

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Hasani, S., 2014. Primerjava tehnologij gradnje predgrad iz valjanega betona. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Schnabl, S.): 35 str.

Datum arhiviranja: 06-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Hasani, S., 2014. Primerjava tehnologij gradnje predgrad iz valjanega betona. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Schnabl, S.): 35 pp.

Archiving Date: 06-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

**SEBINA HASANI**

**PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ GRADNJE PREDGRAD  
IZ VALJANEGA BETONA**

Diplomska naloga št.: 153/B-GR

**COMPARISON OF CONSTRUCTION TECHNOLOGIES  
OF VARIOUS TYPES OF ROLLER CONCRETE DAMS**

Graduation thesis No.: 153/B-GR

**Mentor:**

doