstiti in zaščiti pred ultravijolično svetlobo. Zaščitno protierozijsko platno služi:

- zaščiti zemljine proti eroziji dokler še ni poraščeno čelo brežine,
- zmanjša prepustnost za zemljine z večjim koeficientom prepustnosti, kar prispeva k daljši obstojnosti vegetacijske plasti ter
- okrepi zgornjo plast vegetacijske plasti.

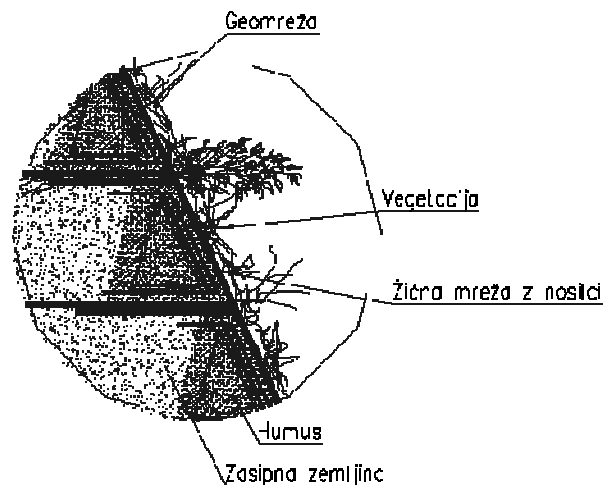
V današnji praksi se za protierozijsko platno večinoma uporabljajo kokosova platna (glej Sliko 27).



Slika 27: Primer uporabe protierozijskega platna.

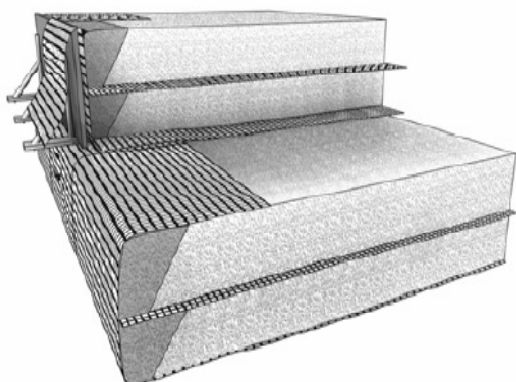
Za brežine, ki so izpostavljene večjim erozijskimi silam, kot pri odvodnjavanju vode in vodotokih po brežini, mora biti protierozijska zaščita sposobna prenesti omenjene vplive na brežino. V omenjenih primerih izvedemo urejene odtoke vode oziroma drenažo brežine (kanalete in podobno).

4.2.2. Armirane brežine z zatravljenim čelom z nagibom čela večjim od 45°



Slika 28: Shematski prikaz sistema ovijanja čela brežine – (ang. wrap around) z uporabo kovinskih armaturnih mrež, krivljenih pod določenim kotom.

Armirane brežine, ki imajo naklon brežine večji od 45°, ponavadi potrebujejo dodatno oporo med gradnjo brežine (Slika 29 in Slika 30). V primeru ovijanja čela brežine, se ponavadi uporablja montažne čelne podpore ali kovinske armaturne žične mreže, ki se po končani gradnji brežine ne odstranijo (Slika 30). Žične mreže se večinoma uporabljajo v primeru, če je razdalja med ojačitvami med 450 mm in 600 m. Ko čelo brežine ojačamo z geomrežami, je priporočena uporaba filtra iz kokosa, da zmanjša vpliv erozije na zaledno zemljino.

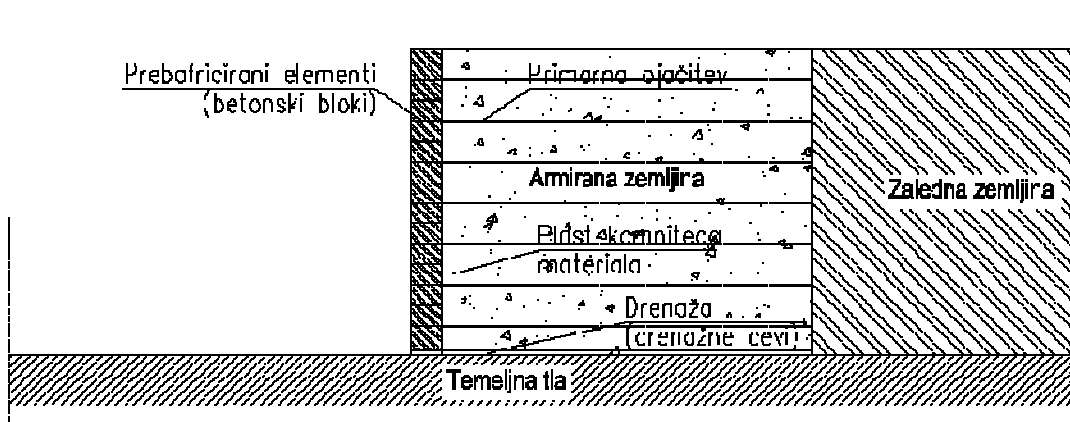


Slika 29: Izdelava strme brežine z ovijanjem čela s pomočjo montažne čelne podpore.



Slika 30: Kovinska armaturna mreža, krivljena pod določenim kotom.

4.3. Armirane brežine s čelom iz prefabriciranih elementov (od 70° do 90°)



Slika 31: Shematski prikaz armirane brežine z čelom iz prefabriciranimi elementi.

Armirane brežine s čelom iz prefabriciranih elementov so definirane kot brežine z naklonom brežine med 70° in 90°. Prefabricirane elemente lahko uporabimo tudi pri manjših nagibih brežine. Armirane brežine s čelom iz prefabriciranih elementov izvedemo tam, kjer je na primer zaradi odkupa zemlje, pomanjkanja prostora neekonomično oziroma ni tehnično izvedljiva gradnja armirane brežine z zatravljenim čelom. Z uporabo čelnih elementov povečamo naklon brežine in posledično zmanjšamo območje, ki ga potrebujemo za gradnjo brežin v naravnih pogojih.

Z uporabo geosintetičnih materialov za armiranje brežine je prišlo do napredka v obliki čelnih elementov v primerjavi z uporabo jeklenih trakov za izvedbo čela armirane brežine, kar vpliva na estetski izgled brežine. Pri jeklenih trakovih so se tipično uporabljali segmentni čelni elementi, pri geosintetičnih ojačitvah pa lahko poleg omenjenih elementov uporabljamo še alternativne elemente, ki so predstavljeni v naslednjih poglavjih.



Slika 32: Primer izvedbe armirane brežine z votlimi betonskimi bloki.

4.3.1. Čelni elementi

Kot smo že omenil, je glavna prednost geosintetičnih ojačitev v primerjavi z jeklenimi trakovi in drugimi podpornimi konstrukcijami v izvedbi čela brežine. V naslednjih podpoglavjih bom opisal nekaj elementov, ki se uporabljajo za zaščito čela brežine.

4.3.1.1. Prefabricirani betonski bloki

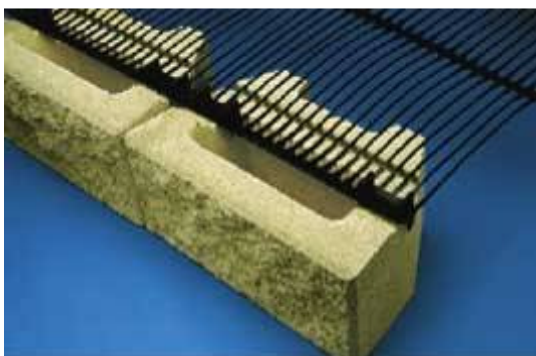
Prefabricirani betonski bloki so najbolj pogosto uporabljeni čelni elementi. Uporabljajo se zaradi možnosti oblikovanja elementov, njihovega estetskega izgleda, razpoložljivosti ter zaradi relativno ekonomične izdelave elementa.

Betonski elementi so lahko relativno majhni, kar vpliva na obseg transporta na gradbišče ter na vgradnjo oziroma izgradnjo čela zidu. Betonski element tehta približno od 35 do 50 kg. Minimalna globina elementa (pravokotno na čelo zidu) je 20 cm, maksimalna pa 60 cm. Globina betonskega elementa lahko veliko prispeva k stabilnosti zidu, predvsem pri nizkih in srednje visokih brežinah. Višina betonskih elementov je med 10 in 20 (30) cm, odvisno od proizvajalca betonskih elementov oziroma zahtev s strani projektanta (izgled, tehnološka izvedba,...). Dolžina elementa je med 20 in 60 cm.



Slika 33: Primer betonskih blokov.

Betonski elementi so lahko votli ali polni. Če so votli, jih lahko zapolnimo z zemljino ter dosežemo naravnejši izgled zidu (glej Sliko 32). Vertikalna povezanost med elementi je odvisna od proizvajalca (preklop, strižni zob med elementi,...). Mehanizmi vertikalne povezanosti betonskih elementov prispevajo tudi k večji povezanosti med elementi in geosintetičnimi ojačitvami. Nosilnost spoja oziroma stika med elementom in ojačitvijo mora biti sposobna prevzeti predvideno natezno silo v vodoravni smeri in maksimalno tlačno obremenitev v navpični smeri, ki izvira iz obtežbe na vrhu zidu oziroma brežine. Dimenzioniranje ojačitve in vertikalni razmiki med ojačitvami vplivajo na stik med elementom in ojačitvijo.



Slika 34: Stik med geomrežo in betonskim elementom.

4.3.1.2. Segmentni montažni elementi



Slika 35: Montažni segmenti elementi.

Uporaba montažnih segmentnih elementov (Slika 35) še ni razširjena. Za povezavo med segmentnimi montažnimi elementi in ojačitvijo v zemljini se večinoma uporablja toge polietilenske geomreže. Izvedba stika med ojačitvijo in betonskim segmentnim elementom je odvisna od proizvajalca betonskega segmentnega elementa. Primer povezave med jeklenimi trakovi in segmentnimi betonskimi elementi je prikazan na Sliki 36.



Slika 36: Stik montažnih segmentnih elementov in ojačitve v zemljini.

5 Težnostne podporne konstrukcije

5.1. Kamniti gabioni

5.1.1. Splošno

Gabioni so konstrukcije sorodne kaštam, le da je namesto betonskih, kovinskih ali lesenih elementov uporabljena žična ali plastična mreža, v katero je ovit kamnit material. Na tak način so oblikovane »vreče« kamnitega materiala velikosti do 1x1x4 m in zložene v podporno konstrukcijo (Slika 37). Gabione pogosto uporabljamo pri urejanju vodotokov (Slika 38) v kamnitem svetu, saj se po izgledu ne razlikujejo od kamnite ali prodnate struge.

S posameznimi gabioni lahko tvorimo prepustne monolitne konstrukcije, ki imajo podobno funkcijo delovanja kot oporne konstrukcije (Slika 37). Gabioni delujejo po sistemu težnostnih podpornih konstrukcij. Z gabioni lahko dosežemo rešitve, ki so okolju prijaznejše in ugodnejše kot pa druge možne oporne konstrukcije iz sistema težnostnih podpornih konstrukcij.



Slika 37: Podporni zid iz kamnitih gabionov.



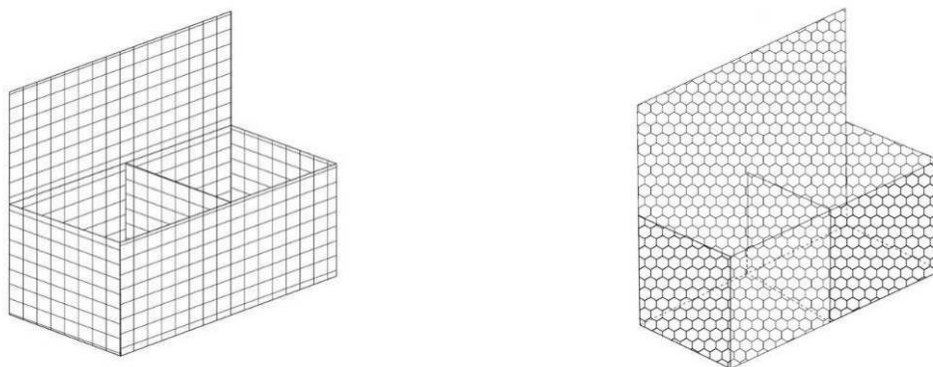
Slika 38: Uporaba gabionov v rečnih strugah.

Gabioni se uporabljajo predvsem za:

- težnostne podporne konstrukcije,
- utrjevanje nasipa ob cestah in železnicah,

- podporo bregov rek oziroma urejanje rečnih strug,
- protierozijsko zaščito in stabilizacijo pobočja in
- dekorativno gradnjo vrtov oziroma zunanjo ureditev...

Osnovna delitev gabionov izvira iz oblikovanja košar. Poznamo pletene in varjene košare.



Slika 39: Košare za gabione iz varjenih mrež. Slika 40: Košare za gabione iz pletenih mrež.

Odprtine košar iz varjenih mrež imajo večinoma kvadratne ali pravokotne oblike. Odprtine košar iz pletenih mrež pa obliko šestkotnika. Varjene in pletene košare so narejene iz žice s enakimi karakteristikami, košare kot celota pa nimajo enakih karakteristik.

Zid iz gabionov predstavlja s košarami iz raznovrstnih mrež način izdelave podpornega zidu iz sicer nevezanega kamenja, ta pa podpira zaledje, omejuje njegove premike in onemogoča erozijo zaledja. Zato je zelo pomembno delovanje celotnega zidu in ne samo posameznega gabiona. Zid iz gabionov, ki so narejeni iz pletenih mrež lahko prevzamejo oziroma se lahko prilagodijo posedkom ali poznejšim deformacijami po izgradnji zidu. Zid iz gabionov, ki so iz varjenih mrež je tog in prevzame manjše poznejše posedke konstrukcije. V primeru pletenih košar se obtežba prenaša zvezno po zidu. Pri varjenih košarah pa se obtežba prenaša posamezno po košarah. Če je en zvar oziroma stik med žicama preobremenjen, lahko pride do celotne porušitve zidu.

Zaradi deformabilnosti pletenih košar in nedeformabilnosti varjenih, lahko v primeru neravnega terena oziroma trase gabionov, pride do manjših odstopanj in napak v izgledu zida

iz gabionov.

Gabioni so lahko napolnjeni s kamenjem na mestu gradnje, lahko pa se prednapolnjene prepelje na gradbišče. Kamenje, ki se uporablja za zapolnitev košar, mora biti odporno proti zmrzali in tlačnim silam. Minimalna frakcija kamnja, ki ga uporabljamo za polnjenje košar za gabione, ne sme biti manjša od 1,5 kratnika najmanjše odprtine očesa košare.

Dejavniki, ki vplivajo na statični izračun in dimenzioniranje zidu iz gabionov:

- podlaga (lastnosti temeljnih tal),
- prepustnost (vododržnost),
- prostorninska teža polnilnega materiala,
- mehanskih lastnosti zaledne zemljine,
- obtežbe ter
- želena oblika zidu (višina, dolžina,...),
- mehanske lastnosti žične mreže.

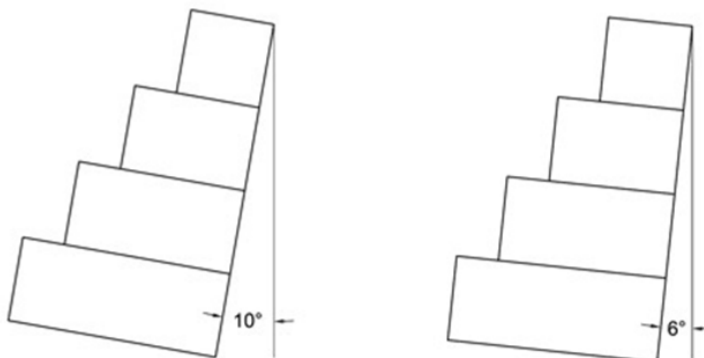
Izračun se izvede enako kot za težnostne podporne konstrukcije, le da je potrebno preveriti še vsak stik med posameznimi košarami in še nosilnost žice košar.

Temeljenje gabionov lahko zagotovimo s kamnitim agregatom, ali pa z izvedbo armirano betonskega temelja. Vrsta temeljenja je odvisna od lastnosti temeljnih tal in od teže gabionov ter dodatne obremenitve na gabione. Temeljna tla morajo sprejeti obtežbo, ki jo povzročijo gabioni brez večjih posedkov.

V primeru da temeljna tla pod gabioni ne prepuščajo vode, je treba vzpostaviti odvodnjavanje dna oziroma temeljnih tal. Vodo, ki se nabira na dnu, je treba z enostavnimi konstrukcijskimi rešitvami čim hitreje odvesti. Odvodnjavanje lahko zagotovimo s plastjo propustnega materiala ali z drenažnimi cevi za in pod steno iz gabionov.

Priporočeni nagib zidu iz gabionov znaša od 6° do 10° proti zaledju, predvsem pri večjih višinah podpornih zidov. Skupni nagib sprednje strani lahko vzpostavimo tako, da

zamaknemo vsako vrsto navpično stoječih elementov, z nagibom vseh elementov ali kombinacijo obeh načinov.



Slika 41: Shematski prikaz nagiba gabionov.

Pri gabionih z zamaknjenimi elementi se lahko na čelni strani konstrukcije stopničaste dele obda z zemljo za posaditev ali ozelenitev oziroma se nanje položi že pripravljene kose vegetacije, npr. travne plošče.

5.2. Armirano betonski podporni zidovi

5.2.1. Splošno

Večina težnostnih podpornih zidov je danes zgrajena v betonu. Zaradi potrebe po teži so taki zidovi masivni in so zato lahko minimalno armirani. Če zadoščajo zidovi manjših prerezov, jih je potrebno ustrezno armirati. Beton omogoča najrazličnejše oblikovanje zidov, kar lahko izkoristimo za optimiranje konstrukcije v statičnem smislu, kakor tudi za arhitektonsko oblikovanje čela zidu. Betonski težnostni zidovi slabo sledijo deformacijam. Če je uporabljena armatura, zid le redko razpoka, na dilatacijah pa pride do diferenčnih premikov. Taki zidovi so za vodo neprepustni in je zato nujno skrbno odvodnjevanje zalednih in površinskih vod.

6 Predstavitev projekta in sprememb

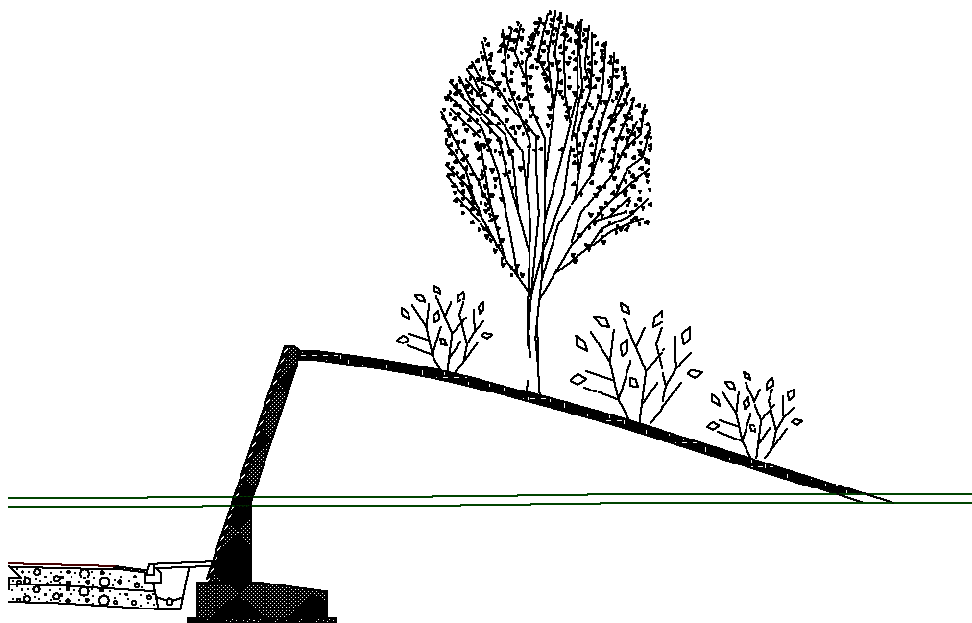
6.1. Opis izhodiščnega projekta

Osnova za diplomsko delo je izveden projekt brežine po sistemu armiranih zemljin višine 4.0 m in dolžine 568.5 m ter z nagibom brežine 65°, na avtocesti A2 predor Karavanke – Obrežje, odsek Vrba - Peračica, pri kraju Lesce.

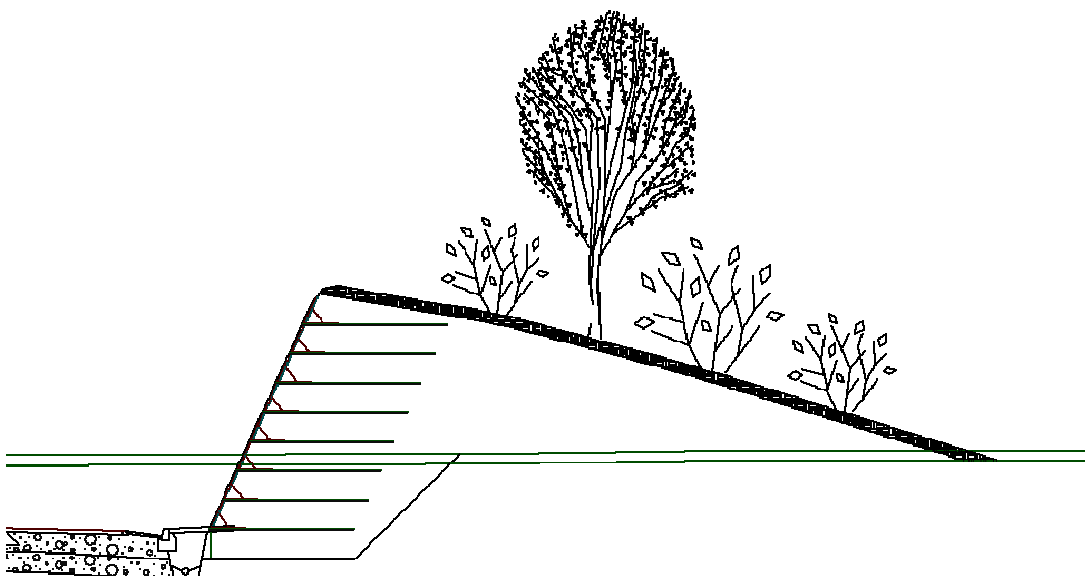
Prvotno je bilo predvideno nadvišanje vkopne brežine, katere stabilnost naj bi zaradi strmega naklona brežine zagotavljal armiranobetonski podporni zid (Slika 42), obložen s kamnitimi ploščami. Zaradi mnenja, da je predvidena konstrukcija sporna, tako z vidika umestitve v prostor (krajinsko - arhitekturnega), kot tudi z ekonomskega vidika, se je predlagala alternativna varianta izvedbe brežine po sistemu armiranih zemljin (Slika 43).

Omenjeni primer je v okviru diplomske naloge služil za izhodišče. Namen naloge je bil primerjati različne izvedbe brežine s strmim naklonom v različnih pogojih gradnje ter ugotoviti optimalne pogoje za posamezno rešitev. Tako sem obravnaval 16 različnih variant izvedbe brežine s strmim naklonom, ki so obravnavane glede na štiri različne sisteme izvedbe brežine s strmim naklonom in so podrobneje opisane v nadaljevanju.

Na Sliki 42 je prikazano prvotno predvideno nadvišanje vkopne brežine z armiranobetonskim podpornim zidom. Na Sliki 43 pa je prikazana alternativna varianta izvedba brežine po sistemu armirane zemljine, na Sliki 44 in Sliki 45 pa je prikazana brežina po sistemu armirane zemljine v času gradnje in po izvedbi.



Slika 42: Predvideno nadvišanje vkopne brežine z armirano betonskim podpornim zidom.



Slika 43: Alternativna varianta izvedba brežine po sistemu armirane zemljine.



Slika 44: Brežina po sistemu armirane zemljine v času gradnje.



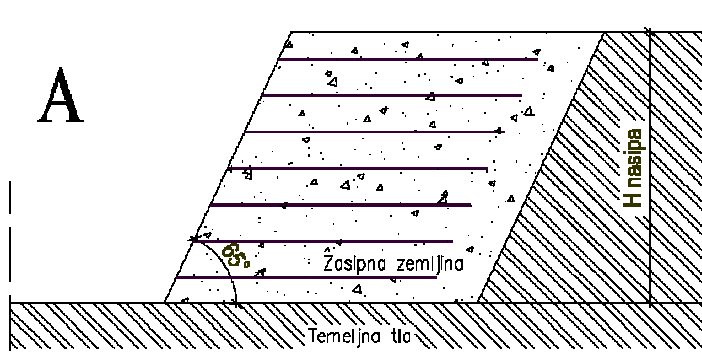
Slika 45: Brežina po sistemu armirane zemljine po izvedbi.

6.2. Predstavitev variant izvedbe brežine s strmim naklonom

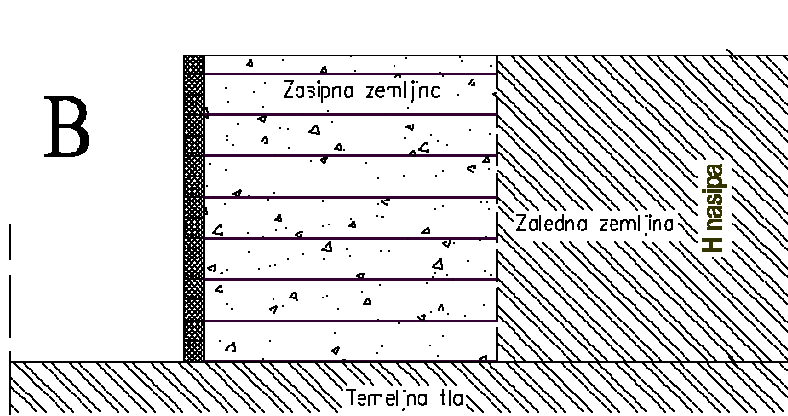
Osnovne variante izvedbe brežine s strmim naklonom sem izbral glede na sistem izvedbe. Označene so s črkami A, B, C in D ter so opisane v prejšnjih poglavjih ter predstavljene na spodnjih slikah (Slika 46 – Slika 49). Varianta A je izvedba nasipa s pomočjo armirane zemljine. Pri omenjeni rešitvi je čelo nasipa lahko zatravljeno. Varianta B je izvedba nasipa s kombinacijo armirane zemljine in betonskih blokov. Čelo nasipa je lahko v primeru votlih betonskih blokov delno zatravljeno. Varianta C je izvedba nasipa s pomočjo kombinacije armirane zemljine in kamnitih gabionov. Varianta D je izvedba nasipa s pomočjo armirano betonskega podpornega zidu. Čelo nasipa oziroma zidu lahko obložimo z oblogo.

Posamezni primeri izvedbe podpornih konstrukcij so shematsko prikazani na naslednjih

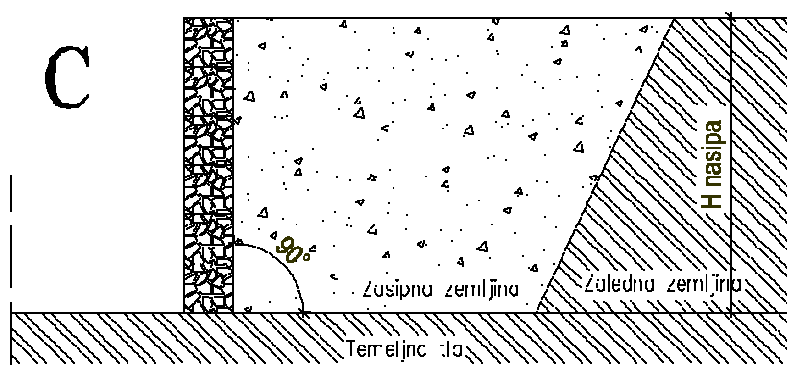
slikah:



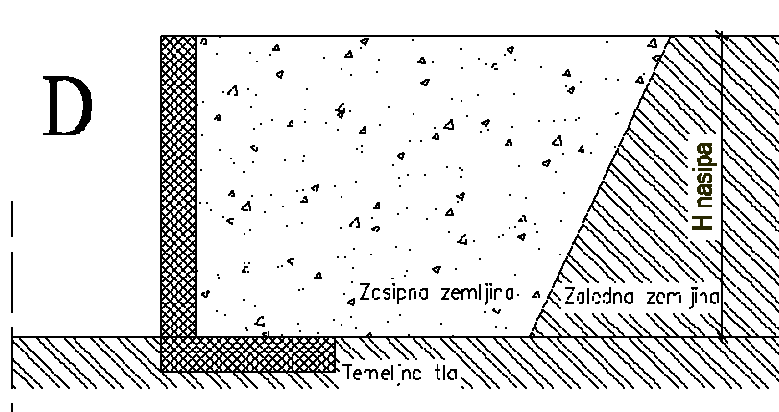
Slika 46: Armirana brežina z zatravljenim čelom, varianta A.



Slika 47: Armirana brežina z betonskimi bloki, varianta B.

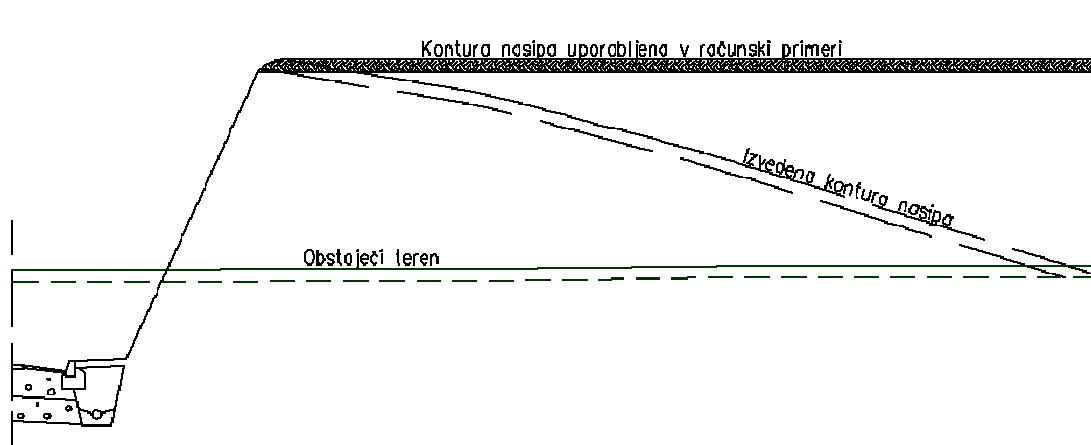


Slika 48: Strma brežina s kamnitimi gabioni, varianta C.



Slika 49: Klasična varianta armirano betonski podporni zid.

Vsaka od prikazanih variant izvedbe brežine s strmim naklonom je bila obdelana za štiri različne različice z variranjem geometrije brežine in različnimi karakteristikami uporabljene zemljine. S spremembami geometrije brežine sem hotel predpostaviti čim bolj realne pogoje izvedbe brežin s strmim naklonom. Nagib brežine je pogojen s sistemom izvedbe brežine s strmim naklonom, in sicer znaša 65° , oziroma 90° . Krona brežine je v vseh primerih horizontalna. Vse konstrukcije so analizirane za dve višini: 5,0 in 8,0 m. V primerjavi z izhodiščnim primerom je tako spremenjena oblika krone in višina brežine (Slika 50).



Slika 50: Prikaz spremembe oblike krone nasipa glede na dejansko stanje in računski model.

Vsaka varianta je bila nadalje računana z dvema različnima zasipnima materialoma, ki sta opisana v nadaljevanju, kar skupno predstavlja 16 računskih primerov.

Geološki podatki, ki so uporabljeni v diplomski nalogi, so podatki iz omenjenega

avtocestnega odseka. Geološki podatki so bili ugotovljeni z raziskavami tal. Ugotovilo se je, da se na tem mestu nahajajo peščeno meljasti prodi. Standardni penetracijski preizkus (SPT) je pokazal gosto stanje zemljine z rezultatom za število udarcev korigirano na 60 % teoretične energije (N_{60}) od 30 do 40, kar pomeni vrednost strižnega kota $\varphi = 36^\circ - 38^\circ$ v raščenem stanju. Glede na omenjene terenske raziskave so v projektu in v tej nalogi uporabljeni naslednji osnovni geomehanski podatki.

prostorninska teža:	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	}	Peščeno meljasti prod (TIP1)
kot notranjega trenja:	$\varphi = 36^\circ$		
kohezija:	$c = 0 \text{ kPa}$		
elastični modul:	$E = 50\,000 \text{ kN/m}^2$		
Poissonov količnik	$\nu = 0,3$		

Za gradnjo brežine v zaledju podpornih konstrukcij sem predpostavil, da se je uporabil isti material kot, je bil izkopan na trasi, le da je imel manjši elastični modul in sicer $40\,000 \text{ kN/m}^2$.

Da bi preveril vpliv mehanskih lastnosti zasipne zemljine sem v nalogi obravnaval še dodaten material uporabljen za gradnjo brežine v zaledju podpornih konstrukcij. Ta ponazarja težje pogoje gradnje brežin sam ima nižje karakteristike.

prostorninska teža:	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	}	Peščeni melj (TIP2)
kot notranjega trenja:	$\varphi = 28^\circ$		
kohezija:	$c = 0 \text{ kPa}$		
elastični modul:	$E = 20\,000 \text{ kN/m}^2$		
Poissonov količnik	$\nu = 0,3$		

7 Računski del

7.1. Splošno

V računskem delu diplomske naloge sem obravnaval štiri primere gradnje podpornih zidov opisane v prejšnjih poglavjih. Računski modeli so zasnovani tako, da se prilagajajo tehnologiji izvedbe posamezne variante, saj vse variante nimajo istega naklona brežine. Naklona za posamezne primere so predstavljeni v Preglednici 1.

Preglednica 1: Nagib brežine za posamezne variante gradnje strmih brežin

Način gradnje strmih brežin	Nagib pobočja v računskem modelu	Območje uporabe glede na nagib brežine
Armirana brežina z zatravljenim čelom	65°	40°-70°
Armirana brežina s čelom iz prefabriciranih elementov	90°	70°-90°
Podporni zid iz gabionov	90°	80°-90°
Armirano betonski zid	90°	do 90°

V izračunih sem upošteval standard Evrokod 7 (SIST EN 1997-1:2005), priporočila za gradnjo podpornih zidov iz gabionov, ki so zasnovana na britanskih standardih ter nemške smernice za uporabo armaturnih geosintetikov EBGEO (**E**mpfehlungen für **B**ewehrungen aus **G**eokunststoffen), ki so bile izdane leta 2007, uporabljal sem sedmo poglavje, ki je namenjeno armiranim brežinam. Nemške smernice sem upošteval pri armiranih zemljinah, Evrokod 7 pa sem upošteval pri izračunih armirano betonskega podpornega zida. Za izračun podpornega zidu iz gabionov sem uporabil britanske smernice, ki so zasnovane na britanskem standardu BS8002. Armirane brežine sem računal po projektnem pristopu 3 (PP3), armirano betonski podporni zid pa sem računal po projektnem pristopu 2 (PP2).

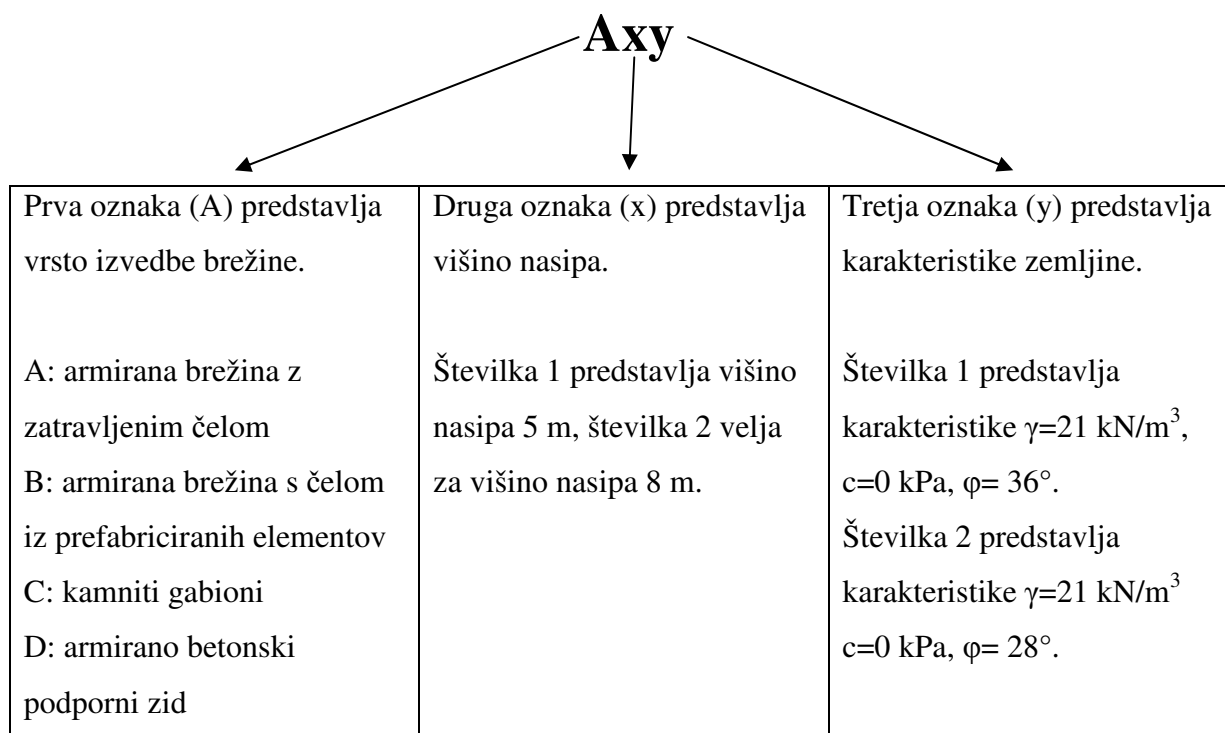
Za račun stabilnosti podpornih konstrukcij je potrebno izračunati naslednje kontrole:

- kontrola globalne stabilnosti
- kontrola prevrnitve podporne konstrukcije,
- kontrola zdrsa na kritičnih ravninah,
- kontrola napetosti v dnu temelja (ekscentričnost),
- dimenzioniranje prereza zidu.

7.2. Označevanje variant v prilogi

Za vsako varianto sem izdelal računske primere. Računske primere sem zaradi boljše preglednosti označil po sledečem konceptu.

Primer:



Primer:

Oznaka računskega primera B12 predstavlja računski primer za izvedbo armirane brežine z čelom iz betonskih prefabriciranih elementov, višine 5 m in karakteristikama zemljine $\gamma=21$

kN/m^3 , $c=0$ kPa, $\varphi= 21^\circ$.

7.3. Računski model

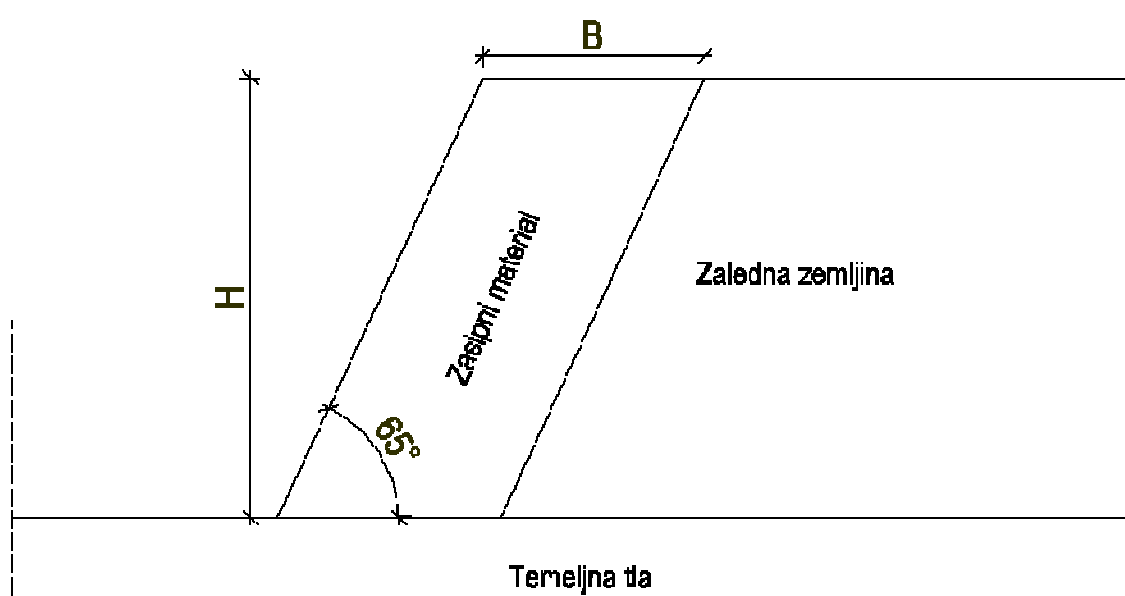
Računski modeli so zasnovani glede na vrsto podpornih konstrukcij, ki sem jih obravnaval v diplomski nalogi in sicer glede na armirane brežine in težnostne podporne konstrukcije. Računski primeri za armirane brežine so narejeni po nemških smernicah (EBGEO), težnostne podporne konstrukcije pa po smernicah, ki so zasnovana na britanskih standardih (gabioni) in po Evrokodu 7 (armirano betonski podporni zid). Pomiki podpornih konstrukcij so izračunani s pomočjo računalniškega programa PLAXIS. Z računalniškim programom sem izvedel tudi kontrolo globalne stabilnosti ter preveril izračune, ki sem jih naredil.

7.3.1. Računski model za armirano brežino z zatravljenim čelom – varianta A ter za armirano brežino s čelom iz prefabriciranih elementov – varianta B

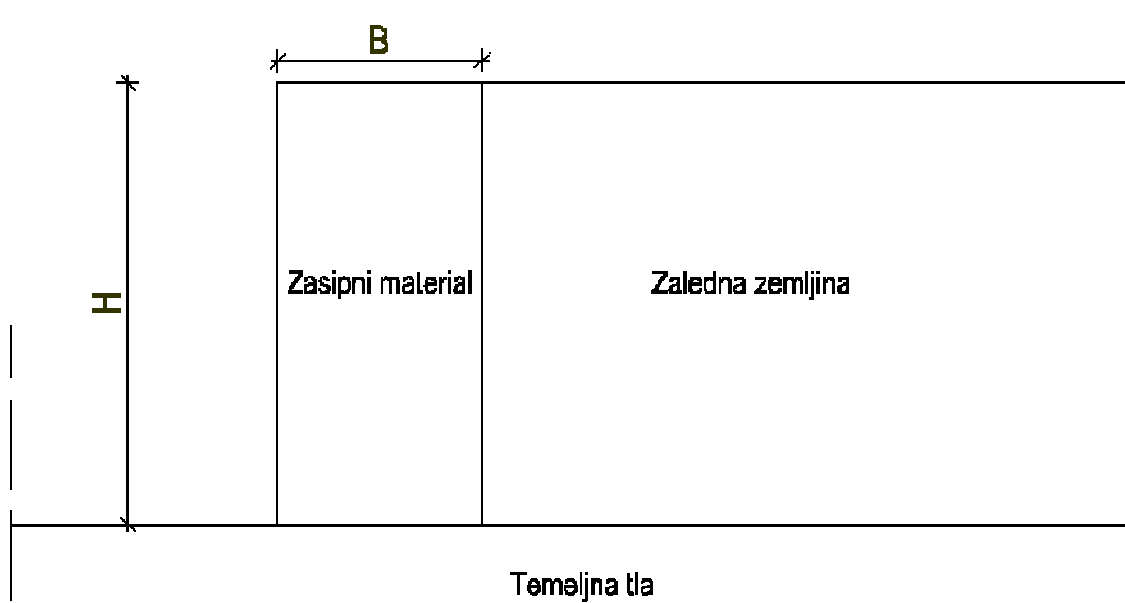
Računska model za varianti A in B imata isti postopek glede na nemške smernice za armaturne geosintetike (EBGEO), le nagib brežine je drugačen in sicer ima varianta B naklon brežine 90° , varianta A pa 65° . S spremembo nagiba brežine se spremenijo vhodni podatki v računskem modelu, postopek izračuna pa je enak ne glede na nagib brežine. Pri kontroli čelnih elementov je potrebno upoštevati drug sistem oblikovanja čela brežine.

V nadaljevanju je opisan postopek, za točne rezultate posameznih računskih primerov glej priloge PA11, PA12, PA21, PA22, PB11, PB12, PB21 in PB22.

7.3.1.1. Geometrija



Slika 51: Geometrija variante A.



Slika 52: Geometrija variante B.

H...vertikalna višina brežine

B...globina območja ojačitve zemljine oziroma dolžina ojačitve (geomreže)

Po EBGEO znaša priporočena globine armiranja (B) v primeru horizontalnih temeljnih tal in

normalnih pogojih:

$$B = 0.70 H \quad (3)$$

Dolžina ojačitev za višino brežine 5 m znaša 3,5 m, v primeru višine brežine 8 m pa znaša dolžina ojačitev 5,6 m.

7.3.1.2. Vplivi

Na podporno konstrukcijo iz armirane zemljine deluje aktivni zemeljski pritisk, ki predstavlja vpliv zaledne zemljine na konstrukcijo.

- Vpliv aktivnega zemeljskega pritiska E_{agk}

Aktivni zemeljski pritisk predstavlja obremenitev gradbenih konstrukcij, ki so vkopane ali zasute z zemljino. Pri izračunu vpliva aktivnega zemeljskega pritiska upoštevamo karakteristike zaledne zemljine (glej Sliko 52 za varianto A in Sliko 53 za Varianto B). Rezultanto aktivnega zemeljskega pritiska (E_{agk}) razdelimo na dve komponenti in sicer na horizontalno komponento ($E_{agh,k}$) in vertikalno komponento ($E_{agv,k}$). Določiti je potrebno tudi prijemališče obeh sil. V računskem modelu, ki ga obravnavam je prijemališče sile na $H/3$ od vznožja brežine.

$$E_{agh,k} = 0,5 K_{ah,k} \gamma_{H,k} H^2 \quad (4)$$

$$E_{agv,k} = E_{agh,k} \tan(\delta - \alpha) \quad (5)$$

$E_{agh,k}$...karakteristična vrednost horizontalne komponente zemeljskega pritiska,

$E_{agv,k}$...karakteristična vrednost vertikalne komponente zemeljskega pritiska,

$K_{ah,k}$...koeficient aktivnega zemeljskega pritiska,

$\gamma_{zl,k}$...karakteristična vrednost prostorninske teže zaledne zemljine.

- Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska $K_{ah,k}$:

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska $K_{ah,k}$ je določen s pomočjo Coulombove enačbe. V enačbi upoštevamo nagnjenost zaledja, nagnjenost podporne konstrukcije in kot trenja med konstrukcijo ter zemljino (δ). Kot trenja med zemljino in konstrukcijo (δ) po nemških smernicah (EBGEO) znaša 2/3 strižnega kota zemljine.

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(\varphi - \delta)}{\cos^2(\alpha) \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (6)$$

α ...naklon zaledne stene podporne konstrukcije,

β ...naklon pobočja,

δ ...kot trenja med zidom in zemljino,

φ ...strižni kot zemljine.

- Lastna teža armirane zemljine

Za izračun lastne teže zemljine upoštevamo karakteristike zasipne zemljine (glej Sliko 52 za varianto A in Sliko 53 za Varianto B). Izračunamo tudi položaj sile teže (ročico glede točko na katero računamo kontrolo proti prevrnitvi).

$$G_K = H B \gamma_{zs,k} \quad (7)$$

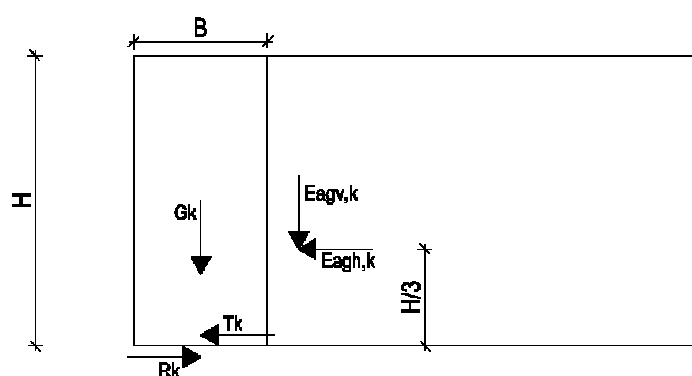
G_K ...teža armirane zemljine,

$\gamma_{zs,k}$...karakteristična vrednost prostorninske teže zasipne zemljine.

7.3.1.3. Statične kontrole

- Kontrola proti zdrs

Kontrola proti zdrs se izvaja na stiku temelja konstrukcije z zemljino. Odpornost zemljine proti zdrs mora biti večja od vsote vseh sil, ki prispevajo k zdrs konstrukcije (enačba 8).



Slika 53: Shematski prikaz sil v ojačani zemljini.

$$T_d \leq R_{t,d} (+ E_{p,d}) \quad (8)$$

T_d ...projektna vrednost obremenitve obravnavanega prereza (seštevek vseh sil, ki prispejo k zdrsni podporne konstrukcije,

$R_{t,d}$...projektna vrednost odpornosti proti zdrsni zemljine,

$E_{p,d}$...projektna vrednost pasivnega zemeljskega pritiska (ga običajno ne upoštevamo, saj smo na varni strani).

Preglednica 2: Dodatni varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto A

Varnostni faktor	A11	A12	A21	A22
zdrs	10,12	3,46	10,12	3,46

Preglednica 3: Dodatni varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto B

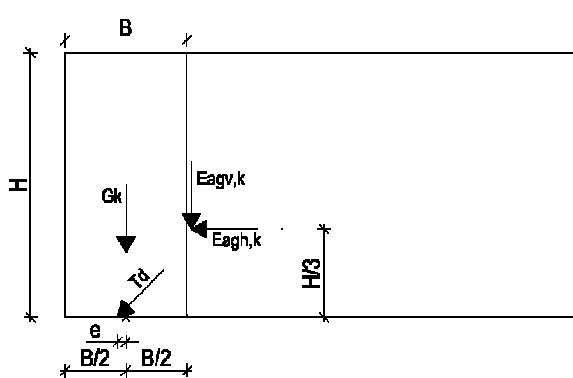
Varnostni faktor	B11	B12	B21	B22
zdrs	2,37	1,30	2,37	1,30

Dodatni varnostni faktorji proti zdrsni predstavljajo kvocient projektni vrednosti odpora in vpliva.

- Lega rezultante

Kontrola lege rezultante zajema tudi kontrolo proti prevrnitvi, saj je v trenutku prevrnitve

rezultante izven preseza, kar pomeni, da niti del preseza ni tlačni. Kritična vrednost ekscentričnosti (e) po nemških smernicah (EBGEO) znaša maksimalno tretjino globine armirane zemljine ($B/3$)



Slika 54: Prikaz lege rezultante.

$$M_k = \left(E_{agh,k} \frac{H}{3} \right) - \left(E_{agv,k} \frac{B}{2} \right) \quad (9)$$

$$N_{G,k} = G_k \quad (10)$$

$$e = \frac{M_k}{N_k} < \frac{B}{3} \quad (11)$$

M_k ... rezultirajoči moment vseh sil na središče temeljne ploskve

$N_{G,k}$... rezultanta normalnih sil na temeljno ploskev

Opomba: pri vseh računskih primerov variant A in B je ekscentričnost manjša od $B/3$.

- Nosilnost temeljnih tal

Če želimo varno zgraditi konstrukcijo moramo zagotoviti manjšo obtežbo na temeljna tla kot jih lahko temeljna tla varno sprejmejo (enačba 12).

$$N_d \leq R_{n,d} = \frac{R_{n,k}}{\gamma_{Gr}} \quad (12)$$

N_d ...projektna obremenitev temeljnih tal

$R_{n,d}$...projektna nosilnost temeljnih tal

$R_{n,k}$...karakteristična nosilnost temeljnih tal

γ_{Gr} ...varnostni faktor za nosilnost temeljnih tal

– Karakteristično nosilnost temeljnih tal določimo po naslednjih enačbah:

$$R_{n,k} = b' (\gamma_{tt,k} b' N_{b0} i_b) \quad (13)$$

$$N_{d0} = e^{\pi \tan \varphi_{tt,k}} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi_{tt,k}}{2} \right) \quad (14)$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \tan \varphi_{tt,k} \quad (15)$$

$$m = 2,0 \text{ (DIN 4017)} \quad (16)$$

$$i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} \quad (17)$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} \quad (18)$$

$$N_b = N_{b0} i_b \quad (19)$$

$$b' = B - 2e \quad (20)$$

– Projektno obremenitev temeljnih tal določimo po naslednji enačbi:

$$N_d = N_{G,k} \gamma_g \quad (21)$$

$N_{G,k}$...karakteristična obremenitev temeljnih tal

γ_g ...varnostni faktor

Preglednica 4: Projektna nosilnost in projektna obremenitev temeljnih tal za računske primere variante A

	A11	A12	A21	A22
nosilnost temeljnih tal	4606	4045	11790	10356
projektna obremenitev temeljnih tal	560	530	1435	1356

Preglednica 5: Projektna nosilnost in projektna obremenitev temeljnih tal za računske primere variante B

	B11	B12	B21	B22
nosilnost temeljnih tal	2528	1843	6472	4719
projektna obremenitev temeljnih tal	570	491	1460	1257

Glede na Preglednico 4 in 5 je razvidno, da so tla sposobna prenesti obtežbo, ki jo povzročata konstrukciji variante A in B za različne modele.

- Kontrola armirane zemljine (lokalna kontrola)
 - Upoštevani delni faktorji:

Za določitev projektnih vrednosti moramo upoštevati naslednje delne faktorje, ki so povzeti po nemških smernicah (EBGEO) in skladno z Evrokod 7 – projektni pristop 3:

$\gamma_G = 1,00$...delni faktor za stalno obtežbo,

$\gamma_Q = 1,30$...delni faktor za koristno obtežbo,

$\gamma_\varphi = 1,25$...delni faktor za strižni kot zemljine,

$\gamma_G = 1,25$...delni faktor za kohezijo zemljine,

$\gamma_B = 1,40$...delni faktor za izvleku armaturnega geosintetika

- Projektne vrednosti:

Projektne vrednosti, ki so uporabljene v nadaljevanju, določimo po naslednjih enačbah. Za projektno vrednost strižnega kota uporabimo enačbo 22, za kohezijo enačbo 23 in za prostorninsko težo zemljine enačbo 24.

$$\varphi_{i,d} = \arctan\left(\frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi}\right) \quad (22)$$

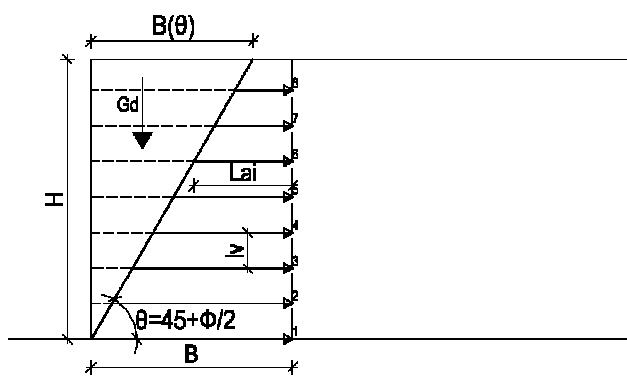
$$c_{i,d} = \frac{c_{i,k}}{\gamma_c} \quad (23)$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_G} \quad (24)$$

- Porušna drsina $\theta = 45 + \frac{\varphi}{2}$

Za izračun sil, ki jih morajo ojačitve prevzeti moramo predpostaviti porušno drsino.

Običajno predpostavimo, da porušnica, poteka pod $\theta = 45 + \frac{\varphi}{2}$.



Slika 55: Shematski prikaz predpostavljene porušne drsine.

Maksimalna obremenitev, ki jo morajo prenesti ojačitve (glede na pozicijo ojačitvene plasti):

$$\Sigma F_{d(\theta)} = (G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \tan(\theta - \varphi_{i,d}) + E_{dh(\theta)} \quad (25)$$

Vpliv teže konstrukcije na posamezno ojačitev:

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \gamma_{1,d} B(\theta) H(\theta) + \gamma_{1,d} B(\theta) (H - H(\theta)) \quad (26)$$

Vpliv aktivnega zemeljskega pritiska (horizontalna in vertikalna komponenta) na posamezno ojačitev:

$$E_{dh(\theta)} = 0,5 \gamma_{v,d} k_{ah,gd} (H - H(\theta)) \quad (27)$$

$$E_{dv(\theta)} = E_{dh(\theta)} \tan(\delta - \alpha) \quad (28)$$

– Projektna nosilnost armaturnega geosintetika $R_{B,d}$:

Glede na nosilnosti armaturnega geosintetika ločimo natezno nosilnost in nosilnost oziroma odpornost proti izvleku armaturnega geosintetika iz zemljine. V izračunu je merodajna kritična nosilnost oziroma odpornost armaturnega geosintetika (manjša izmed omenjenih nosilnosti).

Za določitev natezne projektne nosilnosti armaturnih geosintetikov je potrebno karakteristično vrednost zmanjšati zaradi vpliva lezenja, poškodb med transportom in vgradnjo, obdelave površine geosintetika, staranja armaturnih geosintetikov oziroma okoljskih vplivov na armaturne geosintetike, dinamične izpostavljenosti ter vpliv nosilnosti deformabilnih

armaturnih geosintetikov. Vrednosti posameznih vplivov so opisani v nadaljevanju (glej delne faktorje za armaturne geosintetike).

Določitev natezne nosilnosti armaturnega geosintetika:

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \gamma_M} = \frac{R_{B,k0}}{4,2} \quad (29)$$

$R_{B,d}$...projektna nosilnost geosintetika

$R_{B,k0}$...karakteristična vrednost geosintetika

A_i ... varnostni faktor za posamezni vpliv

Preglednica 6: Izbrana projektna natezna nosilnost geomrež za računske primere variante A

Projektna nosilnost geosintetika	A11	A12	A21	A22
$R_{B1,d}$ (kN/m)	40	60	70	100
$R_{B2,d}$ (kN/m)	60	80	80	100

Preglednica 7: Izbrana projektna natezna nosilnost geomrež za računske primere variante B

Projektna nosilnost geosintetika	B11	B12	B21	B22
$R_{B1,d}$ (kN/m)	50	50	70	90
$R_{B2,d}$ (kN/m)	60	70	80	100

V primerih A11 in A12 oziroma B11 in B12 je število plasti za $R_{B1,d}$ in $R_{B2,d}$ enako 4, v primerih A21 in A22 oziroma B21 in B22 je število plasti za $R_{B1,d}$ 6 in za $R_{B2,d}$ 7.

Določitev projektne nosilnosti oziroma odpornosti proti izvleku armaturnega geosintetika:

$$R_{Ai,d} = 2 \sigma_{V,di} L_{Ai} \left(\frac{f_{sg,k}}{\gamma_B} \right) = 2 \gamma_{zsd} h_i L_{Ai} \quad (30)$$

$R_{Ai,d}$...projektna nosilnost oziroma odpornost proti izvleku armaturnega geosintetika

$\sigma_{V,di}$...projektna vrednost vertikalnih napetosti

L_{Ai} ...sidrna dolžina, ki je odvisna od pozicije armaturnega geosintetika (B-B_(θ)), glej Sliko 56)

$f_{sg,k}$...povprečna vrednost koeficienta trenja med zemljino in armaturnim geosintetikom

h_i ...dolžina od vrha brežine do i-te plasti geosintetika

γ_{zsd} ...prostorninska teža zasipne zemljine (glej geometrijo – Slika 41 in Slika 42)

- Delni faktorji za armaturne geosintetike:

$A_1=2,5$...vpliv lezenja

$A_2=1,2$...vpliv poškodb med transportom in vgradnjo geosintetika

$A_3=1,0$...vpliv obdelave površine geosintetika

$A_4=1,0$...vpliv staranja geosintetika oziroma okoljski vplivi na geosintetik

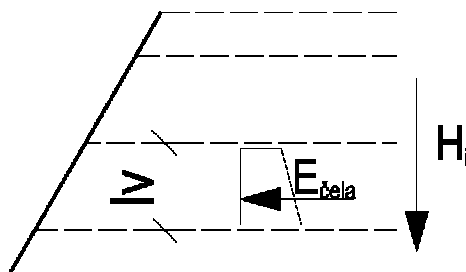
$A_5=1,0$...vpliv dinamične izpostavljenosti

$\gamma_M=1,40$...Delni varnostni faktor za nosilnost deformabilnih armaturnih elementov

Priporočljivo je, da navedene delne faktorje dobimo pri proizvajalcu geosintetika za vsak konkreten proizvod.

- Kontrola čelnih elementov:

Kontrolo čelnih elementov izvajamo za vsako plast ojačitve posebej (glej prilogo).



Slika 56: Prikaz vpliva sil na čelo brežine.

$$e_{\check{c}ela} = \eta_g K_{ah,k} \gamma_k H_i \gamma_G \quad (31)$$

$$E_{\check{c}ela} = e_{\check{c}ela} l_v \quad (32)$$

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(\varphi - \delta)}{\cos^2(\alpha) \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (33)$$

$e_{\check{c}ela}$...vpliv pasivnega zemeljskega pritiska na posamezni element,

$K_{ah,k}$...koeficient aktivnega zemeljskega pritiska (zasipne zemljine),

η_g ...koeficient deformabilnosti čela brežine,
 γ_k ...specifična prostorninska teža zasipne zemljine,
 H_i ...dolžina od vrha brežine do sredine i-te plasti,
 γ_G ...varnostni faktor za stalno obtežbo,
 l_v ...razmak med armaturnimi geosintetiki,
 $E_{\text{čela}}$...rezultanta zemeljskega pritiska na posamezni element.

- Določitev ovijalne dolžine okoli čela brežine za posamezno plast (se kontrolira samo za primere variante A)

$$l_i = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} \quad (34)$$

l_i ...potrebna sidrna dolžina i-te plasti (priporočila iz že izvedenih konstrukcij predlagajo minimalno dolžino 1,0 m)

$R_{ai,d}$... projektna nosilnost oziroma odpornost proti izvleku armaturnega geosintetika

$\sigma_{v,di}$... projektna vrednost vertikalnih napetosti

$f_{sg,k}$... povprečna vrednost koeficienta trenja med zemljino in armaturnim geosintetikom

Opomba: Čelni elementi (betonski elementi ali geomreža, ki je ovita okoli čela brežine) in stiki med elementi morajo biti sposobni prevzeti izračunane vrednosti, po zgoraj izračunanih enačbah.

- Kontrola pomikov

Pomiki za računske primere so določeni s računalniškim programom PLAXIS in so predstavljeni v naslednjih preglednicah za varianti A in B. Točnejši potek deformacij in porušni mehanizem so prikazani v prilogah.

Preglednica 8: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto A

	E (kN/m ²)	ν	$\varphi(^{\circ})$	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	H (m)	F _g	d (cm)
A11	40000	0,30	36	21	5	1,50	4,8
A12	20000	0,30	28	18	5	2,06	19,0
A21	40000	0,30	36	21	8	1,32	13,1
A22	20000	0,30	28	18	8	2,00	11,3

Preglednica 9: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto B

	E (kN/m ²)	ν	$\varphi(^{\circ})$	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	H (m)	F _g	d (cm)
B11	40000	0,30	36	21	5	1,31	4,4
B11*	40000	0,30	36	21	5	2,09	3,0
B12	20000	0,30	28	18	5	1,81	4,5
B21	40000	0,30	36	21	8	1,34	11,2
B22	20000	0,30	28	18	8	1,25	17,9

E...elastični modul zaledne in zasipne zemljine

ν ...Poissonov količnik

φ ...strižni kot zaledne zemljine

γ ...prostorninska teža zaledne zemljine

H...višina brežine

F_g...globalni varnostni faktor

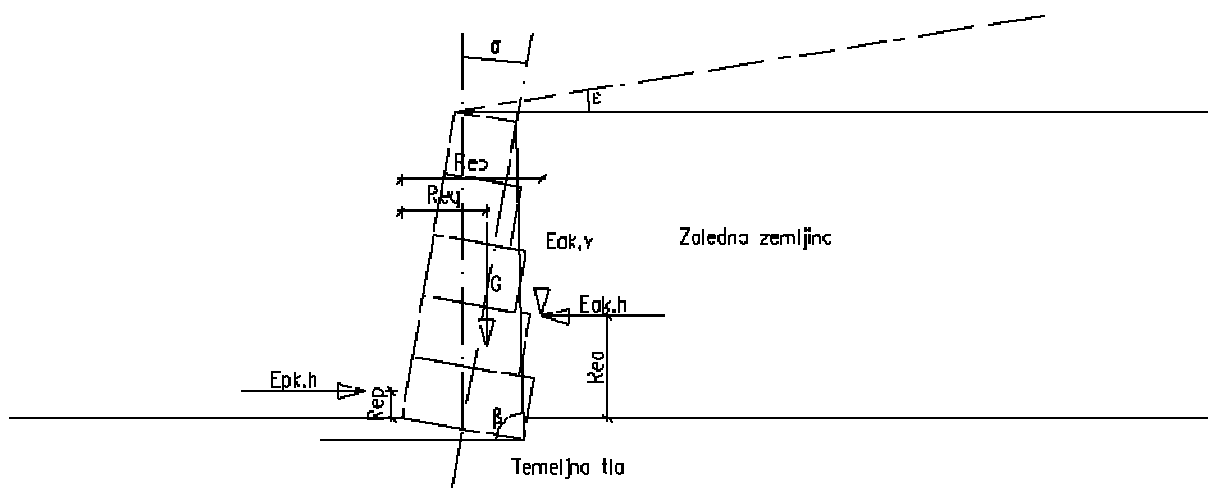
d...največji pomik konstrukcije

V Preglednici 8 in 9 so predstavljeni največji pomiki za varianti A in B. Pri varianti B sem obravnaval dodatni primer (B11*) z namenom ugotoviti vpliv bolj togih mrež na pomike. V primeru B11* sem dal enkrat močnejše oziroma bolj toge armaturne geosintetike kot v primeru B11 in dobil za približno 25% manjše pomike konstrukcije. Pomiki v varianti B so manjši v primerjavi z varianto A kar je posledica manj deformabilnega čela brežine (čelo brežine izvedeno z betonskimi bloki oziroma zatravljeno čelo brežine). V prilogi so razvidna mesta največjih pomikov oziroma deformacij.

7.3.2. Računski model za težnostni podporni zid iz gabionov – varianta C

Računski model za varianta C sem povzel po priporočilih za projektiranje podpornih konstrukcij iz gabionov, ki so zasnovani na britanskih standardih. Varianta C ima naklon brežine 90° za višino brežine 5,0 m v primeru višine brežine 8,0 m se naklon konstrukcije poveča in sicer za 10° proti zaledju. Glede na težnostne podporne zidove je potrebno preveriti varnost glede prevrnitve in zdrsa po stičnih ploskvah posameznih košar ter kontrolo nosilnosti žice košare.

7.3.2.1. Geometrija



Slika 57: Geometrija podpornega zidu iz gabionov.

H...vertikalna višina brežine

B...širina temeljne ploskve oziroma prve vrste gabionov

7.3.2.2. Vplivi

Na podporno konstrukcijo iz gabionov deluje aktivni zemeljski pritisk, ki predstavlja vpliv zaledne zemljine na konstrukcijo.

- Vpliv aktivnega zemeljskega pritiska P_a

Aktivni zemeljski pritisk predstavlja obremenitev gradbenih konstrukcij, ki so vkopane ali zasute z zemljino. Pri izračunu vpliva aktivnega zemeljskega pritiska upoštevamo karakteristike zaledne zemljine (glej Sliko 56 za varianto C). Rezultanto aktivnega zemeljskega pritiska (P_a) v primeru nagnjenega zaledja razdelimo na dve komponenti in sicer na horizontalno komponento (P_{ah}) in vertikalno komponento (P_{av}). Določiti je potrebno tudi prijemališče sil glede na točko na katero računamo prevrnitev konstrukcije. V računskem modelu, ki ga obravnavam je prijemališče sile na $H/3$ od vznožja brežine.

$$P_a = 0,5 K_{a,h,k} \gamma_{zl,k} H^2 \quad (35)$$

$$P_{ah} = P_a \cos (90 - \beta + \delta) \quad (36)$$

$$P_{av} = P_a \sin (90 - \beta + \delta) \quad (37)$$

P_a ...karakteristična vrednost aktivnega zemeljskega pritiska,

P_{ah} ... karakteristična vrednost horizontalne komponente aktivnega zemeljskega pritiska,

P_{av} ...karakteristična vrednost vertikalne komponente aktivnega zemeljskega pritiska,

$K_{a,h,k}$...koeficient aktivnega zemeljskega pritiska,

$\gamma_{zl,k}$...karakteristična vrednost prostorninske teže zaledne zemljine,

H ...vertikalna višina brežine.

- Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska $K_{a,h,k}$:

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska $K_{a,h,k}$ je določen s pomočjo Coulombove enačbe. V enačbi upoštevamo nagnjenost zaledja, nagnjenost podporne konstrukcije in kot trenja med konstrukcijo ter zemljino. Kot trenja za podporni zid iz gabionov znaša 0,9 strižnega kota zemljine (φ) v primeru, da predpostavimo ločilni sloj (geotekstil) med zemljino in gabioni, če pa predpostavimo, da ni vmesnega sloja med gabioni in zemljino je kot trenja enak strižnemu kotu zemljine (φ). V računskih primerih sem predpostavil uporabo ločilnega sloja med gabioni in zemljino.

$$K_{ah,k} = \frac{\sin^2(\beta+\varphi)}{\sin^2(\beta) \sin(\beta-\varphi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi-\delta) \sin(\varphi-\varepsilon)}{\cos(\beta-\delta) \cos(\beta+\varepsilon)}} \right]^2} \quad (38)$$

β ...naklon podporne konstrukcije glede na horizontalno ravnino,

ε ...naklon zaledne stene zidu,

δ ...kot trenja med gabioni in zemljino,

φ ...strižni kot zemljine.

- Lastna teža podporne konstrukcije

Za določitev lastne teže podporne konstrukcije iz gabionov (enačba 39) upoštevamo karakteristike uporabljenega polnilnega materiala. Glede na izbrani kamniti material, ki ga uporabljamo za polnitev žičnih košar znaša prostorninska teža od 14,5 kN/m³ do 18 kN/m³. V diplomski nalogi sem upošteval prostorninsko težo 15 kN/m³. Pri določitvi lastne teže podporne konstrukcije je potrebno določiti tudi položaj sile teže glede točko na katero računamo kontrolo proti prevrnitvi (enačbi 40 in 41).

$$W_g = \sum_1^n u_w u_d \gamma_d \quad (39)$$

n ...število gabionov

u_w ...širina posamezne vrste gabionov

u_d ...višina posamezne vrste gabionov

γ_d ...prostorninska teža gabionov

W_g ...teža celotnega zidu iz gabionov

Za izračun lege sile teže je potrebno izračunati moment na skrajno točko zidu. Položaj sile teže določimo po naslednji enačbi:

$$x_g = \frac{\sum_1^n s_t (u_w u_d)}{\sum_1^n (u_w u_d)} \quad (40)$$

$$y_g = \frac{\sum_1^n h_c (u_w u_d)}{\sum_1^n (u_w u_d)} \quad (41)$$

s_t ...horizontalna razdalja od središča posamezne vrste gabionov do vznožja zidu v primeru da je naklon zidu 0° .

h_c ... vertikalna razdalja od središča posamezne vrste gabionov do vznožja zidu v primeru, da je naklon zidu 0° .

x_g ...horizontalna razdalja od vznožja zidu do sredine zidu v primeru da je naklon zidu 0° .

y_g ... vertikalna razdalja od vznožja zidu do sredine zidu v primeru da je naklon zidu 0° .

V primeru, da je zid nagnjen je potrebno upoštevati naklon zidu α , tako da vertikalna oddaljenost do sredine zidu iz gabionov znaša:

$$X_g = x_g \cos \alpha + y_g \sin \alpha \quad (42)$$

7.3.2.3. Statične kontrole

- **Prevrnitev**

Varnost proti prevrnitvi (F_o) določimo kot razmerje med momentom prevrnitve in momentom odpora. Moment prevrnitve je posledica vpliva aktivnega zemeljskega pritiska, moment odpora pa teže zidu in v primeru nagnjenega zidu tudi vertikalne komponente zemeljskega pritiska.

$$M_O = E_{ak,h} d_h \quad (43)$$

$$M_R = E_{ak,v} b_v + W_g X_g \quad (44)$$

$$b_v = b_w \cos \alpha - \frac{d_h}{\tan \beta} \quad (45)$$

$$F_o = \frac{M_O}{M_R} \quad (46)$$

M_O ...prevrnitveni moment

M_R ...odpornostni moment

b_v ... horizontalna razdalja od vznožja podporne konstrukcije do prijemališča rezultante

aktivnega zemeljskega pritiska

b_w ... osnovna širina zidu (širina zidu na vznožju)

F_o ...varnostni faktor proti prevrnitvi

$F_o \geq 2,0$... za stalno obtežbo

$F_o \geq 1,0$... za začasno obtežbo

Opomba: zahtevani varnostni faktorji so povzeti po britanskih priporočili za račun podpornega zidu iz gabionov.

Preglednica 9: Varnostni faktorji proti prevrnitvi glede na posamezno varianto C

Varnostni faktor	C11	C12	C21	C22
prevrnitev	2,89	2,88	2,00	3,93

- **Zdrs**

Varnost proti zdrs (F_S) izračunamo kot razmerje med silami, ki se upirajo zdrs (teža zidu in vertikalna komponenta aktivnega zemeljskega pritiska če je prisotna) ter silami, ki povzročajo zdrs konstrukcije (horizontalna komponenta aktivnega zemeljskega pritiska) na drsni ravnini.

$$N = W_g + P_v \quad (47)$$

$$T = P_h \quad (48)$$

$$F_S = \frac{(N \cos \alpha + T \sin \alpha) \tan \varphi_{\text{temeljnih tal}}}{(T \cos \alpha - N \sin \alpha)} \quad (49)$$

N...normalna sila na predpostavljeni drsni ploskvi

T...tangencialna sila na predpostavljeni drsni ploskvi

F_S...varnostni faktor proti zdrs konstrukcije

$F_S \geq 1.5$...za stalno obtežbo

$F_S \geq 1.0$...za začasno obtežbo

Preglednica 10: Varnostni faktorji proti zdrsni glede na posamezno varianto C

Varnostni faktor	C11	C12	C21	C22
zdrs	2,24	1,78	1,50	1,58

Opomba: zahtevani varnostni faktorji so povzeti po britanskih smernicah za račun podpornega zidu iz gabionov.

- **Ocena premera žice**

$$P = \frac{\sigma_v + P_a}{2} \quad (50)$$

$$T = \frac{P h}{2} \quad (51)$$

$$A = \frac{T}{\sigma_j} \quad (52)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} \quad (53)$$

P...pritisk na posamezno košaro

σ_v ...vertikalne napetosti v posamezni košari

P_a ...vrednost aktivnega zemeljskega pritiska v posamezni košari

T...sila v žici košare

A...potrebna površina žice

σ_j ...trdnost materiala iz katerega je izdelana žica

d...potrebni premer žice

- **Nosilnost temeljnih tal**

Račun nosilnosti temeljnih tal je izveden po vzorčni metodi iz dodatka D v Evrokodu 7.

Račun je izveden za drenirane pogoje. Za posamezne računske modele glej prilogo, kjer je predstavljen izračun nosilnosti temeljnih tal.

Enačba za račun nosilnosti temeljnih tal v dreniranih pogojih:

$$\frac{R}{A} = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (54)$$

Kjer je:

R...odpornost oziroma nosilnost temeljnih tal,

A`...ploščina računske površine centrično obremenjenega temelja ($A' = B' L'$)

q`...efektivni navpični tlak ob temelju na globini temeljne ploskve ($q' = D \gamma - D_w \gamma_w$),

c`...efektivna kohezija

N_c, N_q, N_γ ...koeficienti nosilnosti, odvisni od strižnega kota,

b_j, s_j, i_j ...koeficient nagiba in oblike temelja ter nagiba rezultante

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (55)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (56)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi \text{ pri } \delta \geq \frac{\varphi}{2} \quad (57)$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \tan \varphi) \quad (58)$$

$$b_c = \frac{b_q - (1 - b_q)}{N_c \tan \varphi} \quad (59)$$

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad (60)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad (61)$$

$$s_c = \frac{(s_q N_q - 1)}{(N_q - 1)} \quad (62)$$

$$i_c = \frac{i_q - (1 - i_q)}{N_c} \tan \varphi \quad (63)$$

$$i_q = \left[\frac{1 - H}{(V + A' c' \cot \varphi)} \right]^m \quad (64)$$

$$i_\gamma = \left[\frac{1 - H}{(V + A' c' \cot \varphi)} \right]^{m+1} \quad (65)$$

$$m = m_b = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}, \text{ če sila H deluje v smeri } B' \quad (66)$$

$$m = m_l = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}}, \text{ če sila H deluje v smeri } L' \quad (67)$$

- **Kontrola pomikov**

Pomiki za računske primere so določeni z računalniškim programom PLAXIS in so predstavljeni v naslednjih preglednicah za varianto C. Točnejši potek deformacij in porušni mehanizem je razviden v prilogah.

Preglednica 11: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto C

	E (kN/m ²)	ν	φ (°)	γ (kN/m ³)	H (m)	F _g	d (cm)
C11	40000	0,30	36	21	5	1,57	2,2
C12	20000	0,30	28	18	5	1,51	3,5
C21	40000	0,30	36	21	8	1,31	4,3
C22	20000	0,30	28	18	8	1,54	8,0

E...elastični modul zaledne in zasipne zemljine

ν ...Poissonov količnik

φ ...strižni kot zaledne zemljine

γ ...prostorninska teža zaledne zemljine

H...višina brežine

F_g...globalni varnostni faktor

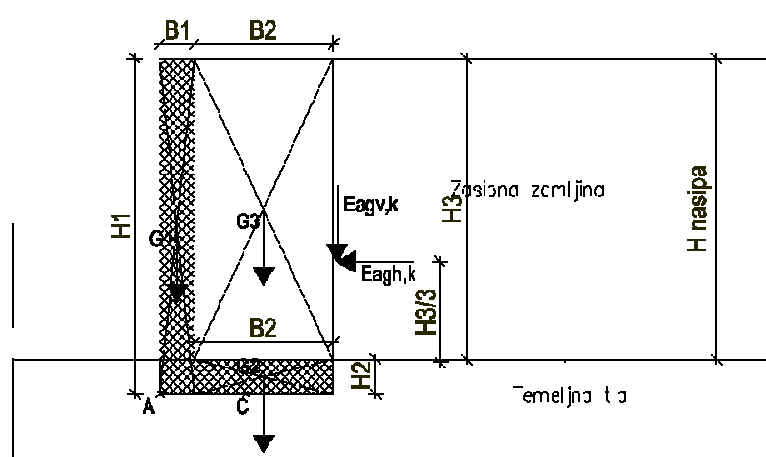
d (cm)...največji pomik konstrukcije

V Preglednici 11 so predstavljeni pomiki za računske modele zasnovane na varianto C. Pomiki so manjši glede na varianto A in B. Kar je posledica manjše deformabilnosti podpornega zidu iz gabionov v primerjavi z armirano brežino. V prilogi so razvidna mesta največjih pomikov oziroma deformacij.

7.3.3. Računski model za armirano betonski podporni zid – varianta D

Računski model za varianto D obravnavamo s postopkom glede na Evrokod 7 in sicer za težnostne podporne konstrukcije. Varianta D ima naklon konstrukcije 90° (Slika 57).

7.3.3.1. Geometrija



Slika 58: Geometrija variante D.

- H₁...višina stene armirano betonskega podpornega zidu,
- H₂...višina pete armirano betonskega podpornega zidu,
- H₃...višina zemljine, na armirano betonskem podpornem zidu,
- B₁...širina stene armirano betonskega podpornega zidu,
- B₂... širina pete armirano betonskega podpornega zidu,
- B₃... širina zemljine, na armirano betonskem podpornem zidu.

7.3.3.2. Vplivi

Na armirano betonski zid deluje aktivni zemeljski pritisk, ki predstavlja vpliv zaledne zemljine na konstrukcijo.

- Vpliv aktivnega zemeljskega pritiska E_{ak}

Aktivni zemeljski pritisk predstavlja obremenitev gradbenih konstrukcij, ki so vkopane ali zasute z zemljino. Pri izračunu vpliva aktivnega zemeljskega pritiska (E_{ak}) upoštevamo karakteristike zasipna zemljine (glej Sliko 57). Določiti je potrebno tudi položaj oziroma prijemališče sil glede na točko na katero računamo prevrnitev konstrukcije. V računskem modelu, ki ga obravnavam je prijemališče sile na $H/3$ od vznožja konstrukcije.

$$E_{a,k} = 0,5 K_{a,h,k} \gamma_{zs} H^2 \quad (68)$$

$E_{a,k}$...karakteristična vrednost aktivnega zemeljskega pritiska,

$K_{ah,k}$...koeficient aktivnega zemeljskega pritiska,

γ_{zs} ...karakteristična vrednost prostorninske teže zasipne zemljine,

H ...višina zidu.

- Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska $K_{ah,k}$:

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska $K_{ah,k}$ je določen s pomočjo Coulombove enačbe. V enačbi upoštevamo nagnjenost zaledja, nagnjenost podporne konstrukcije in kot trenja med armirano betonskim podpornim zidom ter zemljino (δ). Kot trenja med zemljino in armirano betonskim zidom (δ) sem predpostavil in sicer znaša 2/3 strižnega kota zemljine.

$$K_{ah,k} = \frac{\cos^2(\varphi - \delta)}{\cos^2(\alpha) \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (69)$$

α ...naklon zaledne stene zidu,

β ...naklon pobočja,

δ ...kot trenja med zidom in zemljino,

φ ...strižni kot zemljine.

- Lastna teža armirano betonskega podpornega zidu

Za določitev lastne teže armirano betonskega podpornega zidu upoštevamo karakteristike armiranega betona, ki je predviden za vgradnjo. Pri izračunu lastne teže konstrukcije je potrebno določiti tudi položaj sile teže.

Celotno težo zidu izračunamo s vsoto vseh delov zidu.

$$G = \sum G_i \quad (70)$$

$$G_i = b_i h_i \gamma_b \quad (71)$$

G ...teža celotne podporne konstrukcije,

G_i ... teža posameznega dela zidu,

b_i ...širina posameznega dela zidu,

h_i ...višina posameznega dela zidu,

γ_b ...prostorninska teža posameznega dela zidu.

7.3.3.3. Statične kontrole

- **Kontrola proti zdrs**

Kontrola proti zdrs se izvaja na stiku temelja konstrukcije z zemljino. Odpornost zemljine proti zdrs mora biti večja od vsote vseh sil, ki prispevajo k zdrs konstrukcije (enačba 72).

$$T_d \geq E_{ad} \quad (72)$$

$$E_{ad} = 1,35 E_{ak} \quad (73)$$

T_d ...projektna vrednost odpornosti proti zdrs zemljine,

E_{ad} ...projektna vrednost aktivnega zemeljskega pritiska.

E_{ak} ...karakteristična vrednost aktivnega zemeljskega pritiska.

Preglednica 12: Dodatni varnostni faktorji proti zdrs glede na posamezno varianto D

Varnostni faktor	D11	D12	D21	D22
zdrs	2,62	1,67	2,18	1,77

- **Kontrola ekscentričnosti oziroma lege rezultante**

Standardi Evrokod zahtevajo, da je večji del prereza tlačni od 60% do 100%. Ta pogoj vsebuje tudi kontrolo prevrnitve, saj je v trenutku prevrnitve rezultanta izven prereza, kar pomeni, da niti del prereza ni tlačni. Kritično vrednost predpisujejo standardi običajno v deležu tlačene širine temelja. Najstrožjemu kriteriju, da je cel temelj tlačni, zadostimo za pravokoten temelj z zahtevo, da je rezultanta v jedru prereza.

$$M_k = E_{a,k} \frac{H}{3} - G g_c \quad (74)$$

$$N_k = G \quad (75)$$

$$e = \frac{M_k}{N_k} \leq e_{kr} \quad (76)$$

$$e_{kr} = \frac{B}{6} \quad (77)$$

M...celoten moment na središče temeljne ploskve

N...celotna normalna sila na temeljno ploskev

e...ekscentričnost

e_{kr}...kritična vrednost ekscentričnosti

B...širina pete zidu

Opomba: vsi računski modeli zasnovani na varianti D imajo ekscentričnost manjšo od B/6.

- **Kontrola prevrnitve**

Dodatno varnost proti prevrnitvi (F) določimo kot razmerje med momentom prevrnitve (M_{prev}) in momentom odpora (M_{odp}). Moment prevrnitve je posledica vpliva aktivnega zemeljskega pritiska, moment odpora pa teže zidu in vertikalne komponente zemeljskega pritiska.

$$M_{prev} = E_{ak} r_e \quad (78)$$

$$M_{odp} = G r_G^A \quad (79)$$

$$F = \frac{M_{odp}}{M_{prev}} \quad (80)$$

M_{prev} ...moment prevrnitve,

M_{odp} ...moment odpora.

r_e ...ročica rezultante aktivnega zemeljskega pritiska,

r_G^A ...ročica sile teže konstrukcije,

F ...varnostni faktor proti prevrnitvi.

Preglednica 13: Dodatni varnostni faktorji proti prevrnitvi glede na posamezno varianto D

Varnostni faktor	D11	D12	D21	D22
Prevrnitev	4,71	3,02	3,28	3,29

Opomba: veliki varnostni faktorji izhajajo predvsem zaradi zahtev glede ekscentričnosti pete armirano betonskega podpornega zidu.

- **Nosilnost temeljnih tal**

Račun nosilnosti temeljnih tal je izveden po vzorčni metodi iz dodatka D v Evrokodu 7. Račun je izveden za drenirane pogoje. Za posamezne računske modele glej prilogo, kjer je predstavljen izračun nosilnosti temeljnih tal.

Enačba za račun nosilnosti temeljnih tal v dreniranih pogojih:

$$\frac{R}{A} = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (81)$$

Kjer je:

R...odpornost oziroma nosilnost temeljnih tal,

A'...ploščina računske površine centrično obremenjenega temelja ($A' = B' L'$)

q'...efektivni navpični tlak ob temelju na globini temeljne ploskve ($q' = D \gamma - D_w \gamma_w$),

c'...efektivna kohezija

N_c, N_q, N_γ ...koeficienti nosilnosti, odvisni od strižnega kota,

b_j, s_j, i_j ...koeficient nagiba in oblike temelja ter nagiba rezultante

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (82)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (83)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi \text{ pri } \delta \geq \frac{\varphi}{2} \quad (84)$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \tan \varphi) \quad (85)$$

$$b_c = \frac{b_q - (1 - b_q)}{N_c \tan \varphi} \quad (86)$$

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad (87)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad (88)$$

$$s_c = \frac{(s_q N_q - 1)}{(N_q - 1)} \quad (89)$$

$$i_c = \frac{i_q - (1 - i_q)}{N_c} \tan \varphi \quad (90)$$

$$i_q = \left[\frac{1 - H}{(V + A \cdot c \cdot \cot \varphi)} \right]^m \quad (91)$$

$$i_\gamma = \left[\frac{1 - H}{(V + A \cdot c \cdot \cot \varphi)} \right]^{m+1} \quad (92)$$

$$m = m_b = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{\frac{B'}{L'}}, \text{ če sila } H \text{ deluje v smeri } B' \quad (93)$$

$$m = m_l = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{\frac{L'}{B'}}, \text{ če sila } H \text{ deluje v smeri } L' \quad (94)$$

• **Kontrola pomikov**

Pomiki za računske primere so določeni z računalniškim programom PLAXIS in so predstavljeni v naslednjih preglednicah za varianto D. Točnejši potek deformacij in porušni mehanizem je razviden v prilogah.

Preglednica 14: Vhodni podatki za izračun pomikov in rezultati za varianto B

	E (kN/m ²)	v	φ(°)	γ(kN/m ³)	H (m)	F _g	d (cm)
D11	40000	0,30	36	21	5	1,47	2,0
D12	20000	0,30	28	18	5	3,14	2,6
D21	40000	0,30	36	21	8	1,27	6,8
D22	20000	0,30	28	18	8	1,39	7,0

E...elastični modul zaledne in zasipne zemljine

v...Poissonov količnik

φ...strižni kot zaledne zemljine

γ...prostorninska teža zaledne zemljine

H...višina brežine

F_g...globalni varnostni faktor

d (cm)...največji pomik konstrukcije

V Preglednici 14 so predstavljeni pomiki za računske modele zasnovane za varianto D. Pomiki so manjši glede na preostale variante zajete v nalogi (varianta A, B ter C), kar je posledica manjše deformabilnosti oziroma večje togosti armirano betonskega podpornega zidu. V prilogi so razvidna mesta največjih pomikov oziroma deformacij.

8 Zaključek

Namen naloge je bil analizirati različne rešitve gradnje strmih brežin. Glede na rezultate izračuna je razvidno, da so konstrukcije iz armirane brežine veliko bolj deformabilne kot podporni zid iz gabionov oziroma armirano betonski podporni zid. V primeru brežine višine 5 m se konstrukcije iz armiranih brežin deformirajo za približno 5 cm, težnostne podporne konstrukcije pa za okrog 2 cm pri skoraj enakem globalnem varnostnem faktorju ca. 1,50.

V primeru računskih modelov z višino 8 m so računski pomiki za konstrukcije iz armiranih zemljin približno 3 krat večji v primerjavi s pomiki iste konstrukcije z višino 5 m ter znašajo od 11 cm do 18 cm. Pri težnostnih konstrukcijah znaša razmerje od 2 do 2,5, pomiki 8 m visokega zidu znašajo od 4 cm do 8 cm.

V primeru, da želimo izvesti armirane brežine na konstrukcijah, kjer je merodajno mejno stanje uporabnosti (pomiki konstrukcije) moramo zagotoviti zadostno togost oziroma nosilnost armaturnih geosintetikov (geomrež). Z uporabo večje togosti in nosilnosti armaturnih geosintetikov (geomrež) dobimo manjše deformacije konstrukcije in posledično povečamo stroške gradnje.

- Ocena stroškov glede na posamezno varianto

Oceno stroškov sem izdelal za višino brežine 5 m in za zemljino TIP 1. Glede na oceno stroškov je najbolj ugodna varianta z armirano brežino in zatravljenim čelom (A). Varianta A je za približno 40%, varianta B za okoli 20% ter varianta C za okoli 10% cenejša od najbolj uporabljene rešitve z armirano betonskim podpornim zidom. Pri varianti C je možna uporaba armaturnih geosintetikov (geomrež) po principu variante B, kar bi zelo zmanjšalo stroške gradnje, tudi do 30% cene. Razmere med cenami je prikazano na Sliki 58. V stroških gradnje posameznih variant nisem upošteval potrebnega prostor za graditev posamezne konstrukcije, pri variantah B, C in D potrebujemo manj prostora za gradnjo konstrukcije v primerjavi z varianto A, kar je posledica naklona brežine.

Dela neodvisno od vrste konstrukcije: količina €/enoto €

Priprava okolice konstrukcije

izkop in odvoz odvečnega materiala na deponijo (m ³)	25,0	15,0	375,0
--	------	------	-------

Varianta A11: (armirana brežina z zatravljenim čelom)

izkop materiala za vgradnjo geomrež (m ³)	20,0	15,0	300,0
planum temeljnih tal (m ²)	25,0	15,0	375,0
izvedba kamnite grede (priprava temeljnih tal) (m ³)	2,0	20,0	40,0
dobava in vgradnja geomrež (m ²)	41,0	3,0	123,0
utrjevanje materiala v plasteh (30 cm) (plasti)	16,0	10,0	160,0
izdelava čela brežine (kovinske mreže, humus, semena,...) (m ²)	6,0	10,0	60,0

SKUPAJ (€) 1433

Varianta B11: (armirana brežina s prefabriciranimi betonskimi elementi)

izkop materiala za vgradnjo geomrež (m ³)	20,0	15,0	300,0
planum temeljnih tal (m ²)	25,0	15,0	375,0
izvedba kamnite grede (priprava temeljnih tal) (m ³)	2,0	20,0	40,0
dobava in vgradnja geomrež (m ²)	41,0	3,5	143,5
utrjevanje materiala v plasteh (30 cm) (plasti)	16,0	10,0	160,0
izdelava čela brežine (betonski elementi) (m ²)	5,0	100,0	500,0

SKUPAJ (€) 1894

Varianta C11: (podporni zid iz gabionov)

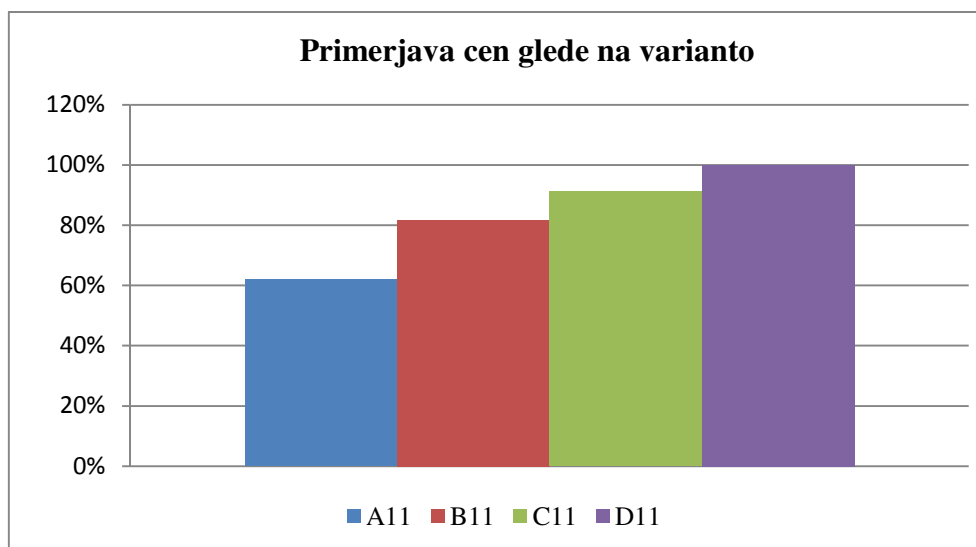
izkop materiala za vgradnjo gabionov	15,0	15,0	225,0
planum temeljnih tal (m ²)	5,0	15,0	75,0
izvedba kamnite grede (priprava temeljnih tal) (m ³)	1,0	20,0	20,0
dobava in vgradnja gabionov (kom)	9,0	150,0	1350,0
utrjevanje materiala v plasteh (30 cm) (plasti)	16,0	4,0	64,0

SKUPAJ (€) 2109

Varianta D11: (armirano betonski podporni zid)

izkop materiala za izdelavo arm. bet. zidu (m ³)	18,0	15,0	270,0
planum temeljnih tal (m ²)	5,0	15,0	75,0
izvedba kamnite grede (priprava temeljnih tal) (m ³)	1,5	20,0	30,0
dobava in vgradnja arm. bet. (armatura, opaž,...)	3,8	400,0	1500,0
utrjevanje materiala v plasteh (30 cm) (plasti)	16,0	4,0	64,0

SKUPAJ (€) 2314



Slika 59: Razmerje med cenami posameznih variant.

Na izbiro vrste gradnje konstrukcije ne vpliva samo cena ampak tudi vzdrževanje, uporabnost brežine oziroma konstrukcije, estetske zahteve ter tehnologija izvedbe konstrukcije. Tehnologija izvedbe za posamezne konstrukcije je zelo različna. Večina izvajalcev konstrukcij se odloča za tradicionalno oziroma najbolj pogosto gradnjo podpornih konstrukcij, za armirano betonski podporni zid. Ne glede na to za katero konstrukcijo se odločimo, moramo zagotoviti pravilno in redno vzdrževanje konstrukcije.

Smatram, da je rešitev z armirano brežino in zatravljenim čelom najbolj ugodna za večino primerov gradnje strmih brežin, saj poleg ugodne cene nudi tudi naravni izgled konstrukcije.

VIRI

Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, 2007: Stutzkonstruktionen: 7/1-7/35

Enviromesh. A reference guide for designing of mass gravity gabion walls, volume 1.

<http://www.enviromeshgabions.com/sites/enviromeshgabions.com/files/gabion%20design%20manual%2015-1-10.pdf> (17.12.2009).

Geomreže.

<http://www.geonova.si/geomreze.html> (17.12.2009).

Holtz, R.D., Christoper, B.R., Berg, R.R., 1998. Geosynthetic design & construction guidelines participant notebook: str. 257-364.

Logar, J., Geotehnične gradnje, Ljubljana, Univerza u Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: Oporne in podporne konstrukcije.

Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, 2001. Secugrid manual, reinforcement with geosynthetics examples of application and design

Pokharel, G., 1995. Deformation and ultimate load of reinforced soil structures theory and experiment: str. 8-9.

Rimoldi, P., Ricciuti, A., Recalcati, P., Steep reinforced slope.

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

Soil reinforcement design.

<http://www.terram.com/content.php?nID=101;langID> (10.12.2009)

Tenax, 2000. Reinforced soil slopes and walls, Basic concept of reinforced soil slopes and walls, str. 2-3.

PRILOGE

Priloga PA11:	izračun za računski primer A11
Priloga PA11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A11
Priloga PA12:	izračun za računski primer A12
Priloga PA12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A12
Priloga PA21:	izračun za računski primer A21
Priloga PA21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A21
Priloga PA22:	izračun za računski primer A22
Priloga PA22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer A22
Priloga PB11:	izračun za računski primer B11
Priloga PB11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B11
Priloga PB12:	izračun za računski primer B12
Priloga PB12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B12
Priloga PB21:	izračun za računski primer B21
Priloga PB21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B21
Priloga PB22:	izračun za računski primer B22
Priloga PB22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer B22
Priloga PC11:	izračun za računski primer C11
Priloga PC11/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C11
Priloga PC11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C11
Priloga PC12:	izračun za računski primer C12
Priloga PC12/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C12
Priloga PC12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C12
Priloga PC21:	izračun za računski primer C21
Priloga PC21/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C21
Priloga PC21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C21
Priloga PC22:	izračun za računski primer C22
Priloga PC22/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer C22
Priloga PC22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer C22
Priloga PD11:	izračun za računski primer D11
Priloga PD11/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D11

Priloga PD11/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D11
Priloga PD12:	izračun za računski primer D12
Priloga PD12/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D12
Priloga PD12/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D12
Priloga PD21:	izračun za računski primer D21
Priloga PD21/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D21
Priloga PD21/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D21
Priloga PD22:	izračun za računski primer D22
Priloga PD22/TT:	izračun nosilnosti temeljnih tal za računski primer D22
Priloga PD22/Pl:	rezultati pomikov in porušni mehanizem za računski primer D22

Nosilnost temeljnih tal za računski primer C22

Zemljina		Rezultati			
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$	
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c'_d (kPa)	0	$m_L=$	
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$	
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0		
Širina temelja B(B<L) (m)	3,0	ekscentričnost v smeri L: e_L	0		
Dolžina temelja L (m)	10,0				
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti			
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75
Nagnjenost temeljne ploskve	0,0	b_c	1,00	b_q	1,00
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	1,18	s_q	1,18
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	108,0	i_c	1,00	i_q	1,00
Delni faktor za težo	1,35				
		Vodoravna sila H_d		0	
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	135,0	Navpična sila V_d		243,0	
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B' (m)		3,0	
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L' (m)		10,0	
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A'=B'*L'$ (m ²)		30	
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00				
		Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)		4,5	
Varnostni faktor za strižni kot	1,00				
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	$R/A'=$		1531	
Varnostni faktor za obremenitev	1,40	Nosilnost tal R_d (kN)		32804	

1,77

1,23

1,77

53,40

1,00

0,91

1,00

Varianta C21 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 36^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 36^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 8,0 \text{ m} \\
 \delta &= 0,9 \cdot \varphi = 32,40^\circ \\
 \alpha &= 0^\circ \\
 \varepsilon &= 0^\circ \\
 \beta &= 86^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,719185573}{0,7623169 \cdot (1 + (\frac{0,546508906}{0,803539412})^{0,5})^2} = 0,283$$

$$P_a = 0,5 \cdot k_a \cdot \gamma_{zs,k} \cdot H^2 = 190,41 \text{ kN/m}$$

$$H = 8,0 \text{ m}$$

Prijemališče sile:

$$d_{h(z)} = H/3 \cdot \{(H+3h_s)/(H+2h_s)\} = 2,67 \text{ m}$$

$$h_s = H$$

$$dh = dh(z) - bw \cdot \sin \alpha = 2,15 \text{ m}$$

$$bw = 3,0 \text{ m}$$

$$\alpha = 10^\circ$$

Komponente aktivnega zemeljskega pritiska

$$P_{ah} = P_a \cdot \cos(90 - \beta + \delta) = 153,26 \text{ kN/m}$$

$$P_{av} = P_a \cdot \sin(90 - \beta + \delta) = 112,99 \text{ kN/m}$$

Teža zidu:

$$W_g = \Sigma u_w * u_d * \gamma_d = 195 \text{ kN/m}$$

n	uw	ud	γ_d	st	hc
8	1,00	1,00	15,0	0,50	7,50
7	1,00	1,00	15,0	0,50	6,50
6	1,00	1,00	15,0	0,50	5,50
5	2,00	1,00	15,0	1,00	4,50
4	2,00	1,00	15,0	1,00	3,50
3	3,00	1,00	15,0	1,50	2,50
2	3,00	1,00	15,0	1,50	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prijemališče sile W_g

$$x_g = \frac{\Sigma s_i * (u_w * u_d)}{\Sigma (u_w * u_d)} = 1,27 \text{ m}$$

$$y_g = \frac{\Sigma h_c * (u_w * u_d)}{\Sigma (u_w * u_d)} = 2,27 \text{ m}$$

$$X_g = x_g * \cos\alpha + y_g * \sin\alpha = 1,64 \text{ m}$$

Kontrola:

Prevrnitev

$$M_O = P_h * d_h = 328,86 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = P_v * b_v + W_g * X_g = 653,92 \text{ kNm/m}$$

$$b_v = b_w * \cos\alpha - d_{h(z)} / \tan\beta = 2,95 \text{ m}$$

$$F_s = M_r / M_o = 2,0 \quad \text{OK}$$

Zdrs:

$$N = W_g + P_v = 307,99 \text{ kN/m}$$

$$T = P_h = 153,26 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{(N * \cos\alpha + T * \sin\alpha) \tan\varphi(\text{temeljnih tal})}{(T * \cos\alpha - N * \sin\alpha)} = 1,5$$

$$\varphi(\text{temeljnih tal}) = 36^\circ$$

Napetosti na temeljnih tlemi:

$$e = (B/2) - (MR - MO)/N = < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,445 < 0,50$$

OK

$$\sigma_L = N/B * (1 + 6 * e/B) = 193,95 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_D = N/B * (1 - 6 * e/B) = 11,38 \text{ kN/m}^2$$

Ocena preseka žice

$$\sigma_v = 168,00 \text{ kPa}$$

$$P_a = 47,60 \text{ kPa}$$

$$h = 1,00 \text{ m}$$

$$P = 107,80 \text{ kPa}$$

$$T = (h * P)/2 = 53,90 \text{ kN}$$

$$A = 0,21 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_j = 260 \text{ kN/cm}^2$$

$$d = 0,51 \text{ cm} > \text{ izberem žico } d = 0,6 \text{ cm}$$

Kontrola posameznih gabionov
za višino gabionov 1m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 0,27 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 9,38 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 34,32$$

Zdrs:

$$N = 15,71 \text{ kN/m}$$

$$T = 1,71 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 2,50$$

za višino gabionov 2m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 3,38 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 22,76 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 6,74$$

Zdrs:

$$N = 32,82 \text{ kN/m}$$

$$T = 6,85 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 23,32$$

za višino gabionov 3m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
3	1,00	1,00	15,0	0,50	2,50
2	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 12,73 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 40,13 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 3,15$$

Zdrs:

$$N = 51,35 \text{ kN/m}$$

$$T = 15,41 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 6,18$$

za višino gabionov 4m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	1,00	1,00	15,0	0,50	2,50
2	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	2,00	1,00	15,0	1,00	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 37,78 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 129,48 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 3,43$$

Zdrs:

$$N = 112,36 \text{ kN/m}$$

$$T = 35,24 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 3,97$$

za višino gabionov 5m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	1,00	1,00	15,0	0,50	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	2,00	1,00	15,0	1,00	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 74,25 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 205,64 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 2,77$$

Zdrs:

$$N = 142,11 \text{ kN/m}$$

$$T = 56,27 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 3,54$$

za višino gabionov 6m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
6	1,00	1,00	15,0	0,50	5,50
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 114,69 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 333,14 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 2,90$$

Zdrs:

$$N = 182,33 \text{ kN/m}$$

$$T = 77,54 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 3,14$$

za višino gabionov 7m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
7	1,00	1,00	15,0	0,50	6,50
6	1,00	1,00	15,0	0,50	5,50
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	2,00	1,00	15,0	1,00	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	3,00	1,00	15,0	1,50	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 221,03 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 540,53 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 2,45$$

Zdrs:

$$N = 261,66 \text{ kN/m}$$

$$T = 121,96 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 2,71$$

Nosilnost temeljnih tal za računski primer C21

Zemljina		Rezultati					
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$		1,77	
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c	0	$m_L=$		1,23	
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$		1,77	
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0				
Širina temelja B(B<L) (m)	3,0	ekscentričnost v smeri L: e_L	0				
Dolžina temelja L (m)	10,0						
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti					
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75	N_{γ}	53,40
Nagnjenost temeljne ploskve	-10,0	b_c	8,46	b_q	8,27	b_{γ}	8,27
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	1,18	s_q	1,18	s_{γ}	0,91
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	168,0	i_c	1,00	i_q	1,00	i_{γ}	1,00
Delni faktor za težo	1,35						
		Vodoravna sila H_d			0		
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	363,0	Navpična sila V_d			531,0		
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B' (m)			3,0		
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L' (m)			10,0		
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A'=B'*L'$ (m ²)			30		
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00						
		Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)			12,1		
Varnostni faktor za strižni kot	1,00						
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	$R/A'=$			12653		
Varnostni faktor za obremenitev	1,40	Nosilnost tal R_d (kN)			271137		

Varianta C22 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina		Zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{zs,k} =$	28 °	$\varphi_{zl,k} =$	28 °	$\varphi_{tt,k} =$	36 °
$c_{zs,k} =$	0 kPa	$c_{zl,k} =$	0 kPa	$c_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{zs,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{zl,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$H = 8,0 \text{ m}$$

Določitev karakterističnih vplivov

$$\begin{aligned} \delta &= 0,9 \cdot \varphi = 25,20^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ E &= 0^\circ \\ \beta &= 73^\circ \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,963591927}{0,6466624 \cdot (1 + (\frac{0,375920608}{0,715831283})^{0,5})^2} = 0,501$$

$$P_a = 0,5 \cdot k_a \cdot \gamma \cdot H^2 = 288,55 \text{ kN/m}$$

Težišče:

$$\begin{aligned} dh(z) &= H/3 \cdot \{(H+3h_s)/(H+2h_s)\} = 2,67 \text{ m} \\ h_s &= H \\ d_h &= dh(z) - b_w \cdot \sin \alpha = 1,80 \text{ m} \\ b_w &= 5,0 \text{ m} \\ \alpha &= 10^\circ \end{aligned}$$

Aktivni zemeljski pritisk (horizontalna in vertikalna komponenta)

$$\begin{aligned} P_{ah} &= P_a \cdot \cos(90 - \beta + \delta) = 213,76 \text{ kN/m} \\ P_{av} &= P_a \cdot \sin(90 - \beta + \delta) = 193,83 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Teža zidu:

$$W_g = \Sigma u_w * u_d * \gamma_d = 270 \text{ kN/m}$$

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
8	1,00	1,00	15,0	0,50	7,50
7	1,00	1,00	15,0	0,50	6,50
6	2,00	1,00	15,0	1,00	5,50
5	2,00	1,00	15,0	1,00	4,50
4	3,00	1,00	15,0	1,50	3,50
3	4,00	1,00	15,0	2,00	2,50
2	4,00	1,00	15,0	2,00	1,50
1	5,00	1,00	15,0	2,50	0,50

Prijemališče sile W_g

$$x_g = \frac{\Sigma s_t * (u_w * u_d)}{\Sigma (u_w * u_d)} = 1,73 \text{ m}$$

$$y_g = \frac{\Sigma h_c * (u_w * u_d)}{\Sigma (u_w * u_d)} = 2,11 \text{ m}$$

$$X_g = x_g * \cos \alpha + y_g * \sin \alpha = 2,07 \text{ m}$$

STABILNOST:

Prevrnitev

$$M_o = P_h * d_h = 384,43 \text{ kNm/m}$$

$$M_r = P_v * b_v + W_g * X_g = 1512,7 \text{ kNm/m}$$

$$b_v = b_w * \cos \alpha - d_h(z) / \tan \beta = 4,92 \text{ m}$$

$$F_s = M_r / M_o = 3,93 \quad \text{OK}$$

Zdrs:

$$N = W_g + P_v = 463,83 \text{ kN/m}$$

$$T = P_h = 213,76 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{(N + \cos \alpha + T \sin \alpha) \tan \varphi(\text{temeljnih tal})}{(T * \cos \alpha - N * \sin \alpha)} = 1,58$$

$$\varphi(\text{temeljnih tal}) = 36^\circ$$

Ekscentičnost in napetosti na temeljnih tleh:

$$e = \frac{(B/2) - (M_R - M_O)}{N} < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,068 < 0,83$$

OK

$$\sigma_L = \frac{N}{B} \cdot (1 + 6 \cdot e / B) = 100,28 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_D = \frac{N}{B} \cdot (1 - 6 \cdot e / B) = 85,25 \text{ kN/m}^2$$

Ocena preseka žice

$$\sigma_v = 144,00 \text{ kPa}$$

$$P_a = 72,14 \text{ kPa}$$

$$h = 1,00 \text{ m}$$

$$P = 108,07 \text{ kPa}$$

$$T = \frac{(h \cdot P)}{2} = 54,03 \text{ kN} \quad \text{natezna sila v žici}$$

$$A = 0,21 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_j = 260 \quad \text{trdnost jeklene žice}$$

$$d = 0,51 \text{ cm} > \text{izberem žico} \quad d = 0,6 \text{ cm}$$

Kontrola posameznih gabionov

za višino gabionov 1m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 0,27 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 9,38 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 34,32$$

Zdrs:

$$N = 15,71 \text{ kN/m}$$

$$T = 1,71 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 2,50$$

za višino gabionov 2m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 5,90 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 17,40 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 2,95$$

Zdrs:

$$N = 32,40 \text{ kN/m}$$

$$T = 8,85 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 7,87$$

za višino gabionov 3m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
3	1,00	1,00	15,0	0,50	2,50
2	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	2,00	1,00	15,0	1,00	0,50

Prenmittev:

$$\begin{aligned} M_O &= 17,60 \text{ kNm/m} \\ M_R &= 92,10 \text{ kNm/m} \\ F_s &= 5,23 \end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned} N &= 77,65 \text{ kN/m} \\ T &= 26,97 \text{ kN/m} \\ F_s &= 4,51 \end{aligned}$$

za višino gabionov 4m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	1,00	1,00	15,0	0,50	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	2,00	1,00	15,0	1,00	0,50

Prenmittev:

$$\begin{aligned} M_O &= 44,66 \text{ kNm/m} \\ M_R &= 149,76 \text{ kNm/m} \\ F_s &= 3,35 \end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned} N &= 115,31 \text{ kN/m} \\ T &= 45,29 \text{ kN/m} \\ F_s &= 3,59 \end{aligned}$$

za višino gabionov 5m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 100,38 \text{ kNm/m} \\M_R &= 482,98 \text{ kNm/m} \\F_s &= 4,81\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 229,61 \text{ kN/m} \\T &= 87,61 \text{ kN/m} \\F_s &= 3,78\end{aligned}$$

za višino gabionov 6m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
6	1,00	1,00	15,0	0,50	5,50
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	2,00	1,00	15,0	1,00	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	3,00	1,00	15,0	1,50	1,50
1	4,00	1,00	15,0	2,00	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 156,96 \text{ kNm/m} \\M_R &= 747,90 \text{ kNm/m} \\F_s &= 4,76\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 289,03 \text{ kN/m} \\T &= 120,24 \text{ kN/m} \\F_s &= 3,25\end{aligned}$$

za višino gabionov 7m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
7	1,00	1,00	15,0	0,50	6,50
6	1,00	1,00	15,0	0,50	5,50
5	2,00	1,00	15,0	1,00	4,50
4	2,00	1,00	15,0	1,00	3,50
3	3,00	1,00	15,0	1,50	2,50
2	4,00	1,00	15,0	2,00	1,50
1	4,00	1,00	15,0	2,00	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 256,46 \text{ kNm/m} \\M_R &= 920,31 \text{ kNm/m} \\F_s &= 3,59\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 348,15 \text{ kN/m} \\T &= 156,50 \text{ kN/m} \\F_s &= 2,87\end{aligned}$$

Nosilnost temeljnih tal za računski primer C22

Zemljina

strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0
kohezija c (kPa)	0,0
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0
Nivo podtalnice (m)	0,0
Širina temelja $B(B<L)$ (m)	5,0
Dolžina temelja L (m)	10,0
Debelina temelja D (m)	1,0
Globina temelja z (m)	0,0
Nagnjenost temeljne ploskve	-10,0
Prerez stene (stebra)	0,0
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	324,0
Delni faktor za težo	1,35

Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	594,0
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00
Varnostni faktor za strižni kot	1,00
Varnostni faktor za kohezijo	1,00
Varnostni faktor za obremenitev	1,40

Rezultati

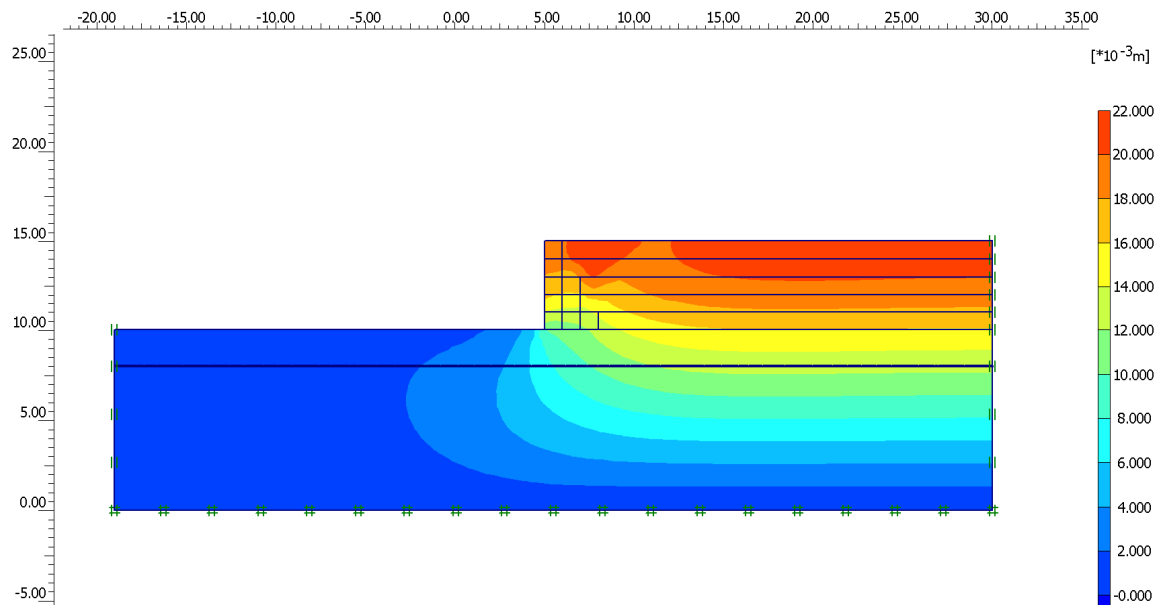
Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$	1,67
Projektna vrednost kohezije c	0	$m_L=$	1,33
Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$	1,67
ekscentričnost v smeri B : e_B	0		
ekscentričnost v smeri L : e_L	0		

Koeficienti

N_c	50,59	N_q	37,75	N_γ	53,40
b_c	8,46	b_q	8,27	b_γ	8,27
s_c	1,30	s_q	1,29	s_γ	0,85
i_c	1,00	i_q	1,00	i_γ	1,00

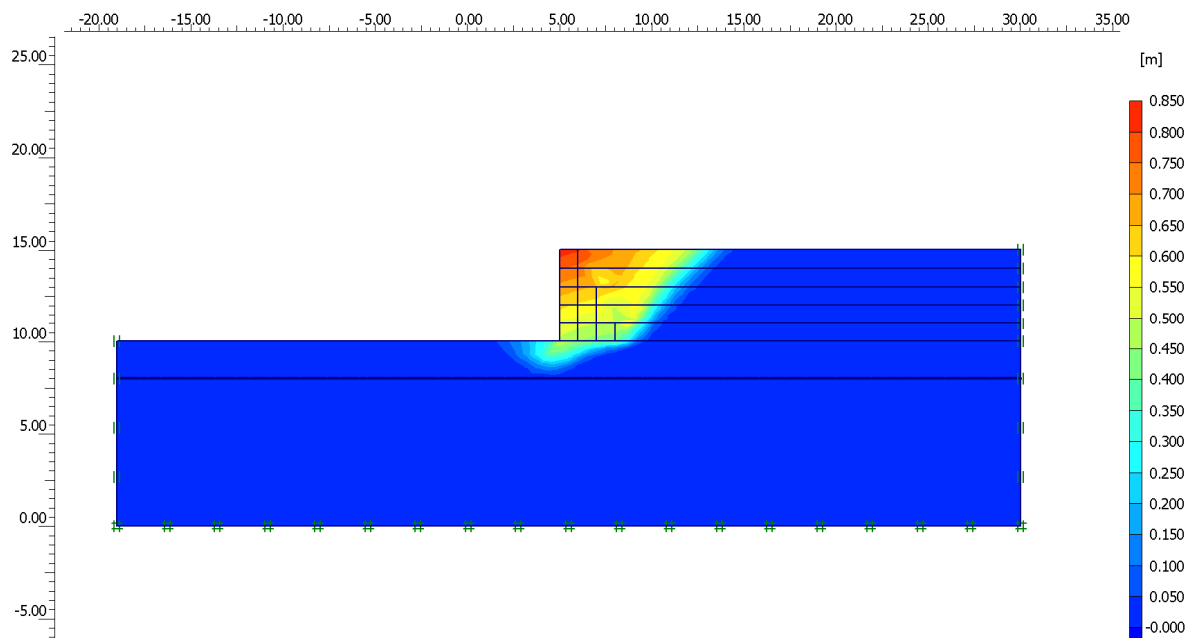
Vodoravna sila H_d	0
Navpična sila V_d	918,0
Širina centr. Obrem. Temelja B' (m)	5,0
Dolžina centr. Obrem. Temelja L' (m)	10,0
Ploščina $A'=B'*L'$ (m ²)	50
Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)	11,9
$R/A'=$	19698
Nosilnost tal R_d (kN)	703499

Pomiki v konstrukciji C11 določeni s programom PLAXIS znašajo 2,2 cm.



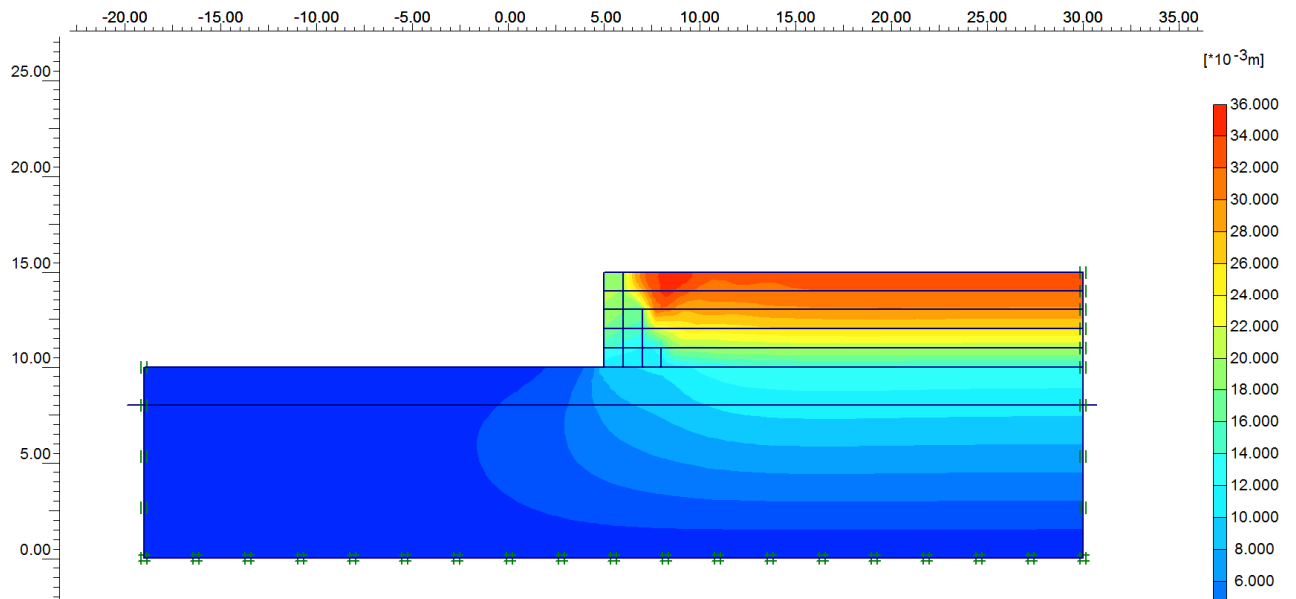
Slika 1: Pomiki v konstrukciji C11

Globalna varnost za konstrukcijo C11, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,57.



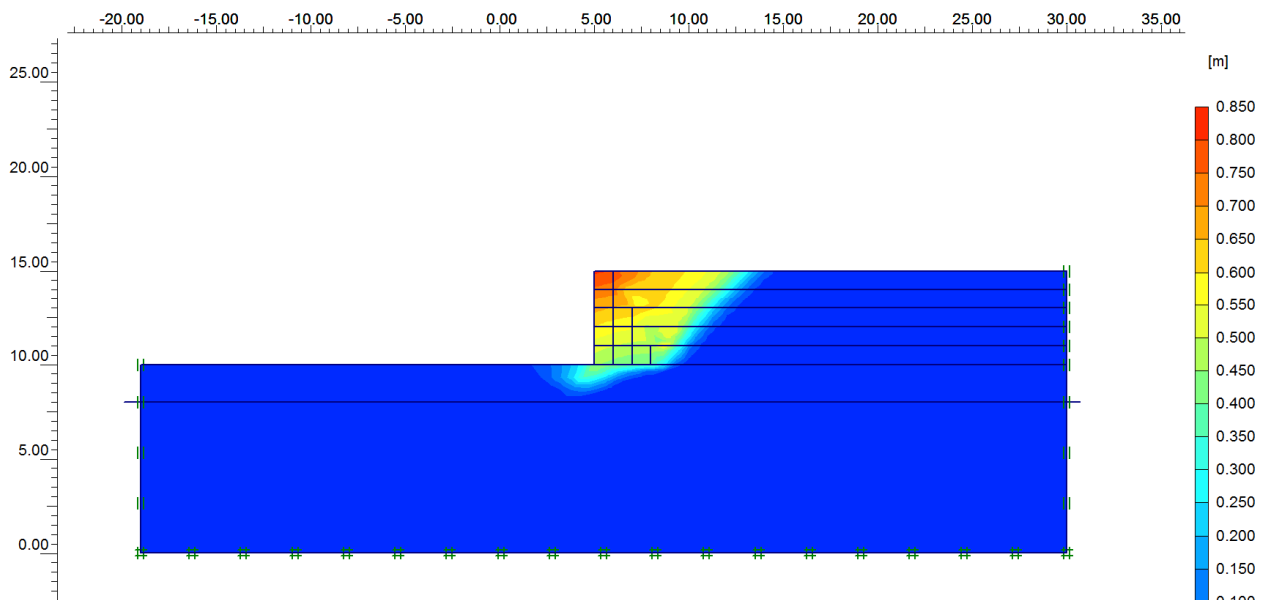
Slika 2: Porušni mehanizem v konstrukciji C11

Pomiki v konstrukciji C12 določeni s programom PLAXIS znašajo 3,5 cm.



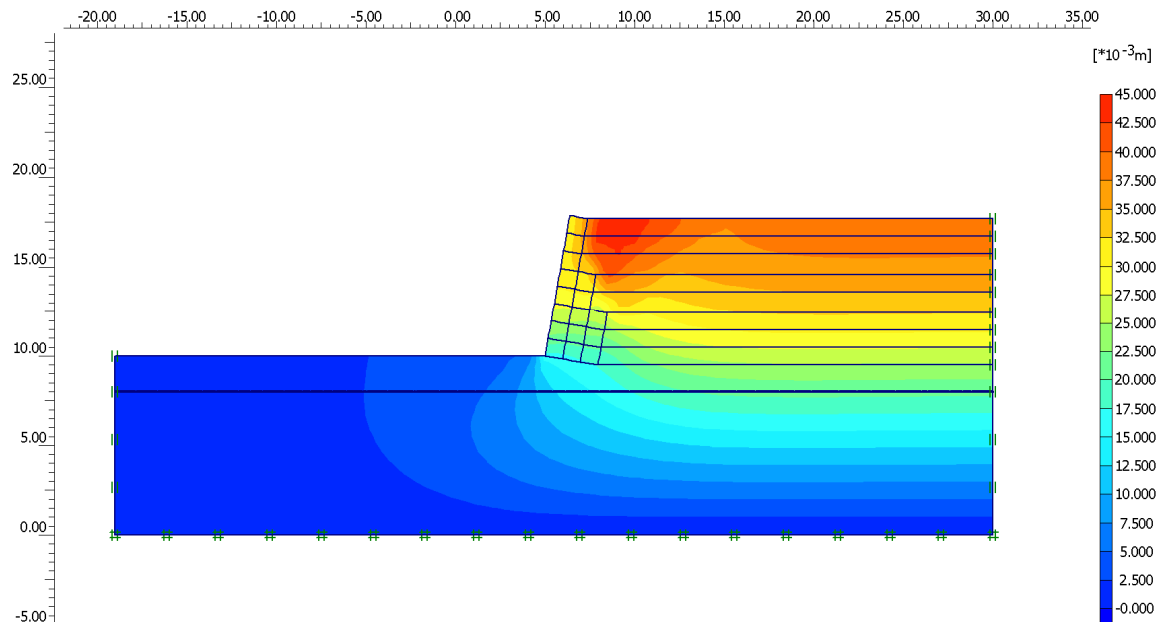
Slika 3: Pomiki v konstrukciji C12

Globalna varnost za konstrukcijo C12, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,51.



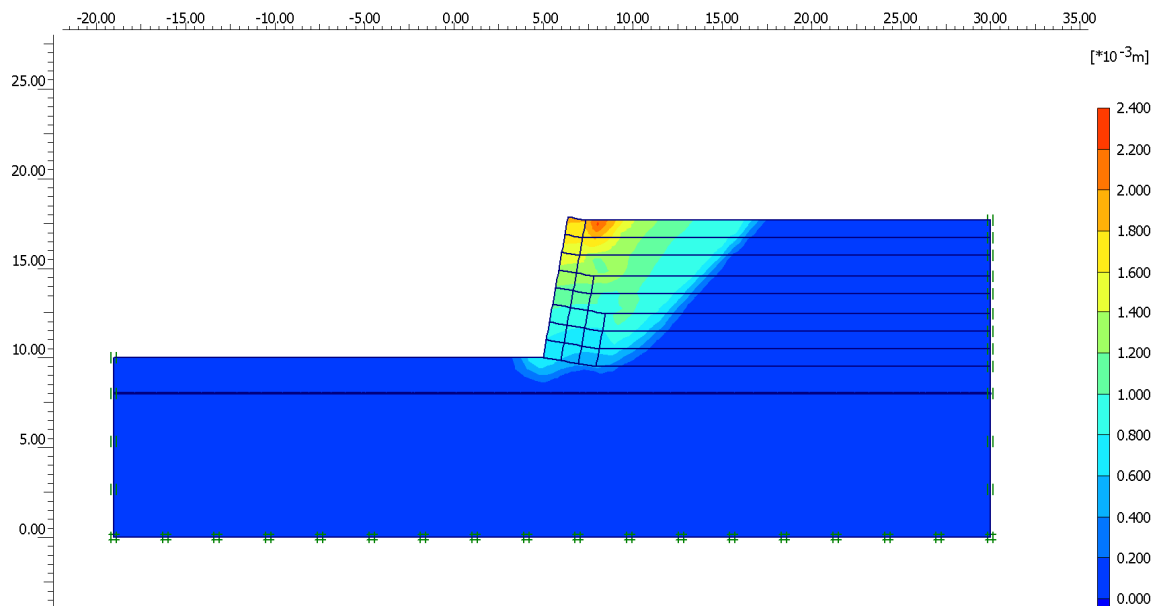
Slika 4: Porušni mehanizem v konstrukciji C12

Pomiki v konstrukciji C21 določeni s programom PLAXIS znašajo 4,3 cm.



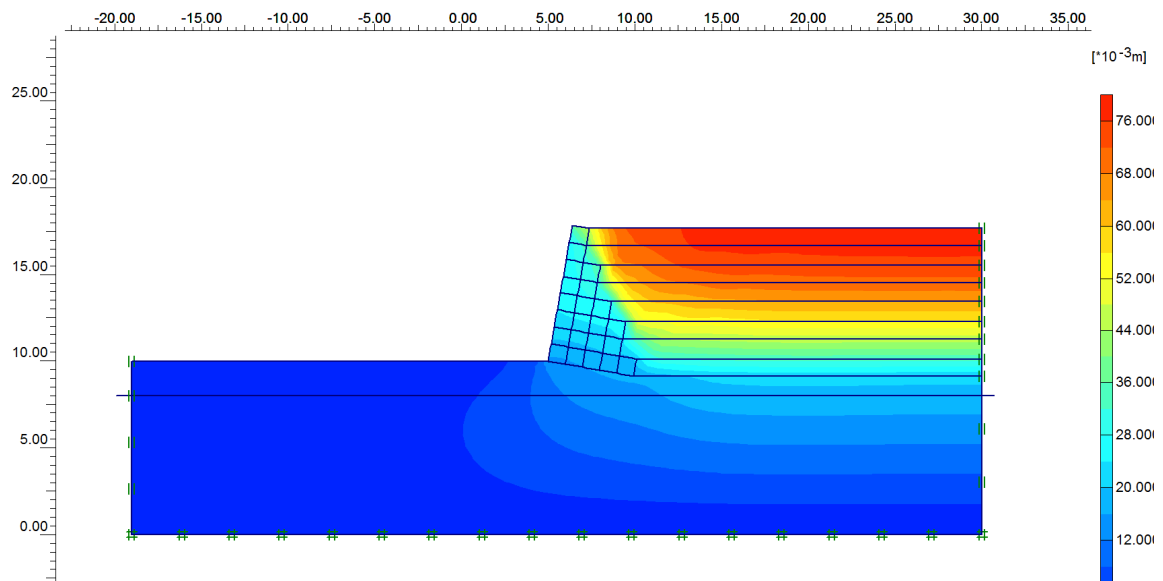
Slika 5: Pomiki v konstrukciji C21

Globalna varnost za konstrukcijo C21, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,3.



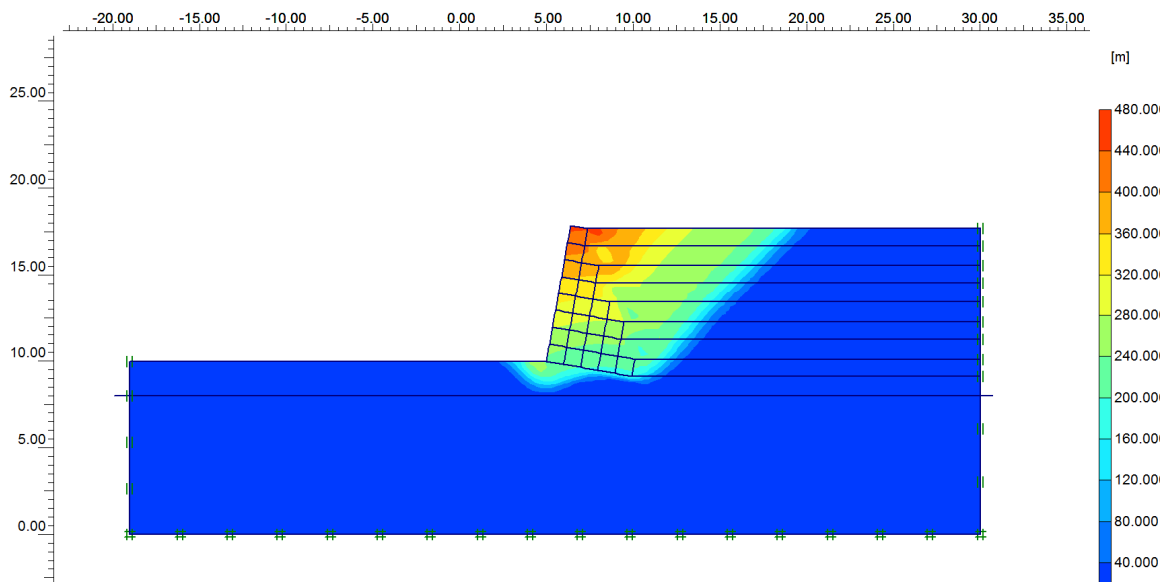
Slika 6: Porušni mehanizem v konstrukciji C21

Pomiki v konstrukciji C22 določeni s programom PLAXIS znašajo 8,0 cm.



Slika 7: Pomiki v konstrukciji C22

Globalna varnost za konstrukcijo C22, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,54.



Slika 8: Porušni mehanizem v konstrukciji C22

Varianta D11 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna in zaledna zemljina			Temeljna tla		
$\varphi_{z,l,k} =$	36	°	$\varphi_{t,t,k} =$	36	°
$c_{z,l,k} =$	0	kPa	$c_{t,t,k} =$	0	kPa
$\gamma_{z,l,k} =$	21	kN/m ³	$\gamma_{t,t,k} =$	21	kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned} H_1 &= 5,0 \text{ m} \\ B_1 &= 0,5 \text{ m} \\ \gamma_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija pete zidu

$$\begin{aligned} H_2 &= 0,5 \text{ m} \\ B_2 &= 2,5 \text{ m} \\ \gamma_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija zemljine na peti

$$\begin{aligned} H_3 &= 4,5 \text{ m} \\ B_3 &= 2,5 \text{ m} \\ \gamma_3 &= 21 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Določitev zemeljskih pritiskov:

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$\begin{aligned} \beta &= 0^\circ \\ \varphi &= 36,00^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi_{z,l,k} = 24,00^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,654508497}{0,913545458 \left(\left(1 + \frac{0,509}{0,9135} \right)^{0,5} \right)^2} = 0,235$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{a,k} = 0,5 * K_{ah,k} * \gamma_{zs} * H^2 = 61,66 \text{ kN/m}$$

Lastna teža zidu:

$$\begin{aligned} 1 \quad G_1 &= H_1 * B_1 * \gamma_1 = 62,5 \text{ kN/m} \\ 2 \quad G_2 &= H_2 * B_2 * \gamma_2 = 31,25 \text{ kN/m} \\ 3 \quad G_3 &= H_3 * B_3 * \gamma_3 = 236,25 \text{ kN/m} \\ G &= G_1 + G_2 + G_3 = 330 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Ročice:

$$\begin{aligned} g_1 &= B/2 = 0,25 \text{ m} \\ g_2 &= B + (B_p/2) = 1,75 \text{ m} \\ g_3 &= B + (B_z/2) = 1,75 \text{ m} \\ g_a &= 1,47 \text{ m} \\ g_c &= -0,03 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrola:

Legla rezultante:

$$e_k = \frac{(M_k/N_k)}{B} = 0,31$$

$$M_k = E_{ak} \cdot H/3 - G \cdot g_c =$$

$$M_k = 103,74 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_k = G$$

$$N_k = 330,00 \quad \text{kN/m}$$

$$e_k < B/6$$

$$0,31 < 0,5$$

OK

Zdrs:

$$T_d > E_{ad}$$

$$T_d = \frac{G \cdot \text{tg} \varphi_{tt,k}}{1,1} = 217,96 \quad \text{kN/m}$$

$$E_{ad} = E_{ak} \cdot 1,35 = 83,24 \quad \text{kN/m}$$

$$T_d > E_{ad}$$

$$217,96 < 83,2$$

OK

Dodatna varnost: F= 2,62

Prevrnitev:

$$M_{prev} < M_{odp}$$

$$M_{prev} = E_{ak} \cdot r_e = 102,76 \quad \text{kNm/m}$$

$$E_a = 61,66 \quad \text{kN/m}$$

$$r_e = 1,67 \quad \text{m}$$

$$M_{odp} = G \cdot r_G^A = 483,75 \quad \text{kNm/m}$$

$$G = 330,00 \quad \text{kN/m}$$

$$r_G^A = 1,47 \quad \text{m}$$

$$102,76 < 483,75$$

OK

Dodatna varnost: F= 4,71

Nosilnost temeljnih tal za računski primer D11

Zemljina		Rezultati					
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$		1,29	
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c	0	$m_L=$		1,71	
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$		1,29	
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0				
Širina temelja $B(B<L)$ (m)	2,5	ekscentričnost v smeri L: e_L	0				
Dolžina temelja L (m)	1,0						
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti					
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75	N_γ	53,40
Nagnjenost temeljne ploskve	0,0	b_c	1,00	b_q	1,00	b_γ	1,00
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	2,51	s_q	2,47	s_γ	0,25
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	94,5	i_c	1,00	i_q	1,00	i_γ	1,00
Delni faktor za težo	1,35						
		Vodoravna sila H_d		0			
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	330,0	Navpična sila V_d		424,5			
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B' (m)		2,5			
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L' (m)		1,0			
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A'=B'*L'$ (m ²)		2,5			
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00						
		Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)		132,0			
Varnostni faktor za strižni kot	1,00						
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	$R/A'=$		350			
Varnostni faktor za obremenitev	1,40	Nosilnost tal R_d (kN)		626			

Varianta D12 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna in zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{z,l,k} =$	28 °	$\varphi_{tt,k} =$	36 °
$c_{z,l,k} =$	0 kPa	$c_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{z,l,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned} H_1 &= 5,0 \text{ m} \\ B_1 &= 0,5 \text{ m} \\ \gamma_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija pete zidu

$$\begin{aligned} H_2 &= 0,5 \text{ m} \\ B_2 &= 2,5 \text{ m} \\ \gamma_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija zemljine na peti

$$\begin{aligned} H_3 &= 4,5 \text{ m} \\ B_3 &= 2,5 \text{ m} \\ \gamma_3 &= 18 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$\begin{aligned} \beta &= 0^\circ \\ \varphi &= 28,00^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi_{z,l,k} = 18,67^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,779596452}{0,947396643 \left(\left(1 + \frac{0,3415}{0,9474} \right)^{0,5} \right)^2} = \mathbf{0,321}$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{ag,k} = 0,5 * K_{ah,k} * \gamma * H^2 = \mathbf{84,34 \text{ kN/m}}$$

Lastna teža zidu:

$$\begin{aligned} 1 \quad G_1 &= H_1 * B_1 * \gamma_1 = 62,5 \text{ kN/m} \\ 2 \quad G_2 &= H_2 * B_2 * \gamma_2 = 31,25 \text{ kN/m} \\ 3 \quad G_3 &= H_3 * B_3 * \gamma_3 = 202,5 \text{ kN/m} \\ G &= G_1 + G_2 + G_3 = 296,25 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Ročice:

$$\begin{aligned} g_1 &= B/2 = 0,25 \text{ m} \\ g_2 &= B + (B_p/2) = 1,75 \text{ m} \\ g_3 &= B + (B_z/2) = 1,75 \text{ m} \\ g_a &= 1,43 \text{ m} \\ g_c &= -0,07 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrola:

Legat rezultante:

$$e_k = (M_k/N_k) = 0,49$$

$$M_k = E_{ak} \cdot H/3 - G \cdot g_c =$$

$$M_k = 146,20 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_k = G$$

$$N_k = 296,25 \quad \text{kN/m}$$

$$e_k < B/6$$

$$0,49 < 0,5$$

OK

Zdrs:

$$T_d > E_{ad}$$

$$T_d = \frac{G \cdot \text{tg} \varphi_{tt,k}}{1,1} = 195,67 \quad \text{kN/m}$$

$$E_{ad} = E_{ak} \cdot 1,35 = 113,86 \quad \text{kN/m}$$

$$T_d > E_{ad}$$

$$195,67 < 113,9$$

OK

Dodatna varnost: $F = 1,72$ **Prevrnitev:**

$$M_{prev} < M_{odp}$$

$$M_{prev} = E_{ak} \cdot r_e = 140,56 \quad \text{kNm/m}$$

$$E_a = 84,34 \quad \text{kN/m}$$

$$r_e = 1,67 \quad \text{m}$$

$$M_{odp} = G \cdot r_G^A = 424,69 \quad \text{kNm/m}$$

$$G = 296,25 \quad \text{kN/m}$$

$$r_G^A = 1,43 \quad \text{m}$$

$$140,56 < 424,69$$

OK

Dodatna varnost: $F = 3,02$

Nosilnost temeljnih tal za računski primer D12

Zemljina		Rezultati					
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$		1,29	
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c	0	$m_L=$		1,71	
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$		1,29	
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0				
Širina temelja $B(B<L)$ (m)	2,5	ekscentričnost v smeri L: e_L	0				
Dolžina temelja L (m)	1,0						
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti					
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75	N_γ	53,40
Nagnjenost temeljne ploskve	0,0	b_c	1,00	b_q	1,00	b_γ	1,00
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	2,51	s_q	2,47	s_γ	0,25
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	81,0	i_c	1,00	i_q	1,00	i_γ	1,00
Delni faktor za težo	1,35						
		Vodoravna sila H_d			0		
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	296,3	Navpična sila V_d			377,3		
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B^{\prime} (m)			2,5		
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L^{\prime} (m)			1,0		
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A^{\prime}=B^{\prime}*L^{\prime}$ (m ²)			2,5		
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00						
		Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)			118,5		
Varnostni faktor za strižni kot	1,00						
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	$R/A^{\prime}=$			350		
Varnostni faktor za obremenitev	1,40	Nosilnost tal R_d (kN)			626		

Varianta D21 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna in zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{z,k} =$	36 °	$\varphi_{tt,k} =$	36 °
$c_{z,k} =$	0 kPa	$c_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{z,k} =$	21 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned} H_1 &= 8,0 \text{ m} \\ B_1 &= 0,5 \text{ m} \\ \gamma_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija pete zidu

$$\begin{aligned} H_2 &= 1,0 \text{ m} \\ B_2 &= 3,5 \text{ m} \\ \gamma_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija zemljine na peti

$$\begin{aligned} H_3 &= 7 \text{ m} \\ B_3 &= 3,5 \text{ m} \\ \gamma_3 &= 21 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Določitev zemeljskih pritiskov:

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$\begin{aligned} \beta &= 0^\circ \\ \varphi &= 36,00^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi_{z,k} = 24,00^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,654508497}{0,913545458 \left(\left(1 + \frac{0,509}{0,9135} \right)^{0,5} \right)^2} = 0,235$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{ag,k} = 0,5 * K_{ah,k} * \gamma * H^2 = 157,85 \text{ kN/m}$$

Lastna teža zidu:

1	$G_1 =$	$H_1 * B_1 * \gamma_1 =$	100	kN/m
2	$G_2 =$	$H_2 * B_2 * \gamma_2 =$	87,5	kN/m
3	$G_3 =$	$H_3 * B_3 * \gamma_3 =$	514,5	kN/m
	$G =$	$G_1 + G_2 + G_3 =$	702	kN/m

Ročice:

$$\begin{aligned} g_1 &= B/2 = 0,25 \text{ m} \\ g_2 &= B + (B_p/2) = 2,25 \text{ m} \\ g_3 &= B + (B_z/2) = 2,25 \text{ m} \\ g_a &= 1,97 \text{ m} \\ g_c &= -0,03 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrola:

Legat rezultante:

$$e_k = (M_k/N_k) = 0,56$$

$$M_k = E_{ak} \cdot H/3 - G \cdot g_c =$$

$$M_k = 392,81 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_k = G$$

$$N_k = 702,00 \quad \text{kN/m}$$

$$e_k < B/6$$

$$0,56 < 0,7$$

OK

Zdrs:

$$T_d > E_{ad}$$

$$T_d = \frac{G \cdot \text{tg} \varphi_{\text{tt,k}}}{1,1} = 463,67 \quad \text{kN/m}$$

$$E_{ad} = E_{ak} \cdot 1,35 = 213,09 \quad \text{kN/m}$$

$$T_d > E_{ad}$$

$$463,67 < 213,1$$

OK

Dodatna varnost: $F = 2,18$ **Prevrnitev:**

$$M_{\text{prev}} < M_{\text{odp}}$$

$$M_{\text{prev}} = E_{ak} \cdot r_e = 420,92 \quad \text{kNm/m}$$

$$E_a = 157,85 \quad \text{kN/m}$$

$$r_e = 2,67 \quad \text{m}$$

$$M_{\text{odp}} = G \cdot r_G^A = 1379,5 \quad \text{kNm/m}$$

$$G = 702,00 \quad \text{kN/m}$$

$$r_G^A = 1,97 \quad \text{m}$$

$$420,92 < 1379,5$$

OK

Dodatna varnost: $F = 3,28$

Nosilnost temeljnih tal za računski primer D21

Zemljina		Rezultati					
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$		1,74	
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c	0	$m_L=$		1,26	
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$		1,74	
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0				
Širina temelja $B(B<L)$ (m)	3,5	ekscentričnost v smeri L: e_L	0				
Dolžina temelja L (m)	10,0						
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti					
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75	N_γ	53,40
Nagnjenost temeljne ploskve	0,0	b_c	1,00	b_q	1,00	b_γ	1,00
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	1,21	s_q	1,21	s_γ	0,90
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	147,0	i_c	1,00	i_q	1,00	i_γ	1,00
Delni faktor za težo	1,35						
		Vodoravna sila H_d			0		
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	702,0	Navpična sila V_d			849,0		
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B^{\prime} (m)			3,5		
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L^{\prime} (m)			10,0		
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A^{\prime}=B^{\prime}*L^{\prime}$ (m ²)			35		
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00						
		Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)			20,1		
Varnostni faktor za strižni kot	1,00						
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	$R/A^{\prime}=$			1757		
Varnostni faktor za obremenitev	1,40	Nosilnost tal R_d (kN)			43914		

Varianta D22 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna in zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{z1,k} =$	28 °	$\varphi_{t,k} =$	36 °
$c_{z1,k} =$	0 kPa	$c_{t,k} =$	0 kPa
$\gamma_{z1,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{t,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned} H_1 &= 8,0 \text{ m} \\ B_1 &= 0,5 \text{ m} \\ \gamma_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija pete zidu

$$\begin{aligned} H_2 &= 1,0 \text{ m} \\ B_2 &= 4,5 \text{ m} \\ \gamma_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Geometrija zemljine na peti

$$\begin{aligned} H_3 &= 7 \text{ m} \\ B_3 &= 4,5 \text{ m} \\ \gamma_3 &= 18 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Določitev zemeljskih pritiskov:

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$\begin{aligned} \beta &= 0^\circ \\ \varphi &= 28,00^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \delta &= \frac{2}{3} * \varphi_{z1,k} = 18,67^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,779596452}{0,947396643 \left(\left(1 + \frac{0,3415}{0,9474} \right)^{0,5} \right)^2} = \mathbf{0,321}$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{ag,k} = 0,5 * K_{ah,k} * \gamma * H^2 = \mathbf{215,91 \text{ kN/m}}$$

Lastna teža zidu:

1	$G_1 =$	$H_1 * B_1 * \gamma_1 =$	100	kN/m
2	$G_2 =$	$H_2 * B_2 * \gamma_2 =$	112,5	kN/m
3	$G_3 =$	$H_3 * B_3 * \gamma_3 =$	567	kN/m
	$G =$	$G_1 + G_2 + G_3 =$	779,5	kN/m

Ročice:

$$\begin{aligned} g_1 &= B/2 = 0,25 \text{ m} \\ g_2 &= B + (B_p/2) = 2,75 \text{ m} \\ g_3 &= B + (B_z/2) = 2,75 \text{ m} \\ g_a &= 2,43 \text{ m} \\ g_c &= -0,07 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrola:

Legaz rezultante:

$$e_k = (M_k/N_k) = 0,72$$

$$M_k = E_{ak} \cdot H/3 - G \cdot g_e =$$

$$M_k = 558,91 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_k = G$$

$$N_k = 779,50 \quad \text{kN/m}$$

$$e_k < B/6$$

$$0,72 < 0,8$$

OK

Zdrs:

$$T_d > E_{ad}$$

$$T_d = \frac{G \cdot \text{tg} \varphi_{tt,k}}{1,1} = 514,85 \quad \text{kN/m}$$

$$E_{ad} = E_{ak} \cdot 1,35 = 291,48 \quad \text{kN/m}$$

$$T_d > E_{ad}$$

$$514,85 < 291,5$$

OK

Dodatna varnost: F= 1,77

Prevrnitev:

$$M_{prev} < M_{odp}$$

$$M_{prev} = E_a \cdot r_e = 575,75 \quad \text{kNm/m}$$

$$E_a = 215,91 \quad \text{kN/m}$$

$$r_e = 2,67 \quad \text{m}$$

$$M_{odp} = G \cdot r_G^A = 1893,6 \quad \text{kNm/m}$$

$$G = 779,50 \quad \text{kN/m}$$

$$r_G^A = 2,43 \quad \text{m}$$

$$575,75 < 1893,6$$

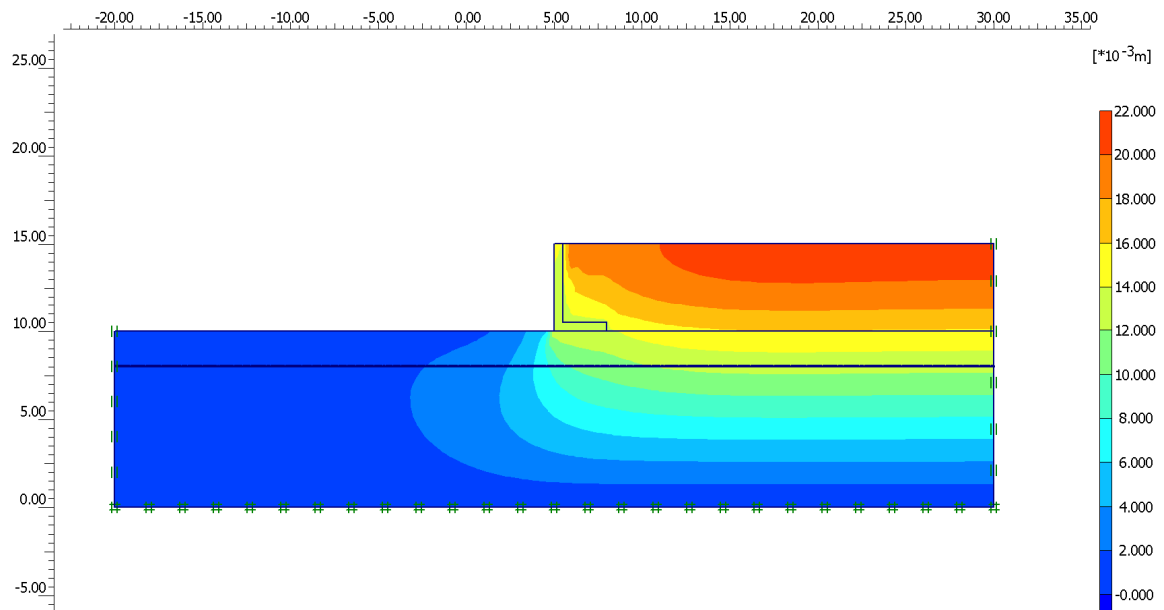
OK

Dodatna varnost: F= 3,29

Nosilnost temeljnih tal za računski primer D22

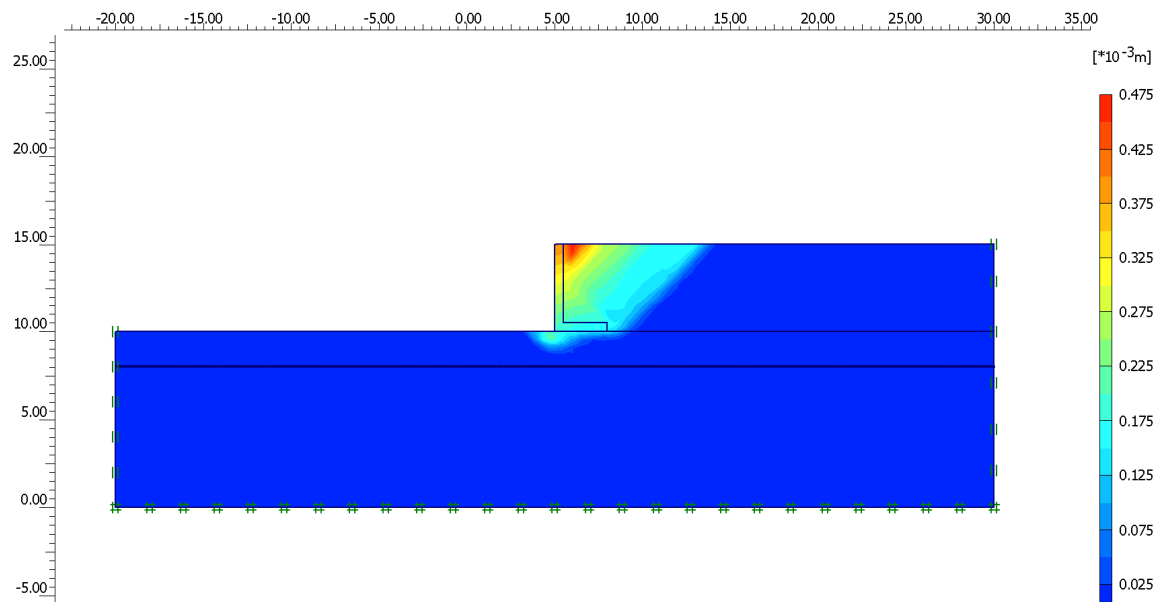
Zemljina		Rezultati					
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$		1,69	
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c	0	$m_L=$		1,31	
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$		1,69	
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0				
Širina temelja B(B<L) (m)	4,5	ekscentričnost v smeri L: e_L	0				
Dolžina temelja L (m)	10,0						
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti					
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75	N_{γ}	53,40
Nagnjenost temeljne ploskve	0,0	b_c	1,00	b_q	1,00	b_{γ}	1,00
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	1,27	s_q	1,26	s_{γ}	0,87
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	126,0	i_c	1,00	i_q	1,00	i_{γ}	1,00
Delni faktor za težo	1,35						
		Vodoravna sila H_d			0		
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	779,5	Navpična sila V_d			905,5		
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B^{\prime} (m)			4,5		
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L^{\prime} (m)			10,0		
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A^{\prime}=B^{\prime}*L^{\prime}$ (m ²)			45		
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00						
		Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)			17,3		
Varnostni faktor za strižni kot	1,00						
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	$R/A^{\prime}=$			2183		
Varnostni faktor za obremenitev	1,40	Nosilnost tal R_d (kN)			70158		

Pomiki v konstrukciji D11 določeni s programom PLAXIS znašajo 2,00 cm.



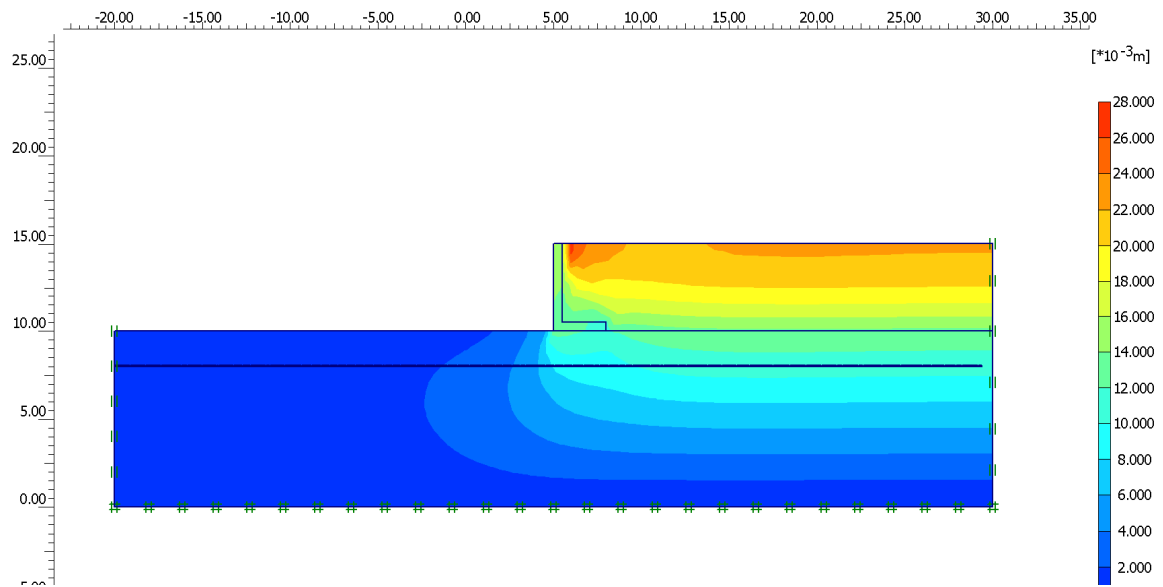
Slika 1: Pomiki v konstrukciji D11

Globalna varnost za konstrukcijo D11, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,47.



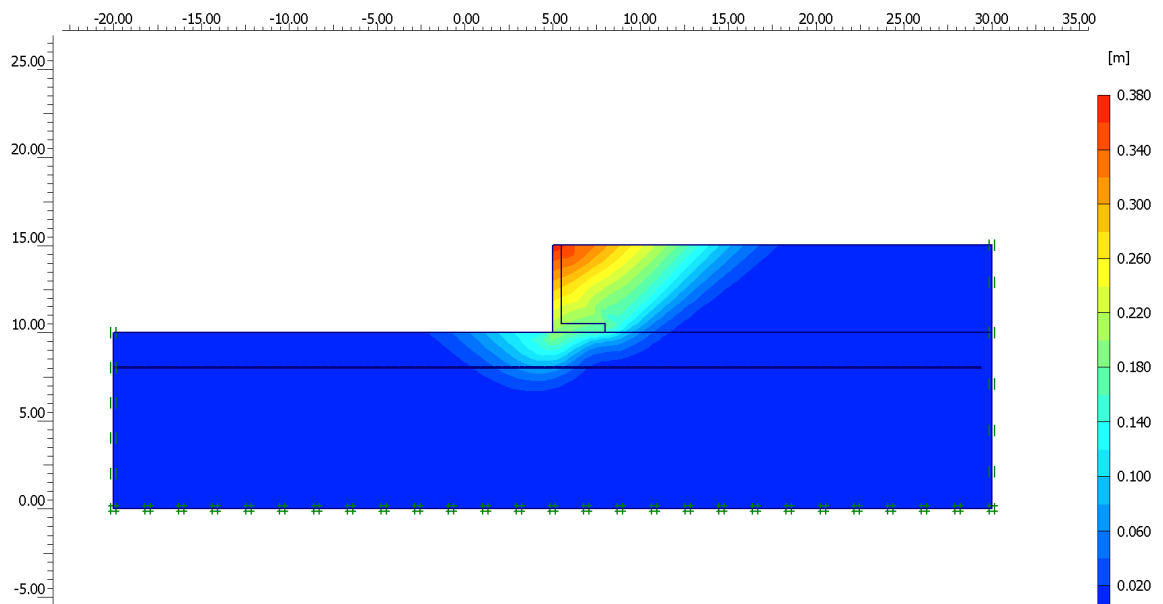
Slika 2: Porušni mehanizem v konstrukciji D11

Pomiki v konstrukciji D12 določeni s programom PLAXIS znašajo 2,60 cm.



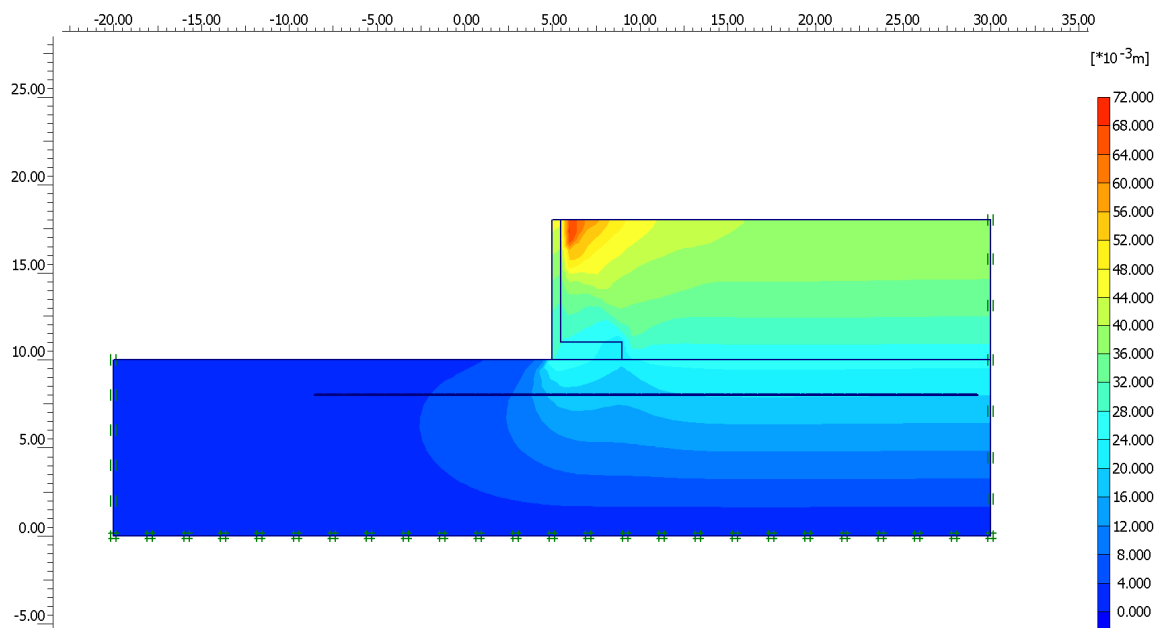
Slika 3: Pomiki v konstrukciji D12

Globalna varnost za konstrukcijo D12, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 3,14.



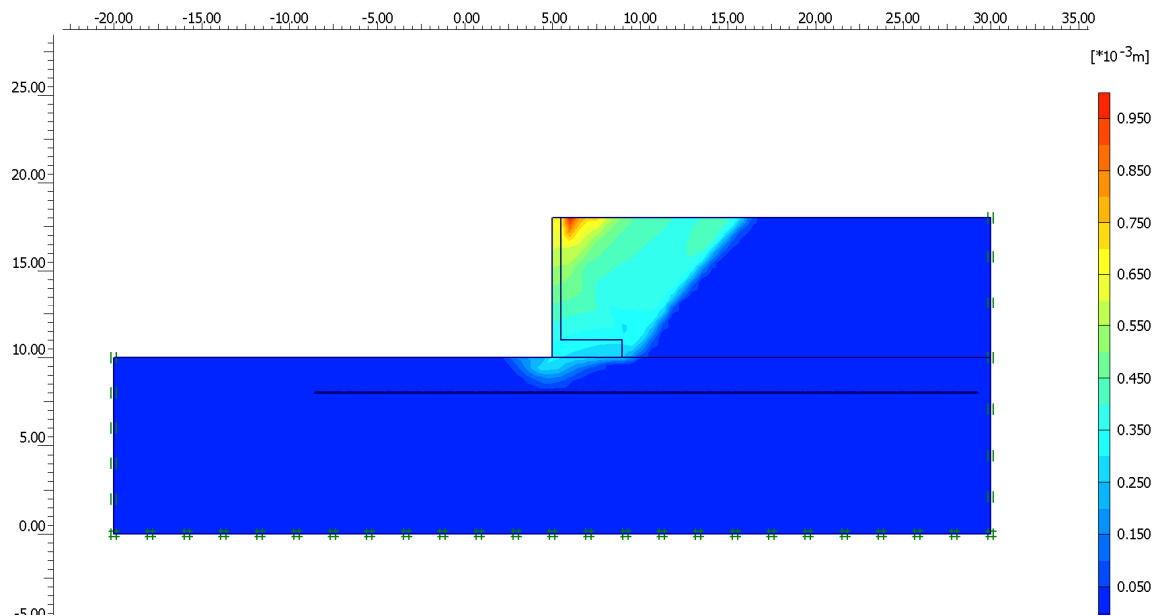
Slika 4: Porušni mehanizem v konstrukciji D12

Pomiki v konstrukciji D21 določeni s programom PLAXIS znašajo 6,80 cm.



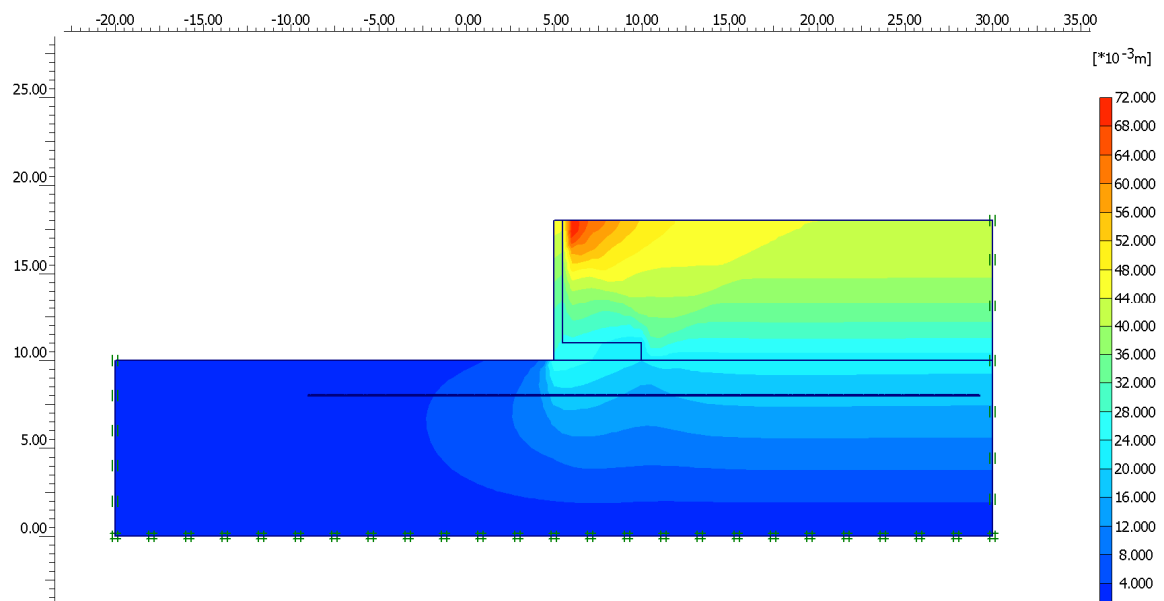
Slika 5: Pomiki v konstrukciji D21

Globalna varnost za konstrukcijo D21, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,27.



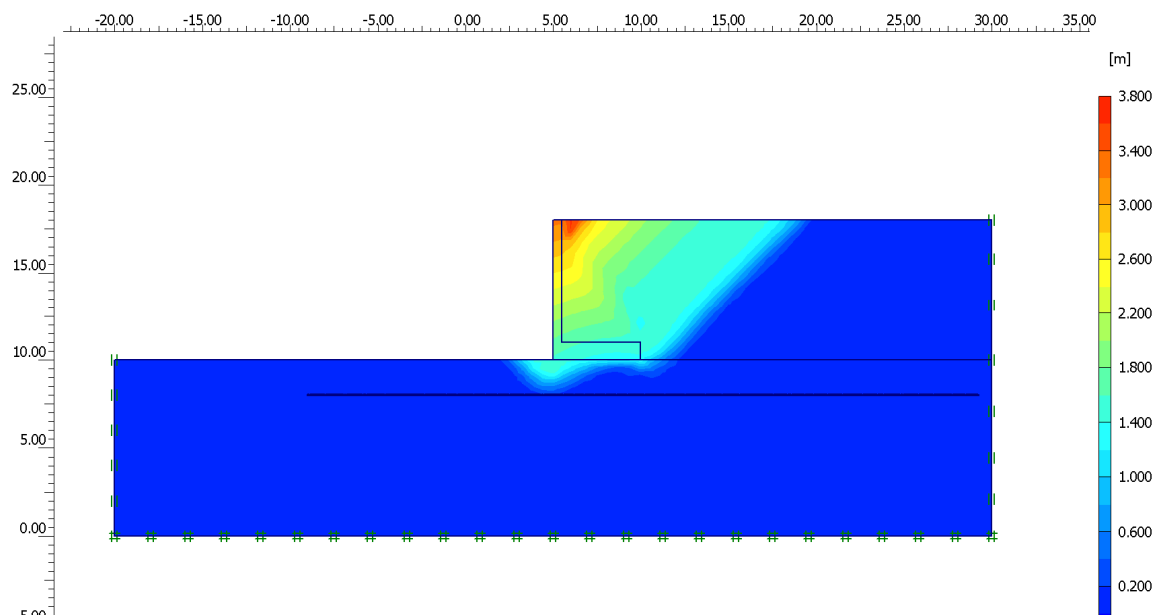
Slika 6: Porušni mehanizem v konstrukciji D21

Pomiki v konstrukciji D22 določeni s programom PLAXIS znašajo 7,00 cm.



Slika 7: Pomiki v konstrukciji D22

Globalna varnost za konstrukcijo D22, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,39.



Slika 8: Porušni mehanizem v konstrukciji D22

Varianta A11 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 36^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 36^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 5,0 \text{ m} \\
 B &= 0,7 \cdot H = 3,5 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 \cdot \varphi_{zs,k} = 24,00^\circ \\
 \alpha &= -35^\circ \\
 \beta &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,105994623}{0,658682 \cdot (1 + (\frac{0,50903696}{0,987659184})^{0,5})^2} = 0,055$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{agh,k} = 0,5 \cdot K_{ah,k} \cdot \gamma \cdot H^2 = 14,31 \text{ kN/m}$$

$$E_{agv,k} = E_{agh,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 23,82 \text{ kN/m}$$

Lastna teža

$$G_k = H \cdot B \cdot \gamma_{zs,k} = 367,50 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

$$N_{g,k} = E_{agv,k} + G_k = 391,32 \text{ kN/m}$$

$$T_{g,k} = E_{agh,k} = 14,31 \text{ kN/m}$$

$$T_d = T_{g,k} \cdot \gamma_g = 19,32 \text{ kN/m}$$

$$R_{t,d} = N_{g,k} \cdot (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 195,57 \text{ kN/m}$$

$$19,32 \text{ kN/m} \leq 195,57 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{s,k} = \lambda \cdot \tan \varphi = 28,8$$

$$\lambda = 0,8$$

$$\text{Izkoriščenost: } \frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,10 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 10,12$$

Lega rezultante:

$$M_k = (Ea_{gh,k} * H/3) - (Ea_{gv,k} * B/2) = -17,83 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 415,14 \quad \text{kN/m}$$

$$e = (M_k/N_k) = -0,04 \leq b/3 = 1,17 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk}/\gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00$$

$$i_b = 0,89$$

$$\tan\delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,04$$

$$N_b = 23,88$$

Nadomestna širina:

$$b' = 3,59 \quad \text{m}$$

$$R_{nk} = 6447,88 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{nd} = 4605,63 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d = 560,44 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$

$$560,44 \leq 4605,63$$

OK

$$\text{Izkoriščenost: } m = 0,12 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 8,22$$

Projektne vrednosti

$$\tan\varphi_{i,d} = \frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan\varphi_{i,k}/\gamma_\varphi)$$

$$C_{i,d} = \frac{C_{i,k}}{\gamma_C}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,d} = 30,2^\circ$	$\varphi_{zl,d} = 30,2^\circ$	$\varphi_{tt,d} = 30,2^\circ$
$c_{zs,d} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,d} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,d} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,d} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,d} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,d} = 21 \text{ kN/m}^3$

Varnostni faktorji za geomreže

$A1 = 2,5$
 $A2 = 1,2$
 $A3 = 1,0$
 $A4 = 1,0$
 $A5 = 1,0$
 $\gamma_M = 1,40$
 $R_{b1,ko} = 40,00 \text{ kN/m}$
 $R_{b2,ko} = 60,00 \text{ kN/m}$

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 9,52 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 14,29 \text{ kN/m}$$

Število plasti = 4 $R_{b2,d}$

Število plasti = 4 $R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

izberem $l_v = 0,60 \text{ m}$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d} / 2$$

$$\theta = 60,08^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 151,05 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,21 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,34 \text{ kN/m}$$

št. plasti	B(θ)=	H(θ)*tg(90-θ)
	B(θ)	H(θ)
1	0,46	0,80
2	0,81	1,40
3	1,15	2,00
4	1,50	2,60
5	1,84	3,20
6	2,19	3,80
7	2,53	4,40
8	2,88	5,00

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 0,21 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,34 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 87,23 \text{ kN/m}$$

$$R_{ai,d} = 2 \cdot s_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / g_B) = f_{sg,k} = 0,8 \cdot \tan F_{zs,v,k}$$

$$2 \cdot s_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan F_{zs,v,k} / g_B) =$$

$$2 \cdot g_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan F_{zs,v,k} / g_B) =$$

$$= 17,44 \cdot h_i \cdot L_{ai}$$

št. plasti	h_i	$B_{(\theta)}$	L_{ai}	R_{aid}
1	0,80	2,88	0,62	8,69
2	1,40	2,53	0,97	23,64
3	2,00	2,19	1,31	45,80
4	2,60	1,84	1,66	75,20
5	3,20	1,50	2,00	111,82
6	3,80	1,15	2,35	155,66
7	4,40	0,81	2,69	206,72
8	5,00	0,46	3,04	265,01

$\theta=60,08^\circ$	Oсна nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	9,52	8,69	8,69
2	9,52	23,64	9,52
3	9,52	45,80	9,52
4	9,52	75,20	9,52
5	14,29	111,82	14,29
6	14,29	155,66	14,29
7	14,29	206,72	14,29
8	14,29	265,01	14,29

$$F_{Rdi} = 94,40$$

$$\Sigma F = 87,23 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} = 94,40 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo brežine

$$\begin{aligned}\varphi_{zs,k} &= 36^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 24,00^\circ \\ \alpha &= -35^\circ \\ \beta &= 0^\circ\end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,105994623}{0,933659 \left(1 + \frac{0,50903696}{0,913545458}\right)^{0,5}} = 0,037$$

št. plasti	z _i (m)	H _i (m)	η _g	lv(m)	e _{čela} (kN/m)	E _{čela} (kN/m)	R _{bi,d} ali R _{ai,d} > E _{čela}
1	0,8	0,4	0,5	0,8	0,16	0,13	9,52
2	1,4	1,1	0,5	0,6	0,43	0,26	9,52
3	2	1,7	0,5	0,6	0,66	0,40	9,52
4	2,6	2,3	0,5	0,6	0,90	0,54	9,52
5	3,2	2,9	0,5	0,6	1,13	0,68	14,29
6	3,8	3,5	0,5	0,6	1,37	0,82	14,29
7	4,4	4,1	0,5	0,6	1,60	0,96	14,29
8	5	4,7	0,5	0,6	1,84	1,10	14,29

Dolžina ovijanja čela brežine

$$l_1 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} = 0,03 \text{ m}$$

$$l_8 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} = 0,12 \text{ m} > \text{izberem: } 1,0 \text{ m}$$

skupna dolžina ovijanja čela brežine $l_v + l_i = 1,60 \text{ m}$

Varianta A12 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 28^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 28^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 5,0 \text{ m} \\
 B &= 0,7 \cdot H = 3,5 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 \cdot \varphi_{zs,k} = 18,67^\circ \\
 \alpha &= -35^\circ \\
 \beta &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,206107374}{0,643929 \cdot (1 + (\frac{0,34148124}{0,972858801})^{0,5})^2} = 0,126$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$\begin{aligned}
 E_{agh,k} &= 0,5 \cdot K_{ah,k} \cdot \gamma \cdot H^2 = 28,40 \text{ kN/m} \\
 E_{agv,k} &= E_{agh,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 38,61 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Lastna teža

$$G_k = H \cdot B \cdot \gamma_{zs,k} = 315,00 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$\begin{aligned}
 T_d &\leq R_{t,d} + E_{p,d} \\
 N_{g,k} &= E_{agv,k} + G_k = 353,61 \text{ kN/m} \\
 T_{g,k} &= E_{agh,k} = 28,40 \text{ kN/m} \\
 T_d &= T_{g,k} \cdot \gamma_g = 38,34 \text{ kN/m} \\
 R_{t,d} &= N_{g,k} \cdot (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 132,50 \text{ kN/m} \\
 38,34 \text{ kN/m} &\leq 132,50 \text{ kN/m} \\
 \delta_{s,k} &= \lambda \cdot \tan \varphi = 22,4 \\
 \lambda &= 0,8 \\
 \text{Izkoriščenost: } & \frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,29 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 3,46
 \end{aligned}$$

Legat rezultante:

$$M_k = (Ea_{gh,k} * H/3) - (Ea_{gv,k} * B/2) = -20,24 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 392,23 \quad \text{kN/m}$$

$$e = (M_k / N_k) = -0,05 \leq b/3 = 1,17 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk} / \gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00$$

$$i_b = 0,78$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,08$$

$$N_b = 20,77$$

Nadomestna širina:

$$b' = 3,60 \quad \text{m}$$

$$R_{nk} = 5663,32 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{nd} = 4045,23 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d = 529,51 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d \leq R_d \\ 529,51 \leq 4045,23 \\ \text{OK}$$

$$\text{Izkoriščenost: } \mu = 0,13 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 7,64$$

Projektne vrednosti

$$\tan \varphi_{i,d} = \frac{\tan \varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan \varphi_{i,k} / \gamma_\varphi)$$

$$C_{i,d} = \frac{C_{i,k}}{\gamma_C}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,d} = 23,0^\circ$	$\varphi_{zl,d} = 23,0^\circ$	$\varphi_{tt,d} = 30,2^\circ$
$c_{zs,d} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,d} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,d} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,d} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,d} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,d} = 21 \text{ kN/m}^3$

Varnostni faktorji za geomreže

$A1 = 2,5$
 $A2 = 1,2$
 $A3 = 1,0$
 $A4 = 1,0$
 $A5 = 1,0$
 $\gamma_M = 1,40$
 $R_{b1,ko} = 60,00 \text{ kN/m}$
 $R_{b2,ko} = 80,00 \text{ kN/m}$

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 14,29 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 19,05 \text{ kN/m}$$

Spodnje plasti 4 $R_{b2,d}$
 Zgornje plasti 4 $R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

izberem $l_v = 0,60 \text{ m}$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d} / 2$$

$$\theta = 56,52^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) * \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 * \gamma_{zs,d} * B_{(\theta)} * H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} * B_{(\theta)} * (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 148,80 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 * \gamma_{zs,d} * K_{ah,gd} * (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,41 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} * \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,56 \text{ kN/m}$$

št. plasti	B(θ)=	H(θ)*tg(90-θ)
	B(θ)	H(θ)
1	0,53	0,80
2	0,93	1,40
3	1,32	2,00
4	1,72	2,60
5	2,12	3,20
6	2,51	3,80
7	2,91	4,40
8	3,31	5,00

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 0,41 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,56 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 99,05 \text{ kN/m}$$

$$R_{ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / \gamma_B) = \quad f_{sg,k} = 0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k}$$

$$2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$= 10,94 \cdot h_i \cdot L_{ai}$$

št. plasti	h_i	$B_{(\theta)}$	L_{ai}	R_{aid}
1	0,80	3,31	0,19	1,69
2	1,40	2,91	0,59	9,04
3	2,00	2,51	0,99	21,59
4	2,60	2,12	1,38	39,35
5	3,20	1,72	1,78	62,32
6	3,80	1,32	2,18	90,50
7	4,40	0,93	2,57	123,89
8	5,00	0,53	2,97	162,48

$\theta = 56,52^\circ$	Oсна nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	14,29	1,69	1,69
2	14,29	9,04	9,04
3	14,29	21,59	14,29
4	14,29	39,35	14,29
5	19,05	62,32	19,05
6	19,05	90,50	19,05
7	19,05	123,89	19,05
8	19,05	162,48	19,05

$$F_{Rdi} = 115,49$$

$$\Sigma F = 99,05 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} = 115,49 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo brežine

$$\begin{aligned}\varphi_{zs,k} &= 28^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 18,67^\circ \\ \alpha &= -35^\circ \\ \beta &= 0^\circ\end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,206107374}{0,936566 \left(1 + \left(\frac{0,34148124}{0,947396643}\right)^{0,5}\right)^2} = 0,086$$

št. plasti	z _i (m)	H _i (m)	η _g	lv(m)	e _{čela} (kN/m)	E _{čela} (kN/m)	R _{bi,d} ali R _{ai,d} > E _{čela}
1	0,8	0,4	0,5	0,8	0,31	0,25	14,29
2	1,4	1,1	0,5	0,6	0,85	0,51	14,29
3	2	1,7	0,5	0,6	1,31	0,79	14,29
4	2,6	2,3	0,5	0,6	1,78	1,07	14,29
5	3,2	2,9	0,5	0,6	2,24	1,35	19,05
6	3,8	3,5	0,5	0,6	2,71	1,62	19,05
7	4,4	4,1	0,5	0,6	3,17	1,90	19,05
8	5	4,7	0,5	0,6	3,63	2,18	19,05

Dolžina ovijanja čela brežine

$$l_1 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} = 0,01 \text{ m}$$

$$l_8 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} = 0,11 \text{ m} > \text{izberem: } 1,0 \text{ m}$$

skupna dolžina ovijanja čela brežine $l_v + l_i = 1,60 \text{ m}$

Varianta A21 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 36^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 36^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$H = 8,0 \text{ m}$$

$$B = 0,7 * H = 5,6 \text{ m}$$

Določitev karakterističnih vplivov

$$\delta = 2/3 * \varphi = 24,00^\circ$$

$$\alpha = -35^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,105994623}{0,6586817 \left(1 + \left(\frac{0,50903696}{0,987659184}\right)^{0,5}\right)^2} = 0,055$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{agh,k} = 0,5 * K_{ah,k} * \gamma * H^2 = 36,64 \text{ kN/m}$$

$$E_{agv,k} = E_{agh,k} * \tan(\delta - \alpha) = 60,98 \text{ kN/m}$$

Lastna teža

$$G_k = H * B * \gamma_{zl,k} = 940,80 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

$$N_{g,k} = E_{agv,k} + G_k = 1001,78 \quad \text{kN/m}$$

$$T_{g,k} = E_{agh,k} = 36,64 \quad \text{kN/m}$$

$$T_d = T_{g,k} \cdot \gamma_g = 49,47 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{t,d} = N_{g,k} \cdot (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 500,67 \quad \text{kN/m}$$

$$49,47 \quad \text{kN/m} \leq 500,67 \quad \text{kN/m}$$

$$\delta_{s,k} = \lambda \cdot \tan \varphi = 28,8$$

$$\lambda = 0,8$$

$$\text{Izkoriščenost: } \frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,10 \quad \rightarrow \quad \text{Dodatna varnost: } 10,12$$

Lega rezultante:

$$M_k = (E_{agh,k} \cdot H/3) - (E_{agv,k} \cdot B/2) = -73,04 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 1062,76 \quad \text{kN/m}$$

$$e = (M_k / N_k) = -0,07 \leq b/3 = 1,87 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk} / \gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00$$

$$i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1}$$

$$i_b = 0,89$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,04$$

$$N_b = 23,88$$

Nadomestna širina:

$$b' = 5,74 \quad \text{m}$$

$$R_{nk} = 16506,56 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{nd} = 11790,40 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d = 1434,73 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$

$$1434,73 \leq 11790,40$$

OK

Izkoriščenost: $\mu = 0,12 \quad \rightarrow \quad$ Dodatna varnost: 8,22

Projektne vrednosti

$$\tan\varphi_{i,d} = \frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma\varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan\varphi_{i,k}/\gamma\varphi)$$

$$C_{i,d} = \frac{C_{i,k}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,d} = 30,2 \quad ^\circ$	$\varphi_{zl,d} = 30,2 \quad ^\circ$	$\varphi_{tt,d} = 30,2 \quad ^\circ$
$c_{zs,d} = 0 \quad \text{kPa}$	$c_{zl,d} = 0 \quad \text{kPa}$	$c_{tt,d} = 0 \quad \text{kPa}$
$\gamma_{zs,d} = 21 \quad \text{kN/m}^3$	$\gamma_{zl,d} = 21 \quad \text{kN/m}^3$	$\gamma_{tt,d} = 21 \quad \text{kN/m}^3$

Varnostni faktorji za geomreže

A1	2,5
A2	1,2
A3	1,0
A4	1,0
A5	1,0
γ_M	1,40
$R_{b1,ko}$	70,00 kN/m
$R_{b2,ko}$	80,00 kN/m

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 16,67 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 19,05 \text{ kN/m}$$

Število plasti	7	$R_{b2,d}$
Število plasti	6	$R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

$$\text{izberem } l_v = 0,60 \text{ m}$$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d} / 2$$

$$\theta = 60,08^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 386,68 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,21 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,34 \text{ kN/m}$$

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 0,21 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,34 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 222,82 \text{ kN/m}$$

št. plasti	$B(\theta) =$	$H(\theta) \cdot \tan(90 - \theta)$
	$B(\theta)$	$H(\theta)$
1	0,46	0,80
2	0,81	1,40
3	1,15	2,00
4	1,50	2,60
5	1,84	3,20
6	2,19	3,80
7	2,53	4,40
8	2,88	5,00
9	3,22	5,60
10	3,57	6,20
11	3,91	6,80
12	4,26	7,40
13	4,60	8,00

$$\begin{aligned}
 R_{ai,d} &= 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / \gamma_B) = & f_{sg,k} &= 0.8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} \\
 & 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0.8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) = \\
 & 2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0.8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) = \\
 & = 17,44 \cdot h_i \cdot L_{ai}
 \end{aligned}$$

št. plasti	h_i	$B_{(\theta)}$	L_{ai}	R_{aid}
1	0,80	4,60	1,00	13,90
2	1,40	4,26	1,34	32,76
3	2,00	3,91	1,69	58,84
4	2,60	3,57	2,03	92,14
5	3,20	3,22	2,38	132,67
6	3,80	2,88	2,72	180,42
7	4,40	2,53	3,07	235,40
8	5,00	2,19	3,41	297,60
9	5,60	1,84	3,76	367,02
10	6,20	1,50	4,10	443,67
11	6,80	1,15	4,45	527,55
12	7,40	0,81	4,79	618,64
13	8,00	0,46	5,14	716,96

$\theta=60,08^\circ$	Oсна nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	16,67	13,90	13,90
2	16,67	32,76	16,67
3	16,67	58,84	16,67
4	16,67	92,14	16,67
5	16,67	132,67	16,67
6	16,67	180,42	16,67
7	19,05	235,40	19,05
8	19,05	297,60	19,05
9	19,05	367,02	19,05
10	19,05	443,67	19,05
11	19,05	527,55	19,05
12	19,05	618,64	19,05
13	19,05	716,96	19,05

$F_{Rdi} = 230,57$

$$\Sigma F = 222,82 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} = 230,57 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo podpornega zida

$$\begin{aligned}\varphi_{zs,k} &= 36^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 24,00^\circ \\ \alpha &= -35^\circ \\ \beta &= 0^\circ\end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,105994623}{0,9336588 \left(1 + \left(\frac{0,50903696}{0,913545458}\right)^{0,5}\right)^2} = 0,037$$

št. plasti	z _i (m)	H _i (m)	η _g	lv(m)	p _{čela} (kN/m)	E _{čela} (kN/m)	R _{bi,d} ali R _{ai,d} > E _{čela}
1	0,80	0,4	0,5	0,8	0,16	0,13	16,67
2	1,40	1,1	0,5	0,6	0,43	0,26	16,67
3	2,00	1,7	0,5	0,6	0,66	0,40	16,67
4	2,60	2,3	0,5	0,6	0,90	0,54	16,67
5	3,20	2,9	0,5	0,6	1,13	0,68	16,67
6	3,80	3,5	0,5	0,6	1,37	0,82	16,67
7	4,40	4,1	0,5	0,6	1,60	0,96	19,05
8	5,00	4,7	0,5	0,6	1,84	1,10	19,05
9	5,60	5,3	0,5	0,6	2,07	1,24	19,05
10	6,20	5,9	0,5	0,6	2,31	1,38	19,05
11	6,80	6,5	0,5	0,6	2,54	1,52	19,05
12	7,40	7,1	0,5	0,6	2,77	1,66	19,05
13	8,00	7,7	0,5	0,6	3,01	1,81	19,05

Dolžina ovijanja čela brežine

$$l_1 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} = 0,04 \text{ m}$$

$$l_8 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} f_{sg,k}} = 0,21 \text{ m} > \text{izberem: } 1,0 \text{ m}$$

$$\text{skupna dolžina ovijanja čela brežine } l_v + l_i = 1,60 \text{ m}$$

Varianta A22 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina		Zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{zs,k} =$	28 °	$\varphi_{zl,k} =$	28 °	$\varphi_{tt,k} =$	36 °
$c_{zs,k} =$	0 kPa	$c_{zl,k} =$	0 kPa	$c_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{zs,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{zl,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 8 \text{ m} \\
 B &= 0.7 * H = 5,6 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 * \varphi = 18,67^\circ \\
 \alpha &= -35^\circ \\
 \beta &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,206107374}{0,6439293 \left(1 + \left(\frac{0,34148124}{0,972858801} \right)^{0.5} \right)^2} = 0,126$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$E_{agh,k} = 0.5 * K_{ah,k} * \gamma * H^2 = 72,70 \text{ kN/m}$$

$$E_{agv,k} = E_{agh,k} * \tan(\delta - \alpha) = 98,85 \text{ kN/m}$$

Lastna teža

$$G_k = H * B * \gamma_{zl,k} = 806,40 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

$$N_{g,k} = E_{agv,k} + G_k = 905,25 \text{ kN/m}$$

$$T_{g,k} = E_{agh,k} = 72,70 \text{ kN/m}$$

$$T_d = T_{g,k} * \gamma_g = 98,15 \text{ kN/m}$$

$$R_{t,d} = N_{g,k} * (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 339,197 \text{ kN/m}$$

$$98,15 \text{ kN/m} \leq 339,197 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{s,k} = \lambda * \tan \varphi = 22,4$$

$$\lambda = 0,8$$

$$\text{Izkoriščenost: } \frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,29 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 3,46$$

Lega rezultante:

$$M_k = (E_{agh,k} * H/3) - (E_{agv,k} * B/2) = -82,91 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 1004,10 \text{ kN/m}$$

$$e = (M_k / N_k) = -0,08 \leq b/3 = 1,87 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk} / \gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00$$

$$i_b = 0,78$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,08$$

$$N_b = 20,77$$

Nadomestna širina:

$$b' = 5,77 \quad \text{m}$$

$$R_{nk} = 14498,10 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{nd} = 10355,79 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d = 1355,54 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$
$$1355,54 \leq 10355,79$$

OK

$$\text{Izkoriščenost: } \mu = 0,13 \quad \longrightarrow \quad \text{Dodatna varnostn: } 7,64$$

Projektne vrednosti

$$\tan \varphi_{i,d} = \frac{\tan \varphi_{i,k}}{\gamma \varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan \varphi_{i,k} / \gamma \varphi)$$

$$C_{i,d} = \frac{C_{i,k}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina			Zaledna zemljina			Temeljna tla		
$\varphi_{zs,d} =$	23,0	°	$\varphi_{zl,d} =$	23,0	°	$\varphi_{tt,d} =$	30,2	°
$c_{zs,d} =$	0	kPa	$c_{zl,d} =$	0	kPa	$c_{tt,d} =$	0	kPa
$\gamma_{zs,d} =$	18	kN/m ³	$\gamma_{zl,d} =$	18	kN/m ³	$\gamma_{tt,d} =$	21	kN/m ³

Varnostni faktorji za geomreže

$$\begin{aligned} A1 &= 2,5 \\ A2 &= 1,2 \\ A3 &= 1,0 \\ A4 &= 1,0 \\ A5 &= 1,0 \\ \gamma_M &= 1,40 \\ R_{b1,ko} &= 100,00 \text{ kN/m} \\ R_{b2,ko} &= 100,00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 23,81 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 23,81 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Število plasti} &= 7 & R_{b2,d} \\ \text{Število plasti} &= 6 & R_{b1,d} \end{aligned}$$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

$$\text{izberem } l_v = 0,60 \text{ m}$$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\begin{aligned} \theta &= 45 + \varphi_{zs,d} / 2 \\ \theta &= 56,52^\circ \end{aligned}$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$\begin{aligned} G_{d(\theta)} &= 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B(\theta) \cdot H(\theta) + \gamma_{zs,d} \cdot B(\theta) \cdot (H - H(\theta)) \\ G_{d(\theta)} &= 380,93 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{ghd(\theta)} &= 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H(\theta))^2 \\ E_{ghd(\theta)} &= 0,41 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{gvd(\theta)} &= E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha) \\ E_{gvd(\theta)} &= 0,56 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 0,41 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,56 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 252,57 \text{ kN/m}$$

št. plasti	B(θ)=	H(θ)*tg(90-θ)
	B(θ)	H(θ)
1	0,53	0,80
2	0,93	1,40
3	1,32	2,00
4	1,72	2,60
5	2,12	3,20
6	2,51	3,80
7	2,91	4,40
8	3,31	5,00
9	3,70	5,60
10	4,10	6,20
11	4,50	6,80
12	4,89	7,40
13	5,29	8,00

$$\begin{aligned}
 R_{ai,d} &= 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (fsg, k / \gamma_B) = & fsg, k &= 0.8 \cdot \tan \Phi_{zs, v, k} \\
 & 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0.8 \cdot \tan \Phi_{zs, v, k} / \gamma_B) = \\
 & 2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0.8 \cdot \tan \Phi_{zs, v, k} / \gamma_B) = \\
 & = 10,94 \cdot h_i \cdot L_{ai}
 \end{aligned}$$

št. plasti	h_i	$B_{(\theta)}$	L_{ai}	R_{aid}
1	0,80	5,29	0,31	2,71
2	1,40	4,89	0,71	10,81
3	2,00	4,50	1,10	24,13
4	2,60	4,10	1,50	42,65
5	3,20	3,70	1,90	66,38
6	3,80	3,31	2,29	95,32
7	4,40	2,91	2,69	129,47
8	5,00	2,51	3,09	168,82
9	5,60	2,12	3,48	213,39
10	6,20	1,72	3,88	263,16
11	6,80	1,32	4,28	318,14
12	7,40	0,93	4,67	378,33
13	8,00	0,53	5,07	443,73

$\theta=56,52^\circ$	Oсна nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	23,81	2,71	2,71
2	23,81	10,81	10,81
3	23,81	24,13	23,81
4	23,81	42,65	23,81
5	23,81	66,38	23,81
6	23,81	95,32	23,81
7	23,81	129,47	23,81
8	23,81	168,82	23,81
9	23,81	213,39	23,81
10	23,81	263,16	23,81
11	23,81	318,14	23,81
12	23,81	378,33	23,81
13	23,81	443,73	23,81

F_{Rdi} 275,42

$$\Sigma F = 252,57 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} = 275,42 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo podpornega zida

$$\begin{aligned}\varphi_{zs,k} &= 28^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 18,67^\circ \\ \alpha &= -35^\circ \\ \beta &= 0^\circ\end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,206107374}{0,9365657 \left(1 + \left(\frac{0,34148124}{0,947396643}\right)^{0,5}\right)^2} = 0,086$$

št. plasti	z _i (m)	H _i (m)	η _g	lv(m)	e _{čela} (kN/m)	E _{čela} (kN/m)	R _{bi,d} ali R _{ai,d} > E _{čela}
1	0,80	0,4	0,5	0,8	0,31	0,25	23,81
2	1,40	1,1	0,5	0,6	0,85	0,51	23,81
3	2,00	1,7	0,5	0,6	1,31	0,79	23,81
4	2,60	2,3	0,5	0,6	1,78	1,07	23,81
5	3,20	2,9	0,5	0,6	2,24	1,35	23,81
6	3,80	3,5	0,5	0,6	2,71	1,62	23,81
7	4,40	4,1	0,5	0,6	3,17	1,90	23,81
8	5,00	4,7	0,5	0,6	3,63	2,18	23,81
9	5,60	5,3	0,5	0,6	4,10	2,46	23,81
10	6,20	5,9	0,5	0,6	4,56	2,74	23,81
11	6,80	6,5	0,5	0,6	5,03	3,02	23,81
12	7,40	7,1	0,5	0,6	5,49	3,29	23,81
13	8,00	7,7	0,5	0,6	5,95	3,57	23,81

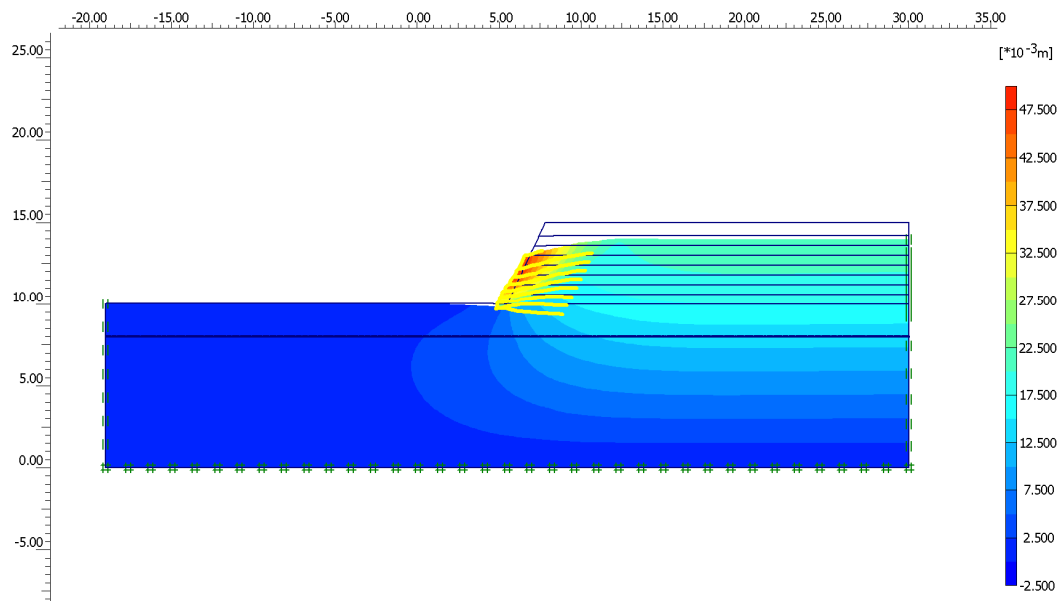
Dolžina ovijanja čela brežine

$$l_1 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} \hat{f}_{sg,k}} = 0,01 \quad \text{m}$$

$$l_8 = \frac{R_{ai,d}}{\sigma_{v,di} \hat{f}_{sg,k}} = 0,19 \quad \text{m} > \text{izberem: } 1,0 \quad \text{m}$$

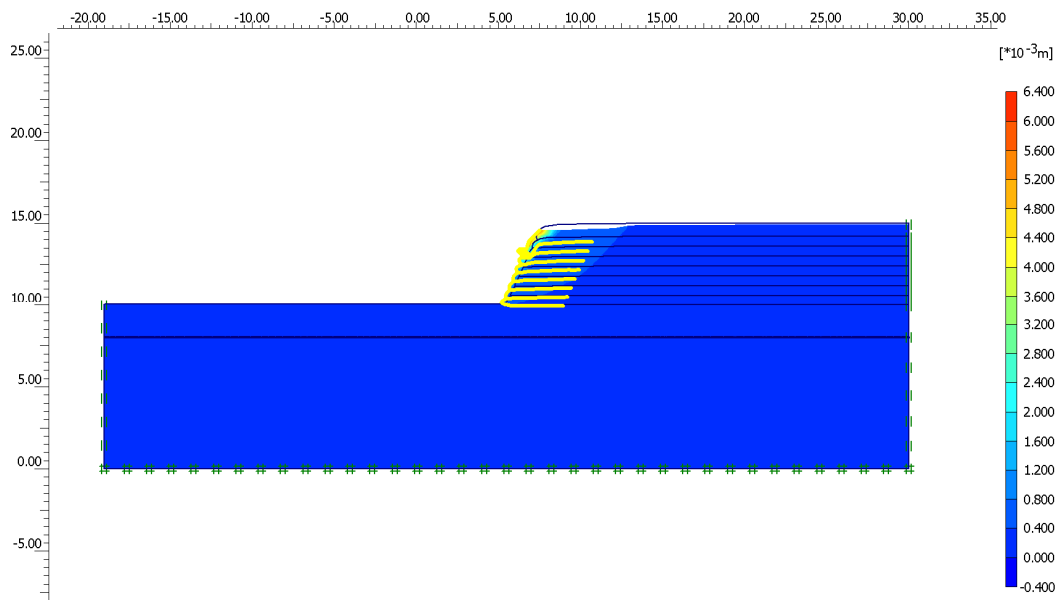
$$\text{skupna dolžina ovijanja čela brežine } l_v + l_i = 1,60 \quad \text{m}$$

Pomiki v konstrukciji A11 določeni s programom Plaxis znašajo 4,80 cm.



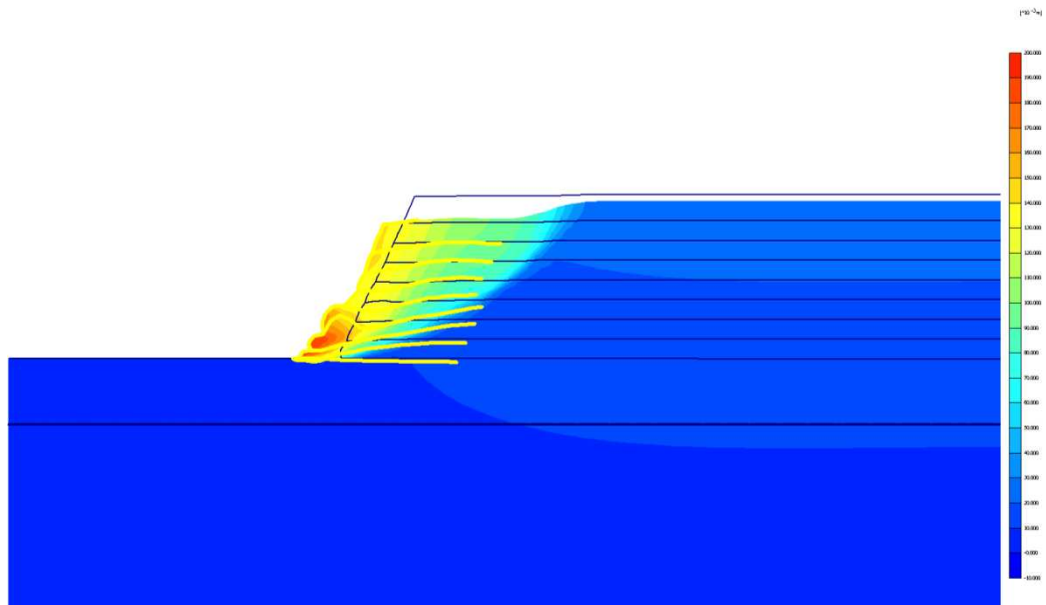
Slika 1: Pomiki v konstrukciji A11

Globalna varnost za konstrukcijo A11, ki je bila določena s programom Plaxis znaša 1,50.



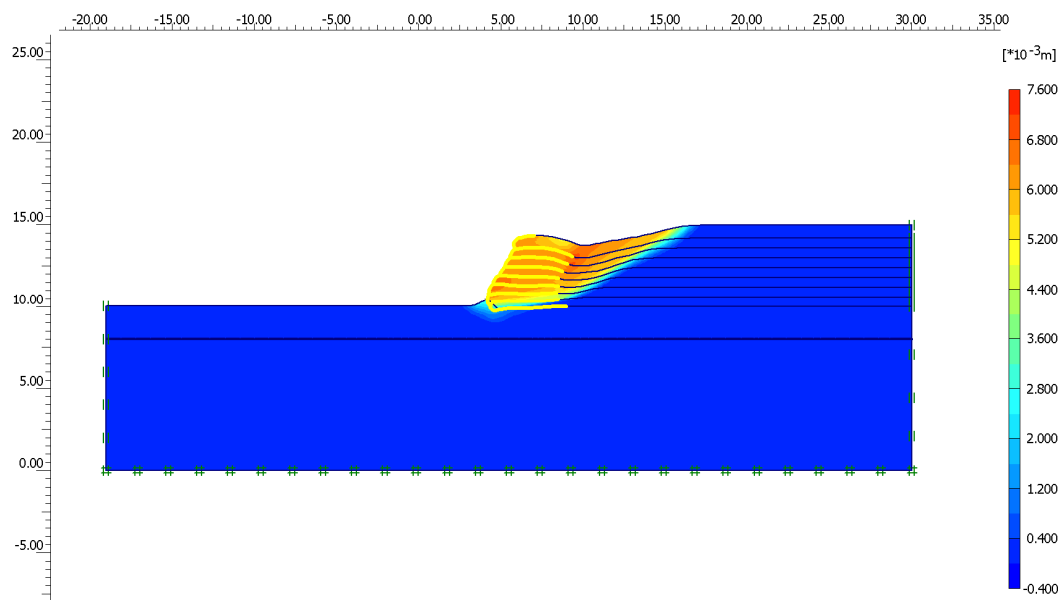
Slika 2: Porušni mehanizem v konstrukciji A11

Pomiki v konstrukciji A12 določeni s programom Plaxis znašajo 19,0 cm.



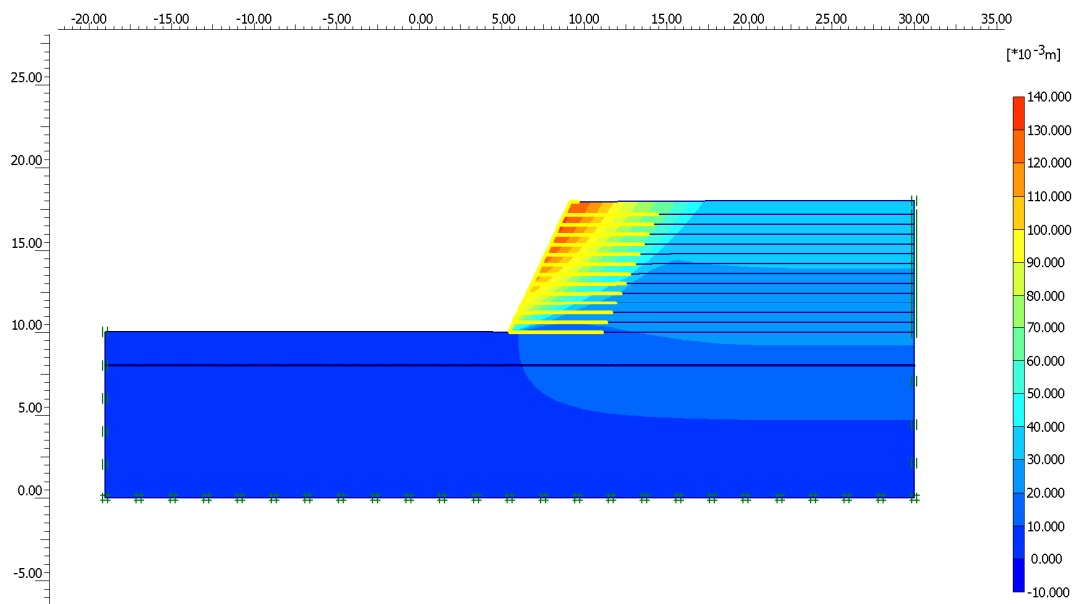
Slika 3: Pomiki v konstrukciji A12

Globalna varnost za konstrukcijo A12, ki je bila določena s programom Plaxis znaša 2,06.



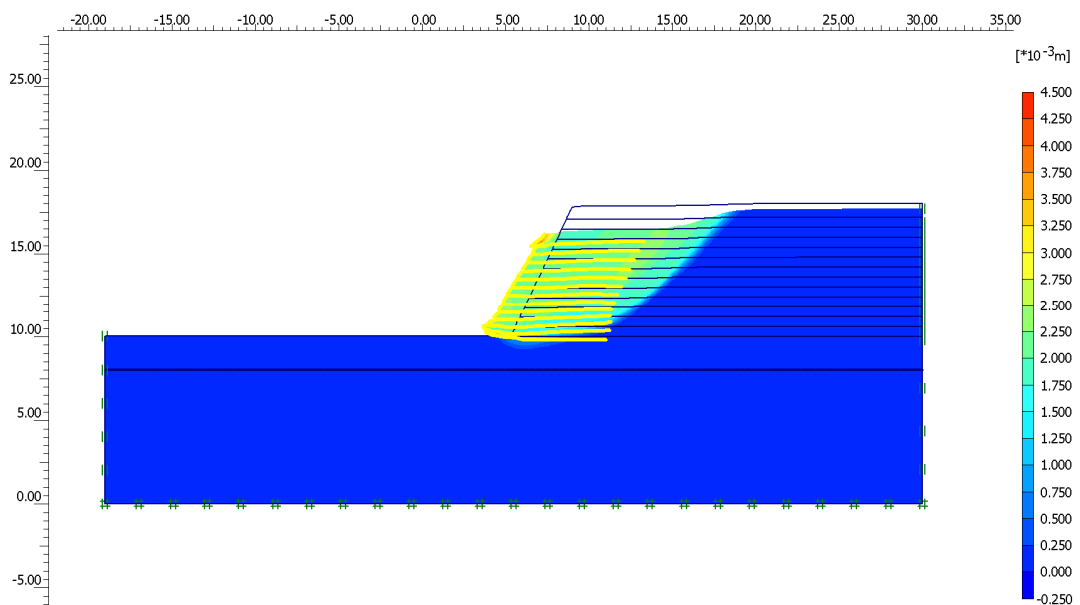
Slika 4: Porušni mehanizem v konstrukciji A12

Pomiki v konstrukciji A21 določeni s programom Plaxis znašajo 13,10 cm.



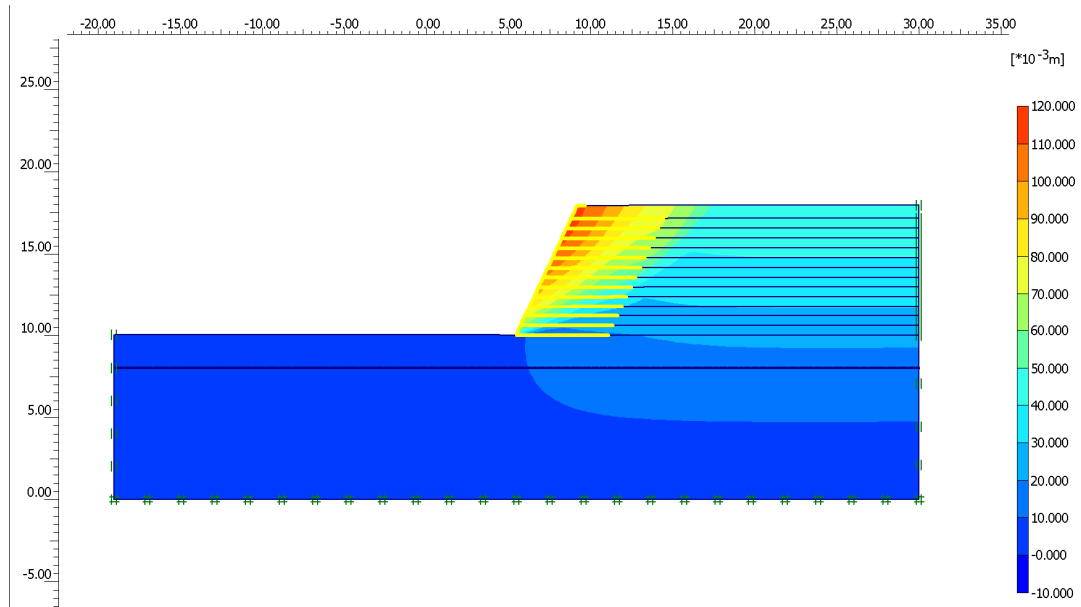
Slika 5: Pomiki v konstrukciji A21

Globalna varnost za konstrukcijo A21, ki je bila določena s programom Plaxis znaša 1,32.



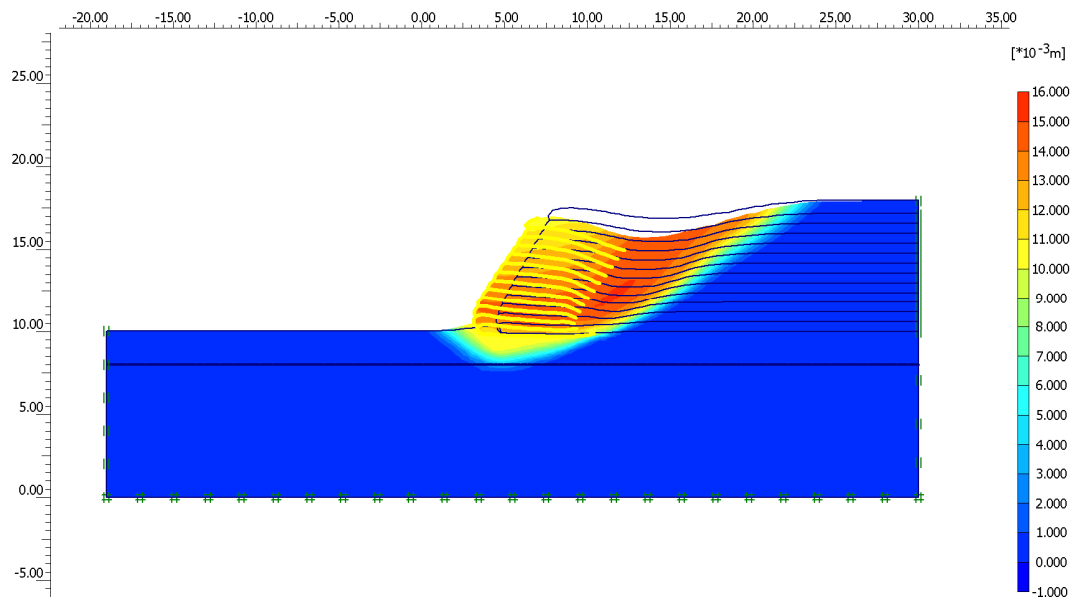
Slika 6: Porušni mehanizem v konstrukciji A21

Pomiki v konstrukciji A22 določeni s programom Plaxis znašajo 11,30 cm.



Slika 7: Pomiki v konstrukciji A22

Globalna varnost za konstrukcijo A22, ki je bila določena s programom Plaxis znaša 2,00.



Slika 8: Porušni mehanizem v konstrukciji A22

Varianta B11 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 36^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 36^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 5,0 \text{ m} \\
 B &= 0,7 \cdot H = 3,5 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 \cdot \varphi = 24,00^\circ \\
 \alpha &= 0^\circ \\
 \beta &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,654508497}{0,913545 \cdot (1 + (\frac{0,50903696}{0,913545458})^{0,5})^2} = 0,235$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$\begin{aligned}
 E_{agh,k} &= 0,5 \cdot K_{ah,k} \cdot \gamma \cdot H^2 = 61,66 \text{ kN/m} \\
 E_{agv,k} &= E_{agh,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 27,45 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Lastna teža

$$G_k = H \cdot B \cdot \gamma_{zl,k} = 367,50 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$\begin{aligned}
 T_d &\leq R_{t,d} + E_{p,d} \\
 N_{g,k} &= E_{agv,k} + G_k = 394,95 \text{ kN/m} \\
 T_{g,k} &= E_{agh,k} = 61,66 \text{ kN/m} \\
 T_d &= T_{g,k} \cdot \gamma_g = 83,24 \text{ kN/m} \\
 R_{t,d} &= N_{g,k} \cdot (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 197,39 \text{ kN/m} \\
 83,24 \text{ kN/m} &\leq 197,39 \text{ kN/m} \\
 \delta_{s,k} &= \lambda \cdot \tan \varphi = 28,8 \\
 \lambda &= 0,8 \\
 \text{Izkoriščenost: } &\frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,42 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 2,37
 \end{aligned}$$

Lega rezultante:

$$M_k = (Ea_{gh,k} * H/3) - (Ea_{gv,k} * B/2) = 54,72 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 422,40 \quad \text{kN/m}$$

$$e = (M_k/N_k) = 0,13 \leq b/3 = 1,17 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk}/\gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00$$

$$i_b = 0,60$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,16$$

$$N_b = 16,05$$

Nadomestna širina:

$$b' = 3,24 \quad \text{m}$$

$$R_{nk} = 3539,52 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{nd} = 2528,23 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d = 570,25 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$

$$570,25 \leq 2528,23$$

OK

$$\text{Izkoriščenost: } \mu = 0,23 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 4,43$$

Projektne vrednosti

$$\tan\varphi_{i,d} = \frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan\varphi_{i,k}/\gamma_\varphi)$$

$$c_{i,d} = \frac{c_{i,k}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina			Zaledna zemljina			Temeljna tla		
$\varphi_{zs,d} =$	30,2	°	$\varphi_{zl,d} =$	30,2	°	$\varphi_{tt,d} =$	30,2	°
$c_{zs,d} =$	0	kPa	$c_{zl,d} =$	0	kPa	$c_{tt,d} =$	0	kPa
$\gamma_{zs,d} =$	21	kN/m ³	$\gamma_{zl,d} =$	21	kN/m ³	$\gamma_{tt,d} =$	21	kN/m ³

Varnostni faktorji za geomreže

A1 2,5

A2 1,2

A3 1,0

A4 1,0

A5 1,0

$\gamma_M =$ 1,40

$R_{b1,ko} =$ 50,00 kN/m

$R_{b2,ko} =$ 60,00 kN/m

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 11,90 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 14,29 \text{ kN/m}$$

Število plasti 4 $R_{b2,d}$

Število plasti 4 $R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

izberem $l_v = 0,60 \text{ m}$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d}/2$$

$$\theta = 60,08^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 151,05 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,89 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,40 \text{ kN/m}$$

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 0,89 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,40 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 87,65 \text{ kN/m}$$

$$R_{ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$= 17,44 \cdot h_i \cdot L_{ai}$$

št. plasti	B(θ)=	H(θ)*tg(90-θ)
	B(θ)	H(θ)
1	0,46	0,80
2	0,81	1,40
3	1,15	2,00
4	1,50	2,60
5	1,84	3,20
6	2,19	3,80
7	2,53	4,40
8	2,88	5,00

$$f_{sg,k} = 0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k}$$

št. plasti	h _i	B _(θ)	L _{ai}	R _{aid}
1	0,80	2,88	0,62	8,69
2	1,40	2,53	0,97	23,64
3	2,00	2,19	1,31	45,80
4	2,60	1,84	1,66	75,20
5	3,20	1,50	2,00	111,82
6	3,80	1,15	2,35	155,66
7	4,40	0,81	2,69	206,72
8	5,00	0,46	3,04	265,01

$\theta=60,08^\circ$	Osna nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	11,90	8,69	8,69
2	11,90	23,64	11,90
3	11,90	45,80	11,90
4	11,90	75,20	11,90
5	14,29	111,82	14,29
6	14,29	155,66	14,29
7	14,29	206,72	14,29
8	14,29	265,01	14,29

F_{Rdi} 101,55

$$\Sigma F = 87,65 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} \quad 101,55 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo podpornega zida

$$\begin{aligned} \varphi_{zs,k} &= 36^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 24,00^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \beta &= 0^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,654508497}{1 + (1 + \frac{0,50903696}{0,913545458})^{0,5})^2} = 0,215$$

	z_i (m)	H_i (m)	η_g	l_v (m)	$e_{\check{c}ela}$ (kN/m)	$E_{\check{c}ela}$ (kN/m)	$R_{bi,d}$ ali $R_{ai,d} > E_{\check{c}ela}$
1	0,8	0,4	1	0,8	1,80	1,44	11,90
2	1,4	1,1	1	0,6	4,96	2,97	11,90
3	2	1,7	1	0,6	7,66	4,60	11,90
4	2,6	2,3	0,7	0,6	7,26	4,35	11,90
5	3,2	2,9	0,7	0,6	9,15	5,49	14,29
6	3,8	3,5	0,7	0,6	11,04	6,62	14,29
7	4,4	4,1	0,7	0,6	12,93	7,76	14,29
8	5	4,7	0,7	0,6	14,83	8,90	14,29

Varianta B12 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina		Zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{zs,k} =$	28 °	$\varphi_{zl,k} =$	28 °	$\varphi_{tt,k} =$	36 °
$C_{zs,k} =$	0 kPa	$C_{zl,k} =$	0 kPa	$C_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{zs,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{zl,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 5,0 \text{ m} \\
 B &= 0,7 \cdot H = 3,5 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 \cdot \varphi = 18,67 \text{ °} \\
 \alpha &= 0 \text{ °} \\
 \beta &= 0 \text{ °}
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,779596452}{0,947397 \cdot (1 + (\frac{0,34148124}{0,947396643})^{0,5})^2} = 0,321$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$\begin{aligned}
 E_{agh,k} &= 0,5 \cdot K_{ah,k} \cdot \gamma \cdot H^2 = 72,29 \text{ kN/m} \\
 E_{agv,k} &= E_{agh,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 24,42 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Lastna teža

$$G_k = H \cdot B \cdot \gamma_{zl,k} = 315,00 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

$$\begin{aligned}
 N_{g,k} &= E_{agv,k} + G_k = 339,42 \text{ kN/m} \\
 T_{g,k} &= E_{agh,k} = 72,29 \text{ kN/m} \\
 T_d &= T_{g,k} \cdot \gamma_g = 97,59 \text{ kN/m} \\
 R_{t,d} &= N_{g,k} \cdot (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 127,182 \text{ kN/m} \\
 &= 97,59 \text{ kN/m} \leq 127,182 \text{ kN/m} \\
 \delta_{s,k} &= \lambda \cdot \tan \varphi = 22,4 \text{ °} \\
 \lambda &= 0,8 \\
 \text{Izkoriščenost: } & \frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,77 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 1,30
 \end{aligned}$$

Lega rezultante:

$$M_k = (E_{agh,k} * H/3) - (E_{agv,k} * B/2) = 77,75 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 363,84 \text{ kN/m}$$

$$e = (M_k/N_k) = 0,21 \leq b/3 = 1,17 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk}/\gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00 \quad (\text{DIN 4017, poglavje 7.2.4})$$

$$i_b = 0,49$$

$$\tan\delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,21$$

$$N_b = 13,02$$

Nadomestna širina:

$$b' = 3,07 \text{ m}$$

$$R_{nk} = 2580,76 \text{ kN/m}$$

$$R_{nd} = 1843,40 \text{ kN/m}$$

$$N_d = 491,19 \text{ kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$

$$491,19 \leq 1843,40$$

$$\text{OK}$$

$$\text{Izkoriščenost: } \mu = 0,27 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 3,75$$

Projektne vrednosti

$$\tan\varphi_{i,d} = \frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma_{\varphi}}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan\varphi_{i,k}/\gamma_{\varphi})$$

$$C_{i,d} = \frac{C_{i,k}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina		Zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{zs,d} =$	23,0 °	$\varphi_{zl,d} =$	23,0 °	$\varphi_{tt,d} =$	30,2 °
$C_{zs,d} =$	0 kPa	$C_{zl,d} =$	0 kPa	$C_{tt,d} =$	0 kPa
$\gamma_{zs,d} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{zl,d} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{tt,d} =$	21 kN/m ³

Varnostni faktorji za geomreže

A1	2,5	lezenje
A2	1,2	poškodbe pri transportu vgradnji, zbijanju materiala
A3	1,0	obdelava ozirtoma oblika čela
A4	1,0	vpliv okolja
A5	1,0	vpliv dinamične obtežbe (izpostavljenosti)
$\gamma_M =$	1,40	material
$R_{b1,ko} =$	50,00	kN/m
$R_{b2,ko} =$	70,00	kN/m

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 11,90 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 16,67 \text{ kN/m}$$

Število plasti 4 $R_{b2,d}$

Število plasti 4 $R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

izberem $l_v =$ 0,60 m

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d} / 2$$

$$\theta = 56,52^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 148,80 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 1,04 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 1,04 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 99,33 \text{ kN/m}$$

$$R_{ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$= 10,94 \cdot h_i \cdot L_{ai}$$

št. plasti	B(θ)=	H(θ)*tg(90-θ)
	B(θ)	H(θ)
1	0,53	0,80
2	0,93	1,40
3	1,32	2,00
4	1,72	2,60
5	2,12	3,20
6	2,51	3,80
7	2,91	4,40
8	3,31	5,00

$$f_{sg,k} = 0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k}$$

št. plasti	h _i	B(θ)	L _{ai}	R _{aid}
1	0,80	3,31	0,19	1,69
2	1,40	2,91	0,59	9,04
3	2,00	2,51	0,99	21,59
4	2,60	2,12	1,38	39,35
5	3,20	1,72	1,78	62,32
6	3,80	1,32	2,18	90,50
7	4,40	0,93	2,57	123,89
8	5,00	0,53	2,97	162,48

$\theta=56,52^\circ$	Oсна nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	11,90	1,69	1,69
2	11,90	9,04	9,04
3	11,90	21,59	11,90
4	11,90	39,35	11,90
5	16,67	62,32	16,67
6	16,67	90,50	16,67
7	16,67	123,89	16,67
8	16,67	162,48	16,67

F_{Rdi} 101,20

$$\Sigma F = 99,33 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} 101,20 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo podpornega zida

$$\begin{aligned} \varphi_{zs,k} &= 28^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 18,67^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \beta &= 0^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,779596452}{1 + \left(\frac{0,34148124}{0,947396643} \right)^{0,5}} = 0,304$$

	z_i (m)	H_i (m)	η_g	l_i (m)	e_{cela} (kN/m)	E_{cela} (kN/m)	$R_{bi,d}$ ali $R_{ai,d} > E_{\text{cela}}$
1	0,8	0,4	1	0,8	2,19	1,75	11,90
2	1,4	1,1	1	0,6	6,03	3,62	11,90
3	2	1,7	1	0,6	9,31	5,59	11,90
4	2,6	2,3	0,7	0,6	8,82	5,29	11,90
5	3,2	2,9	0,7	0,6	11,12	6,67	16,67
6	3,8	3,5	0,7	0,6	13,42	8,05	16,67
7	4,4	4,1	0,7	0,6	15,72	9,43	16,67
8	5	4,7	0,7	0,6	18,03	10,82	16,67

Varianta B21 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 36^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 36^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 8,0 \text{ m} \\
 B &= 0,7 \cdot H = 5,6 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 \cdot \varphi = 24,00^\circ \\
 \alpha &= 0^\circ \\
 \beta &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,654508497}{0,91355 \left(1 + \frac{0,50903696}{0,913545458} \right)^{0,5}} = 0,235$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$\begin{aligned}
 E_{agh,k} &= 0,5 \cdot K_{ah,k} \cdot \gamma \cdot H^2 = 157,85 \text{ kN/m} \\
 E_{agv,k} &= E_{agh,k} \cdot \tan(\delta - \alpha) = 70,28 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Lastna teža

$$G_k = H \cdot B \cdot \gamma_{zl,k} = 940,80 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

$$\begin{aligned}
 N_{g,k} &= E_{agv,k} + G_k = 1011,08 \text{ kN/m} \\
 T_{g,k} &= E_{agh,k} = 157,85 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_d &= T_{g,k} \cdot \gamma_g = 213,09 \text{ kN/m} \\
 R_{t,d} &= N_{g,k} \cdot (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 505,31 \text{ kN/m} \\
 &= 213,09 \text{ kN/m} \leq 505,31 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{s,k} &= \lambda \cdot \tan \varphi = 28,8 \\
 \lambda &= 0,8
 \end{aligned}$$

$$\text{Izkoriščenost: } \frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,42 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 2,37$$

Legat rezultante:

$$M_k = (Ea_{gh,k} * H/3) - (Ea_{gv,k} * B/2) = 224,15 \quad \text{kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 1081,36 \quad \text{kN/m}$$

$$e = (M_k/N_k) = 0,21 \leq b/3 = 1,87 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk}/\gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$i_b = 0,60$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,16$$

$$N_b = N_{b0} * i_b =$$

$$N_b = 16,05$$

Nadomestna širina:

$$b' = 5,19 \quad \text{m}$$

$$R_{nk} = 9061,17 \quad \text{kN/m}$$

$$R_{nd} = 6472,27 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d = 1459,83 \quad \text{kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$

$$1459,83 \leq 6472,27$$

OK

$$\text{Izkoriščenost: } \mu = 0,23 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 4,43$$

Projektne vrednosti

$$\tan\varphi_{i,d} = \frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan\varphi_{i,k}/\gamma_\varphi)$$

$$c_{i,d} = \frac{c_{i,k}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 30,2^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 30,2^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 30,2^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Varnostni faktorji za geomreže

- A1 2,5 lezenje
- A2 1,2 poškodbe pri transportu vgradnji, zbijanju materiala
- A3 1,0 obdelava ozirtoma oblika čela
- A4 1,0 vpliv okolja
- A5 1,0 vpliv dinamične obtežbe (izpostavljenosti)
- $\gamma_M = 1,40$ material
- $R_{b1,ko} = 70,00 \text{ kN/m}$
- $R_{b2,ko} = 80,00 \text{ kN/m}$

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 16,67 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 \cdot A5 \cdot \gamma_M} = 19,05 \text{ kN/m}$$

Število plasti 7 $R_{b2,d}$

Število plasti 6 $R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

izberem $l_v = 0,60 \text{ m}$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d} / 2$$

$$\theta = 60,08^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 386,68 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,89 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,40 \text{ kN/m}$$

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 0,89 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,40 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 223,24 \text{ kN/m}$$

št. plasti	B(θ) = (θ) * tg(90-θ)	
	B(θ)	H(θ)
1	0,46	0,80
2	0,81	1,40
3	1,15	2,00
4	1,50	2,60
5	1,84	3,20
6	2,19	3,80
7	2,53	4,40
8	2,88	5,00
9	3,22	5,60
10	3,57	6,20
11	3,91	6,80
12	4,26	7,40
13	4,60	8,00

$$R_{ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / \gamma_B) = \quad f_{sg,k} = 0.8 \cdot \tan \phi_{zs,v,k}$$

$$2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0.8 \cdot \tan \phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0.8 \cdot \tan \phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$= 17,44 \cdot h_i \cdot L_{ai}$$

št. plasti	h_i	$B_{(\theta)}$	L_{ai}	R_{aid}
1	0,80	4,60	1,00	13,90
2	1,40	4,26	1,34	32,76
3	2,00	3,91	1,69	58,84
4	2,60	3,57	2,03	92,14
5	3,20	3,22	2,38	132,67
6	3,80	2,88	2,72	180,42
7	4,40	2,53	3,07	235,40
8	5,00	2,19	3,41	297,60
9	5,60	1,84	3,76	367,02
10	6,20	1,50	4,10	443,67
11	6,80	1,15	4,45	527,55
12	7,40	0,81	4,79	618,64
13	8,00	0,46	5,14	716,96

$\theta=60,08^\circ$	Oсна nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	16,67	13,90	13,90
2	16,67	32,76	16,67
3	16,67	58,84	16,67
4	16,67	92,14	16,67
5	16,67	132,67	16,67
6	16,67	180,42	16,67
7	19,05	235,40	19,05
8	19,05	297,60	19,05
9	19,05	367,02	19,05
10	19,05	443,67	19,05
11	19,05	527,55	19,05
12	19,05	618,64	19,05
13	19,05	716,96	19,05

$F_{Rdi} = 230,57$

$$\Sigma F = 223,24 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} = 230,57 \text{ kN/m}$$

OK

Čelo podpornega zida

$$\begin{aligned}\varphi_{zs,k} &= 36^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 24,00^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \beta &= 0^\circ\end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,654508497}{1 + \left(\frac{0,50903696}{0,913545458} \right)^{0,5}} = 0,215$$

	z_i (m)	H_i (m)	η_g	l_v (m)	$e_{\text{čela}}$ (kN/m)	$E_{\text{čela}}$ (kN/m)	$R_{bi,d}$ ali $R_{ai,d} > E_{\text{čela}}$
1	0,80	0,4	1	0,8	1,80	1,44	16,67
2	1,40	1,1	1	0,6	4,96	2,97	16,67
3	2,00	1,7	1	0,6	7,66	4,60	16,67
4	2,60	2,3	1	0,6	10,36	6,22	16,67
5	3,20	2,9	0,7	0,6	9,15	5,49	16,67
6	3,80	3,5	0,7	0,6	11,04	6,62	16,67
7	4,40	4,1	0,7	0,6	12,93	7,76	19,05
8	5,00	4,7	0,7	0,6	14,83	8,90	19,05
9	5,60	5,3	0,7	0,6	16,72	10,03	19,05
10	6,20	5,9	0,7	0,6	18,61	11,17	19,05
11	6,80	6,5	0,7	0,6	20,50	12,30	19,05
12	7,40	7,1	0,7	0,6	22,40	13,44	19,05
13	8,00	7,7	0,7	0,6	24,29	14,57	19,05

Varianta B22 (višina brežine 8,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina		Zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\phi_{zs,k} =$	28 °	$\phi_{zl,k} =$	28 °	$\phi_{tt,k} =$	36 °
$c_{zs,k} =$	0 kPa	$c_{zl,k} =$	0 kPa	$c_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{zs,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{zl,k} =$	18 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 8,0 \text{ m} \\
 B &= 0,7 * H = 5,6 \text{ m} \\
 \delta &= 2/3 * \phi = 18,67 \text{ °} \\
 \alpha &= 0 \text{ °} \\
 \beta &= 0 \text{ °}
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,779596452}{0,947397 (1 + (\frac{0,34148124}{0,947396643})^{0,5})^2} = 0,321$$

Aktivni zemeljski pritisk

$$\begin{aligned}
 E_{agh,k} &= 0,5 * K_{ah,k} * \gamma * H^2 = 185,06 \text{ kN/m} \\
 E_{agv,k} &= E_{agh,k} * \tan(\delta - \alpha) = 62,52 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Lastna teža

$$G_k = H * B * \gamma_{zl,k} = 806,40 \text{ kN/m}$$

KONTROLE

Kontrola proti zdrsu:

$$\begin{aligned}
 T_{t,d} &\leq R_{t,d} + E_{p,d} \\
 N_{g,k} &= E_{agv,k} + G_k = 868,921 \text{ kN/m} \\
 T_{g,k} &= E_{agh,k} = 185,06 \text{ kN/m} \\
 T_d &= T_{g,k} * \gamma_g = 249,84 \text{ kN/m} \\
 R_{t,d} &= N_{g,k} * (\tan \delta_{s,k} / \gamma_{gl}) = 325,585 \text{ kN/m} \\
 &249,84 \text{ kN/m} \leq 325,585 \text{ kN/m} \\
 \delta_{s,k} &= \lambda * \tan \phi = 22,4 \\
 \lambda &= 0,8 \\
 \text{Izkoriščenost: } &\frac{T_d}{R_{t,d}} = 0,77 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 1,30
 \end{aligned}$$

Lega rezultante:

$$M_k = (Ea_{gh,k} * H/3) - (Ea_{gv,k} * B/2) = 318,45 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 931,44 \text{ kN/m}$$

$$e = (M_k/N_k) = 0,34 \leq b/3 = 1,87 \quad \text{OK}$$

Nosilnost temeljnih tal:

$$N_d \leq R_{nd} = R_{nk} / \gamma_{Gr}$$

$$N_{b0} = 26,70$$

$$N_{d0} = 37,75$$

$$m = 2,00$$

$$i_b = 0,49$$

$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} = 0,21$$

$$N_b = 13,02$$

Nadomestna širina:

$$b' = 4,92 \text{ m}$$

$$R_{nk} = 6606,75 \text{ kN/m}$$

$$R_{nd} = 4719,10 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{Gr} = 1,40$$

$$N_d = 1257,45 \text{ kN/m}$$

$$N_d \leq R_d$$

$$1257,45 \leq 4719,10$$

OK

$$\text{Izkoriščenost: } \mu = 0,27 \rightarrow \text{Dodatna varnost: } 3,75$$

Projektne vrednosti

$$\tan\varphi_{i,d} = \frac{\tan\varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi}$$

$$\varphi_{i,d} = \arctan(\tan\varphi_{i,k}/\gamma_\varphi)$$

$$c_{i,d} = \frac{c_{i,k}}{\gamma_C}$$

$$\gamma_{i,d} = \frac{\gamma_{i,k}}{\gamma_g}$$

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 23,0^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 23,0^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 30,2^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Varnostni faktorji za geomreže

A1	2,5	lezenje
A2	1,2	poškodbe pri transportu vgradnji, zbijanju materiala
A3	1,0	obdelava ozirtoma oblika čela
A4	1,0	vpliv okolja
A5	1,0	vpliv dinamične obtežbe (izpostavljenosti)
γ_M	1,40	material
$R_{b1,ko}$	90,00	kN/m
$R_{b2,ko}$	100,00	kN/m

$$R_{b1,d} = \frac{R_{b1,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 21,43 \text{ kN/m}$$

$$R_{b2,d} = \frac{R_{b2,ko}}{A1 * A2 * A3 * A4 * A5 * \gamma_M} = 23,81 \text{ kN/m}$$

Število plasti 7 $R_{b2,d}$

Število plasti 6 $R_{b1,d}$

Razdalja med ojačitvami

$$0,30 \text{ m} \leq l_v \leq 0,60 \text{ m}$$

$$\text{izberem } l_v = 0,60 \text{ m}$$

Predpostavljena porušna drsina:

$$\theta = 45 + \varphi_{zs,d}/2$$

$$\theta = 56,52^\circ$$

$$\Sigma F = ((G_{d(\theta)} + E_{dv(\theta)}) \cdot \tan(\theta - \varphi_{zs,d}) + E_{dh(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot H_{(\theta)} + \gamma_{zs,d} \cdot B_{(\theta)} \cdot (H - H_{(\theta)})$$

$$G_{d(\theta)} = 380,93 \text{ kN/m}$$

$$E_{ghd(\theta)} = 0,5 \cdot \gamma_{zs,d} \cdot K_{ah,gd} \cdot (H - H_{(\theta)})^2$$

$$E_{ghd(\theta)} = 1,04 \text{ kN/m}$$

$$E_{gvd(\theta)} = E_{ghd(\theta)} \cdot \tan(\delta - \alpha)$$

$$E_{gvd(\theta)} = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$E_{dh} = E_{ghd(\theta)} = 1,04 \text{ kN/m}$$

$$E_{dv} = E_{gvd(\theta)} = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F = 252,85 \text{ kN/m}$$

$$R_{ai,d} = 2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (f_{sg,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \sigma_{v,di} \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$2 \cdot \gamma_{zs} \cdot h_i \cdot L_{ai} \cdot (0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k} / \gamma_B) =$$

$$= 10,94 \cdot h_i \cdot L_{ai}$$

št. plasti	B(θ)=	H(θ)*tg(90-θ)
	B(θ)	H(θ)
1	0,53	0,80
2	0,93	1,40
3	1,32	2,00
4	1,72	2,60
5	2,12	3,20
6	2,51	3,80
7	2,91	4,40
8	3,31	5,00
9	3,70	5,60
10	4,10	6,20
11	4,50	6,80
12	4,89	7,40
13	5,29	8,00

$$f_{sg,k} = 0,8 \cdot \tan \Phi_{zs,v,k}$$

št. plasti	h _i	B _(θ)	L _{ai}	R _{aid}
1	0,80	5,29	0,31	2,71
2	1,40	4,89	0,71	10,81
3	2,00	4,50	1,10	24,13
4	2,60	4,10	1,50	42,65
5	3,20	3,70	1,90	66,38
6	3,80	3,31	2,29	95,32
7	4,40	2,91	2,69	129,47
8	5,00	2,51	3,09	168,82
9	5,60	2,12	3,48	213,39
10	6,20	1,72	3,88	263,16
11	6,80	1,32	4,28	318,14
12	7,40	0,93	4,67	378,33
13	8,00	0,53	5,07	443,73

$\theta=56,52^\circ$	Osna nosilnost ojačitve R_b (kN/m)	Odpornost proti izvleku ojačitve R_{ai} (kN/m)	Merodajna nosilnost (kN/m)
1	21,43	2,71	2,71
2	21,43	10,81	10,81
3	21,43	24,13	21,43
4	21,43	42,65	21,43
5	21,43	66,38	21,43
6	21,43	95,32	21,43
7	23,81	129,47	23,81
8	23,81	168,82	23,81
9	23,81	213,39	23,81
10	23,81	263,16	23,81
11	23,81	318,14	23,81
12	23,81	378,33	23,81
13	23,81	443,73	23,81

$$F_{Rdi} = 265,90$$

$$\Sigma F = 252,85 \text{ kN/m} \leq F_{Rdi} = 265,90 \text{ kN/m}$$

OK

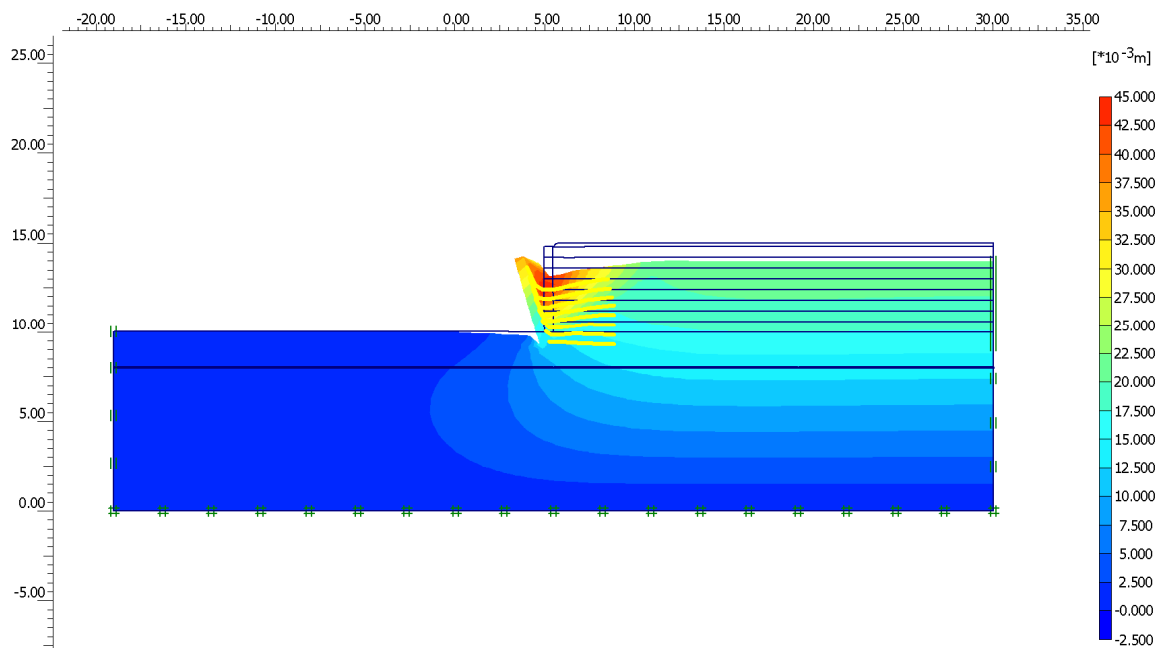
Čelo podpornega zida

$$\begin{aligned} \varphi_{zs,k} &= 28^\circ \\ \delta &= 2/3 * \varphi = 18,67^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \beta &= 0^\circ \end{aligned}$$

$$K_{ah,k} = \frac{0,779596452}{1 + \left(\frac{0,34148124}{0,947396643} \right)^{0.5}} = 0,304$$

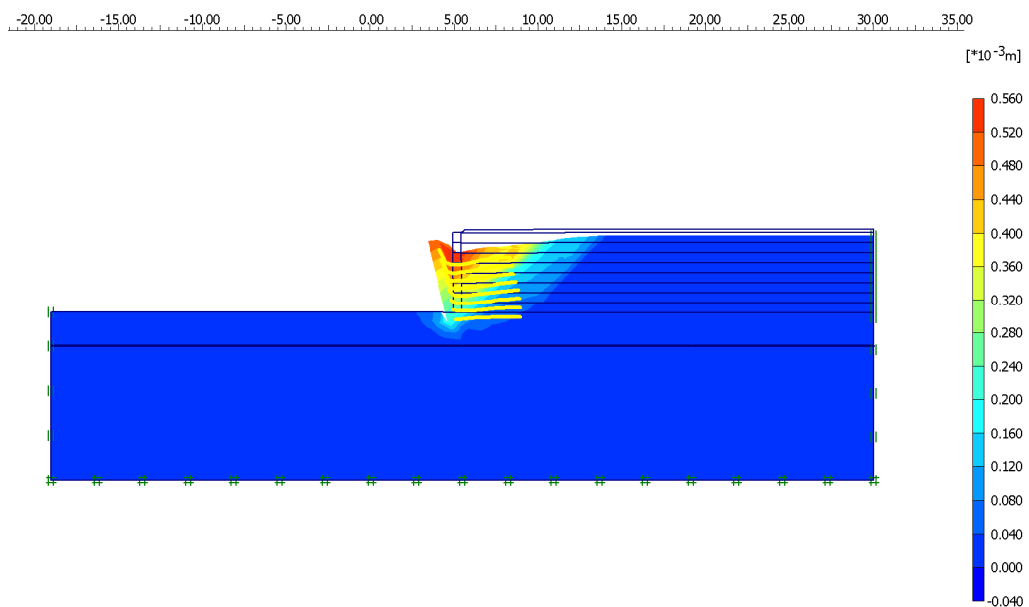
	z_i (m)	H_i (m)	η_g	l_i (m)	e_{cela} (kN/m)	E_{cela} (kN/m)	$R_{bi,d}$ ali $R_{ai,d} > E_{cela}$
1	0,80	0,4	1	0,8	2,19	1,75	21,43
2	1,40	1,1	1	0,6	6,03	3,62	21,43
3	2,00	1,7	1	0,6	9,31	5,59	21,43
4	2,60	2,3	1	0,6	12,60	7,56	21,43
5	3,20	2,9	0,7	0,6	11,12	6,67	21,43
6	3,80	3,5	0,7	0,6	13,42	8,05	21,43
7	4,40	4,1	0,7	0,6	15,72	9,43	23,81
8	5,00	4,7	0,7	0,6	18,03	10,82	23,81
9	5,60	5,3	0,7	0,6	20,33	12,20	23,81
10	6,20	5,9	0,7	0,6	22,63	13,58	23,81
11	6,80	6,5	0,7	0,6	24,93	14,96	23,81
12	7,40	7,1	0,7	0,6	27,23	16,34	23,81
13	8,00	7,7	0,7	0,6	29,53	17,72	23,81

Pomiki v konstrukciji B11 določeni s programom PLAXIS znašajo 4,38 cm.



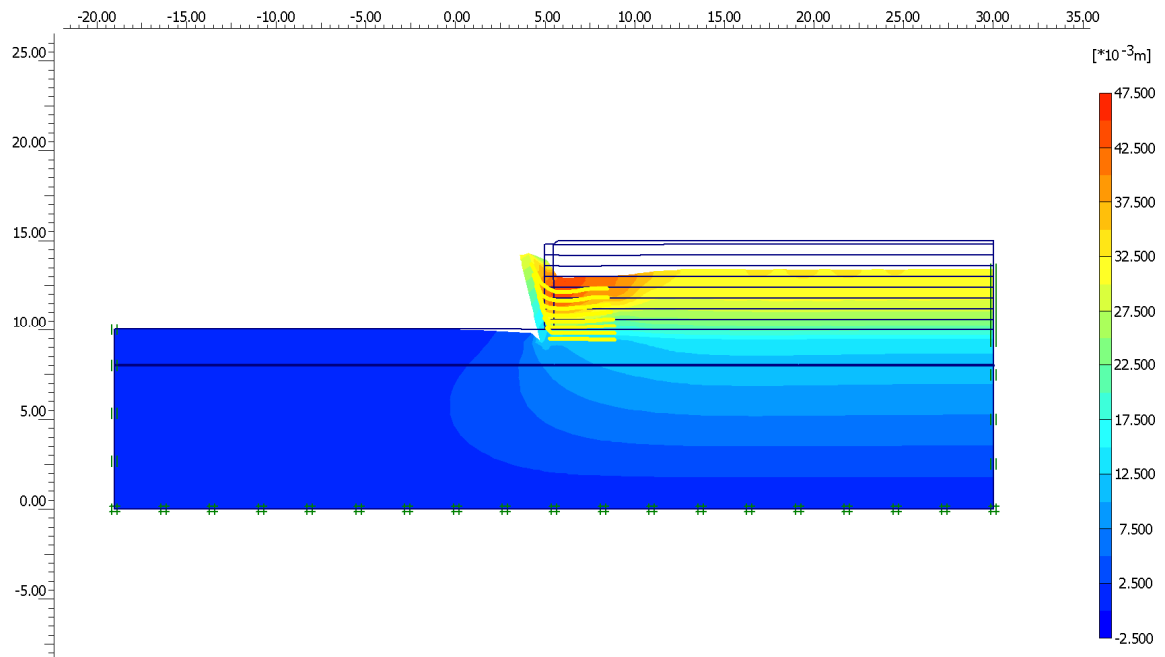
Slika 1: Pomiki v konstrukciji B11

Globalna varnost za konstrukcijo B11, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,31.



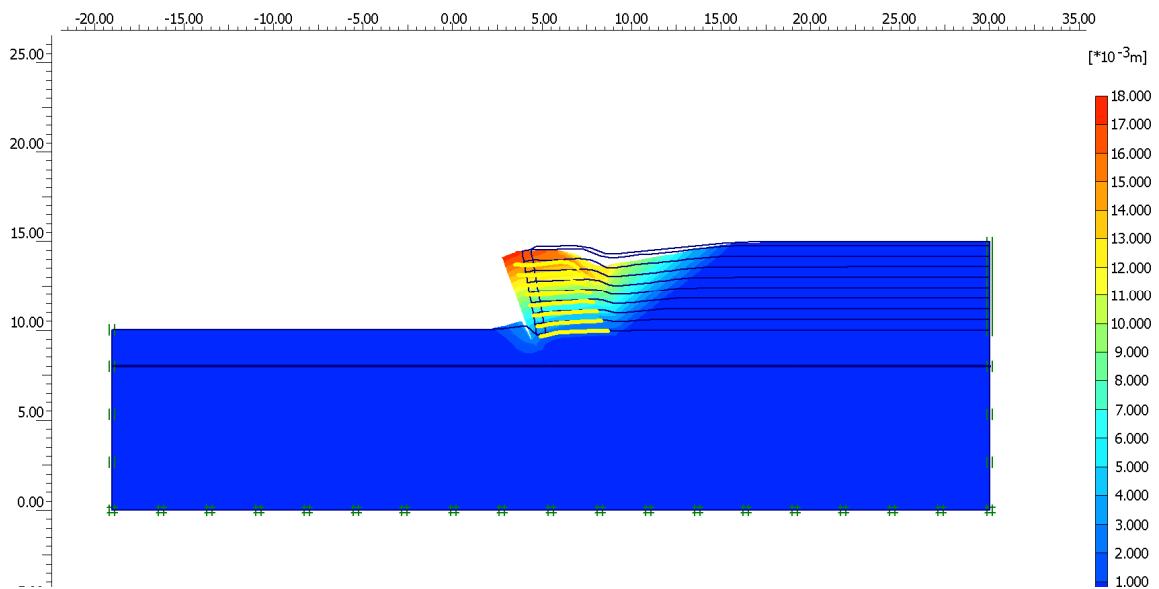
Slika 2: Porušni mehanizem v konstrukciji B11

Pomiki v konstrukciji B12 določeni s programom PLAXIS znašajo 4,50 cm.



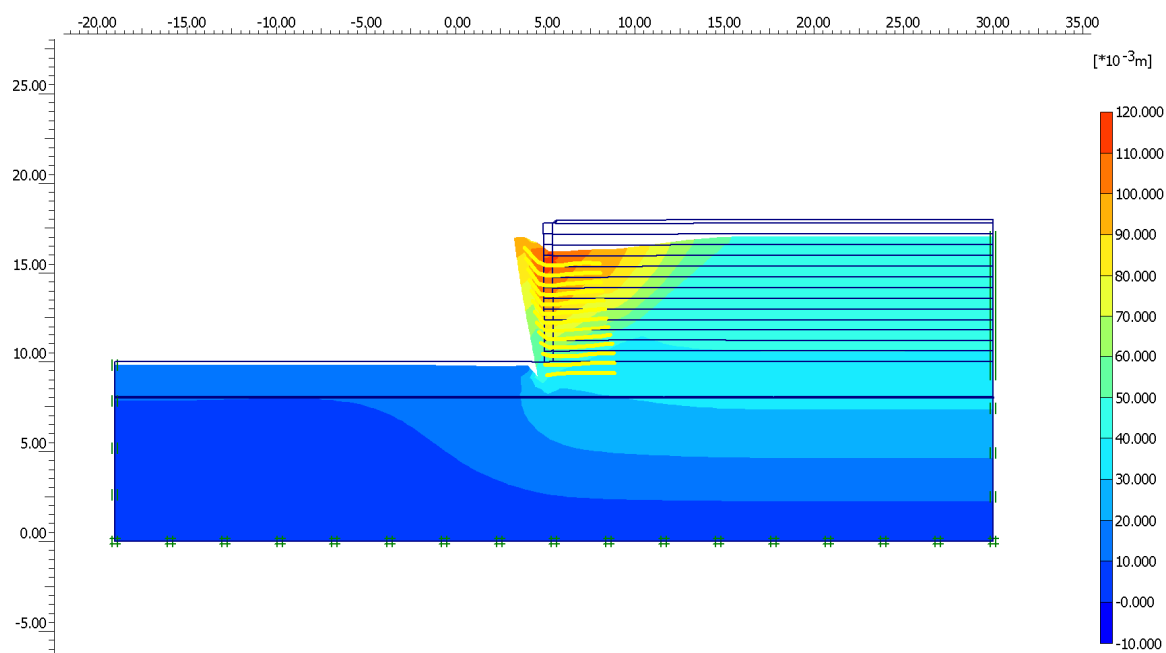
Slika 3: Pomiki v konstrukciji B12

Globalna varnost za konstrukcijo B12, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,80.



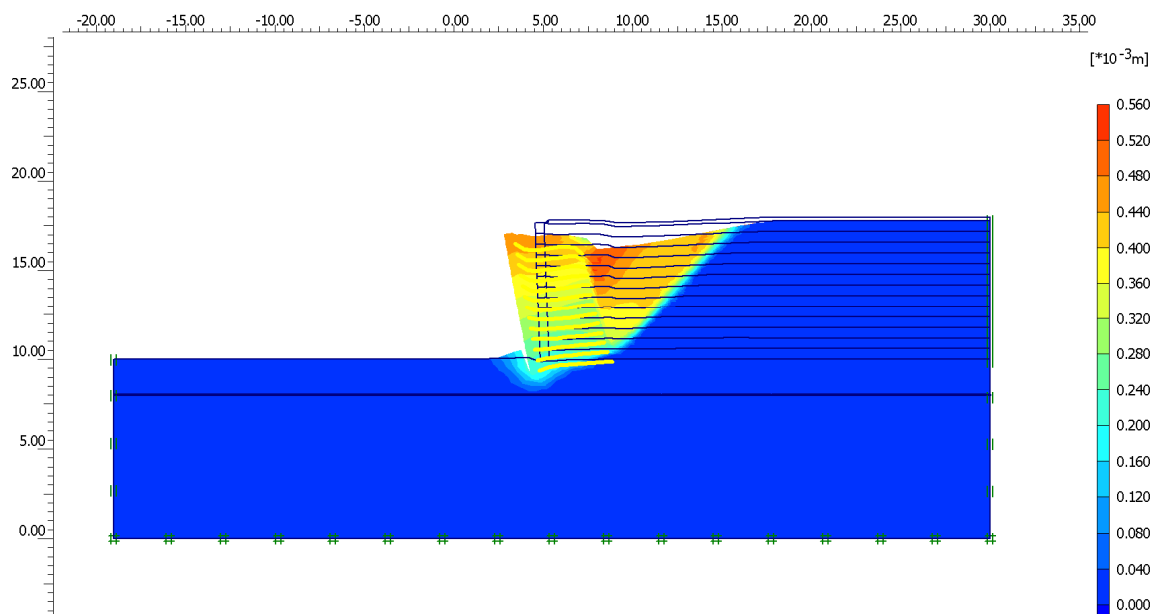
Slika 4: Porošni mehanizem v konstrukciji B12

Pomiki v konstrukciji B21 določeni s programom PLAXIS znašajo 11,20 cm.



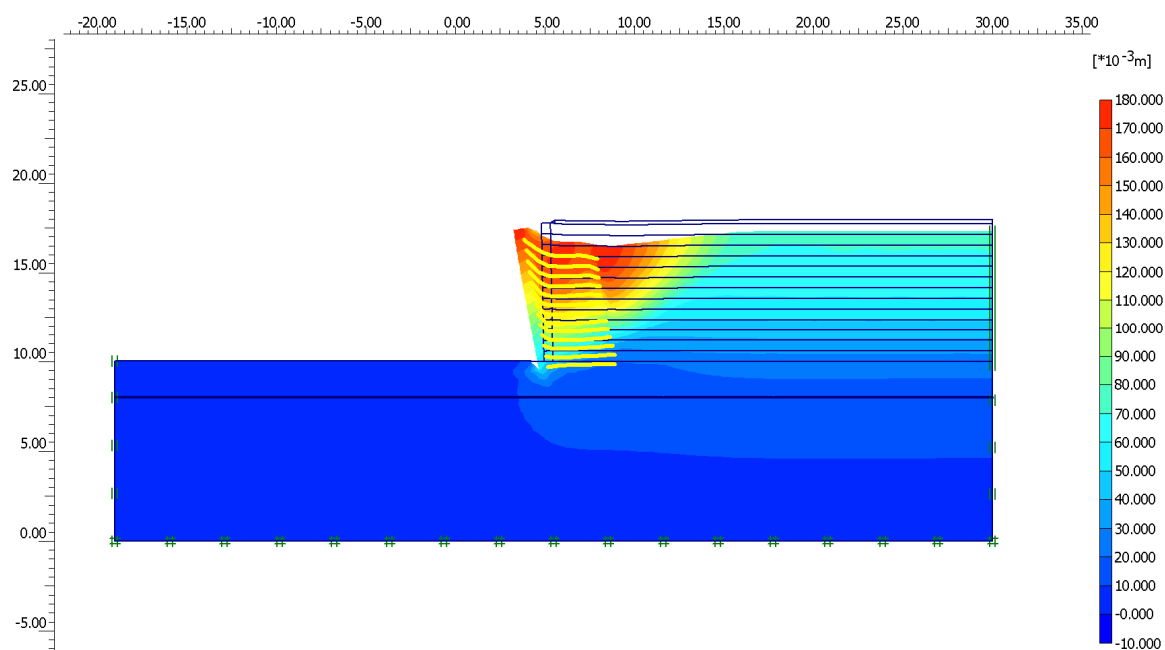
Slika 5: Pomiki v konstrukciji B21

Globalna varnost za konstrukcijo B21, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,34.



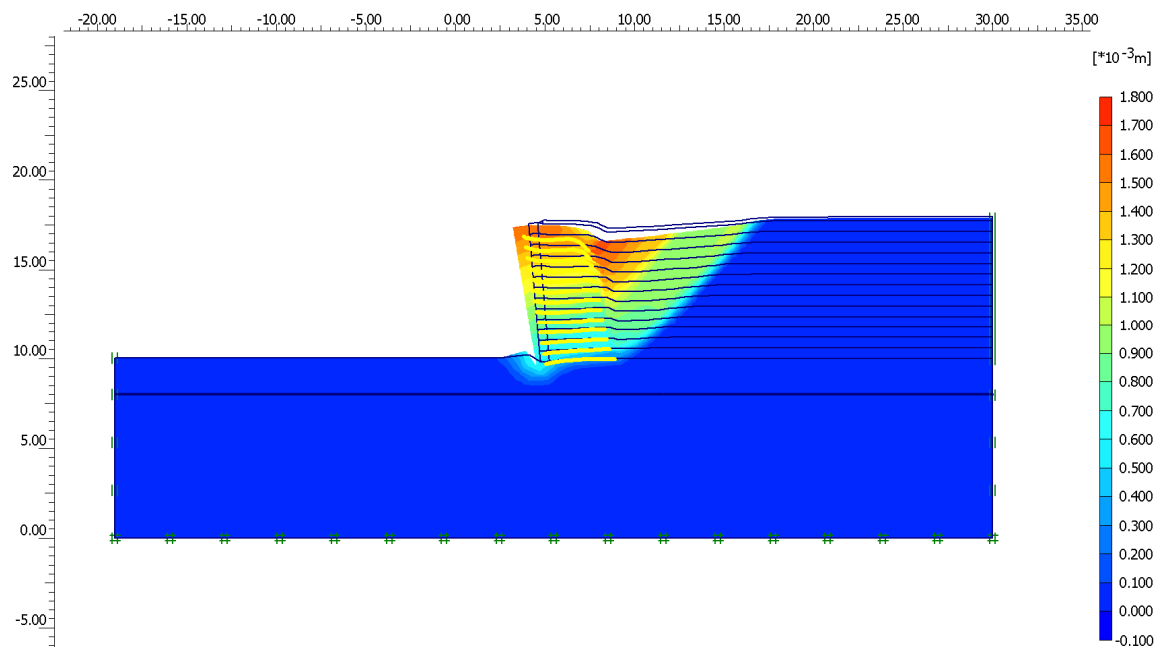
Slika 6: Porušni mehanizem v konstrukciji B21

Pomiki v konstrukciji B22 določeni s programom PLAXIS znašajo 17,90 cm.



Slika 7: Pomiki v konstrukciji B22

Globalna varnost za konstrukcijo B22, ki je bila določena s programom PLAXIS znaša 1,25.



Slika 8: Porušni mehanizem v konstrukciji B22

Varianta C11 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip I)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina		Zaledna zemljina		Temeljna tla	
$\varphi_{zs,k} =$	36 °	$\varphi_{zl,k} =$	36 °	$\varphi_{tt,k} =$	36 °
$c_{zs,k} =$	0 kPa	$c_{zl,k} =$	0 kPa	$c_{tt,k} =$	0 kPa
$\gamma_{zs,k} =$	21 kN/m ³	$\gamma_{zl,k} =$	21 kN/m ³	$\gamma_{tt,k} =$	21 kN/m ³

Geometrija zidu

$$\begin{aligned}
 H &= 5,0 \text{ m} \\
 \delta &= 0,9 \cdot \varphi = 32,40^\circ \\
 \alpha &= 0^\circ \\
 \varepsilon &= 0^\circ \\
 \beta &= 68^\circ
 \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,941473796}{0,455555641 \cdot (1 + \frac{0,546508906}{0,544752401})^{0,5})^2} = 0,516$$

Aktivni zemeljski pritisk:

$$\begin{aligned}
 P_a &= 0,5 \cdot k_a \cdot \gamma_{zs,k} \cdot H^2 = 135,41 \text{ kN/m} \\
 H &= 5,0 \text{ m (efektivna višina)}
 \end{aligned}$$

Prijemališče sile:

$$\begin{aligned}
 d_{h(z)} &= \frac{H}{3} \cdot \left\{ \frac{(H+3h_s)}{(H+2h_s)} \right\} = 1,67 \text{ m} \\
 h_s &= H \\
 d_h &= d_{h(z)} - b_w \cdot \sin \alpha = 1,67 \text{ m} \\
 b_w &= 3,0 \text{ m} \\
 \alpha &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Komponente aktivnega zemeljskega pritiska

$$\begin{aligned}
 P_{ah} &= P_a \cdot \cos(90 - \beta + \delta) = 78,82 \text{ kN/m} \\
 P_{av} &= P_a \cdot \sin(90 - \beta + \delta) = 110,10 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Teža zidu:

$$\begin{aligned}
 W_g &= \sum u_w \cdot u_d \cdot \gamma_d = 135 \text{ kN/m} \\
 n &= 4 \\
 u_w &= 1 \text{ m} \\
 u_d &= 1 \text{ m} \\
 \gamma_d &= 15 \text{ kN/m}^3 \\
 W_g &= 135 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

n	uw	ud	γd	st	hc
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prijemališče sile W_g

$$x_g = \frac{\sum st \cdot (u_w \cdot u_d)}{\sum (u_w \cdot u_d)} = 1,19 \text{ m}$$

$$y_g = \frac{\sum hc \cdot (u_w \cdot u_d)}{\sum (u_w \cdot u_d)} = 1,94 \text{ m}$$

$$X_g = x_g \cdot \cos\alpha + y_g \cdot \sin\alpha = 1,19 \text{ m}$$

Kontrola:

Prevrnitev:

$$M_O = P_h \cdot d_h = 131,37 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = P_v \cdot b_v + W_g \cdot X_g = 490,61 \text{ kNm/m}$$

$$b_v = b_w \cdot \cos\alpha - d_{h(z)} / \tan\beta = 3,00 \text{ m}$$

$$F_s = M_r / M_o = 3,73 \quad \text{OK}$$

Zdrs:

$$N = (W_g + P_v) = 245,10 \text{ kN/m}$$

$$T = P_h = 78,82 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{(N \cdot \cos\alpha + T \cdot \sin\alpha) \tan j (\text{temeljnih tal})}{(T \cdot \cos\alpha - N \cdot \sin\alpha)} = 2,26$$

$$\varphi(\text{temeljnih tal}) = 36^\circ$$

Napetosti na temeljnih tlemi:

$$e = (B/2) - (M_R - M_O) / N < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,03 < 0,50$$

OK

$$\sigma_L = N/B \cdot (1 + 6 \cdot e/B) = 87,31 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_D = N/B \cdot (1 - 6 \cdot e/B) = 76,09 \text{ kN/m}^2$$

Ocena preseka žice

$$\begin{aligned}\sigma_v &= 105,00 \text{ kPa} \\ P_a &= 54,16 \text{ kPa} \\ h &= 1,00 \text{ m} \\ P &= 79,58 \text{ kPa} \\ T &= (h \cdot P)/2 = 39,79 \text{ kN} \\ A &= 0,15 \text{ cm}^2 \\ \sigma_j &= 260 \text{ kN/cm}^2 \\ d &= 0,44 \text{ cm} > \text{ izberem žico } d = 0,50 \text{ cm}\end{aligned}$$

Kontrola posameznih gabionov

za višino gabionov 1m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 0,73 \text{ kNm/m} \\ M_R &= 8,90 \text{ kNm/m} \\ F_s &= 12,12\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 16,40 \text{ kN/m} \\ T &= 2,20 \text{ kN/m} \\ F_s &= 5,41\end{aligned}$$

za višino gabionov 2m

1	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	1,00	1,00	15,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 5,87 \text{ kNm/m} \\ M_R &= 20,59 \text{ kNm/m} \\ F_s &= 3,51\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 35,59 \text{ kN/m} \\ T &= 8,81 \text{ kN/m} \\ F_s &= 2,94\end{aligned}$$

za višino gabionov 3m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
3	1,00	1,00	15,0	0,50	2,50
2	1,00	1,00	15,0	0,50	1,50
1	2,00	1,00	15,0	1,00	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 27,07 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 110,44 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 4,08$$

Zdrs:

$$N = 92,72 \text{ kN/m}$$

$$T = 27,07 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 2,49$$

za višino gabionov 4m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 46,99 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 119,73 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 2,55$$

Zdrs:

$$N = 112,36 \text{ kN/m}$$

$$T = 35,24 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 2,32$$

Nosilnost temeljnih tal za računski primer C11

Zemljina		Rezultati					
strižni kot $\varphi(^{\circ})$	36,0	Projektni strižni kot $\varphi_d(^{\circ})$	36	$m_B=$	1,77		
kohezija c (kPa)	0,0	Projektna vrednost kohezije c'_d (kPa)	0	$m_L=$	1,23		
prostorninska teža γ (kN/m ³)	21,0	Teža tal ob temelju $q=\gamma D$	0	$m=$	1,77		
Nivo podtalnice (m)	0,0	ekscentričnost v smeri B: e_B	0				
Širina temelja $B(B<L)$ (m)	3,0	ekscentričnost v smeri L: e_L	0				
Dolžina temelja L (m)	10,0						
Debelina temelja D (m)	1,0	Koeficienti					
Globina temelja z (m)	0,0	N_c	50,59	N_q	37,75	N_γ	53,40
Nagnjenost temeljne ploskve	0,0	b_c	1,00	b_q	1,00	b_γ	1,00
Prerez stene (stebra)	0,0	s_c	1,18	s_q	1,18	s_γ	0,91
Teža zemljine in zasipa G_k (kN/m)	126,0	i_c	1,00	i_q	1,00	i_γ	1,00
Delni faktor za težo	1,35						
		Vodoravna sila H_d		0			
Navpična projektna obremenitev V_d (kN)	261,0	Navpična sila V_d		387,0			
Proj. moment v smeri B (kNm)	0,00	Širina centr. Obrem. Temelja B' (m)		3,0			
Proj. moment v smeri L (kNm)	0,00	Dolžina centr. Obrem. Temelja L' (m)		10,0			
Vodor. proj obr. v smeri B	0,00	Ploščina $A'=B'*L'$ (m ²)		30			
Vodor. proj obr. v smeri L	0,00	Obtežba temelja $p=V/A$ (kPa)		8,7			
Varnostni faktor za strižni kot	1,00	R/A'		1531			
Varnostni faktor za kohezijo	1,00	Nosilnost tal R_d (kN)		32804			
Varnostni faktor za obremenitev	1,40						

Varianta C12 (višina brežine 5,0 m in zasipna zemljina tip II)

Karakteristike zemljine

Zasipna zemljina	Zaledna zemljina	Temeljna tla
$\varphi_{zs,k} = 28^\circ$	$\varphi_{zl,k} = 28^\circ$	$\varphi_{tt,k} = 36^\circ$
$c_{zs,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{zl,k} = 0 \text{ kPa}$	$c_{tt,k} = 0 \text{ kPa}$
$\gamma_{zs,k} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{zl,k} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{tt,k} = 21 \text{ kN/m}^3$

Geometrija zidu

$$H = 5,0 \text{ m}$$

Določitev karakterističnih vplivov

$$\begin{aligned} \delta &= 0,9 \cdot \varphi = 25,20^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \\ \varepsilon &= 0^\circ \\ \beta &= 68^\circ \end{aligned}$$

Koeficient aktivnega zemeljskega pritiska

$$K_{ah,k} = \frac{0,9890738}{0,5525852 \cdot (1 + (\frac{0,375920608}{0,638545803})^{0,5})^2} = 0,573$$

$$P_a = 0,5 \cdot k_a \cdot \gamma \cdot H^2 = 128,94 \text{ kN/m}$$

Prijemališče sile

$$\begin{aligned} dh(z) &= \frac{H}{3} \cdot \left\{ \frac{(H+3hs)}{(H+2hs)} \right\} = 1,67 \text{ m} \\ hs &= H \\ dh &= dh(z) - bw \cdot \sin \alpha = 1,67 \text{ m} \\ bw &= 3,0 \text{ m} \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$

Aktivni zemeljski pritisk (horizontalna in vertikalna komponenta)

$$\begin{aligned} P_{ah} &= P_a \cdot \cos(90 - \beta + \delta) = 87,61 \text{ kN/m} \\ P_{av} &= P_a \cdot \sin(90 - \beta + \delta) = 94,61 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Teža zidu:

$$W_g = \Sigma u_w * u_d * \gamma_d = 135 \text{ kN/m}$$

n	uw	ud	γ_d	st	hc
5	1,00	1,00	15,0	0,50	4,50
4	1,00	1,00	15,0	0,50	3,50
3	2,00	1,00	15,0	1,00	2,50
2	2,00	1,00	15,0	1,00	1,50
1	3,00	1,00	15,0	1,50	0,50

Prijemališče sile W_g

$$x_g = \frac{\Sigma st * (u_w * u_d)}{\Sigma (u_w * u_d)} = 1,19 \text{ m}$$

$$y_g = \frac{\Sigma hc * (u_w * u_d)}{\Sigma (u_w * u_d)} = 1,94 \text{ m}$$

$$X_g = x_g * \cos\alpha + y_g * \sin\alpha = 1,19 \text{ m}$$

STABILNOST:

Prevrnitev

$$M_o = Ph * dh = 146,02 \text{ kNm/m}$$

$$M_r = P_v * b_v + W_g * X_g = 444,14 \text{ kNm/m}$$

$$b_v = bw * \cos\alpha - dh(z) / \tan\beta = 3,00 \text{ m}$$

$$F_s = \frac{M_r}{M_o} = 3,04 \quad \text{OK}$$

Zdrs:

$$N = W_g + P_v = 229,61 \text{ kN/m}$$

$$T = Ph = 87,61 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{(N + \cos\alpha + T \sin\alpha) \tan\varphi(\text{temeljnih tal})}{(T * \cos\alpha - N * \sin\alpha)} = 1,90$$

$$\varphi(\text{temeljnih tal}) = 36^\circ$$

Napetosti na temeljnih tlemi:

$$e = \frac{(B/2) - (M_r - M_o)}{N} < \frac{B}{6}$$

$$e = 0,202 < 0,50$$

OK

$$\sigma_L = \frac{N}{B} * (1 + 6 * e / B) = 107,40 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_D = \frac{N}{B} * (1 - 6 * e / B) = 45,68 \text{ kN/m}^2$$

Ocena preseka žice

$$\begin{aligned}\sigma_v &= 90,00 \text{ kPa} \\ P_a &= 51,58 \text{ kPa} \\ h &= 1,00 \text{ m} \\ P &= 70,79 \text{ kPa} \\ T &= (h \cdot P) / 2 = 35,39 \text{ kN} \\ A &= 0,14 \text{ cm}^2 \\ \sigma_j &= 260 \\ d &= 0,42 \text{ cm} > \text{ izberem premer žice } d = 0,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Kontrola posameznih gabionov

za višino gabionov 1m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	1,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 0,89 \text{ kNm/m} \\ M_R &= 8,75 \text{ kNm/m} \\ F_s &= 9,88\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 16,25 \text{ kN/m} \\ T &= 2,66 \text{ kN/m} \\ F_s &= 4,44\end{aligned}$$

za višino gabionov 2m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
1	1,00	1,00	1,0	0,50	1,50
1	1,00	1,00	1,0	0,50	0,50

Prevrnitev:

$$\begin{aligned}M_O &= 7,09 \text{ kNm/m} \\ M_R &= 20,00 \text{ kNm/m} \\ F_s &= 2,82\end{aligned}$$

Zdrs:

$$\begin{aligned}N &= 35,00 \text{ kN/m} \\ T &= 10,63 \text{ kN/m} \\ F_s &= 2,39\end{aligned}$$

za višino gabionov 3m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
3	1,00	1,00	1,0	0,50	2,50
2	1,00	1,00	1,0	0,50	1,50
1	2,00	1,00	1,0	1,00	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 30,37 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 102,04 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 3,36$$

Zdrs:

$$N = 88,52 \text{ kN/m}$$

$$T = 30,37 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 2,12$$

za višino gabionov 4m

n	u_w	u_d	γ_d	s_t	h_c
4	1,00	1,00	1,0	0,50	3,50
3	1,00	1,00	1,0	0,50	2,50
2	2,00	1,00	1,0	1,00	1,50
1	2,00	1,00	1,0	1,00	0,50

Prevrnitev:

$$M_O = 68,94 \text{ kNm/m}$$

$$M_R = 159,34 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = 2,31$$

Zdrs:

$$N = 132,17 \text{ kN/m}$$

$$T = 51,70 \text{ kN/m}$$

$$F_s = 1,86$$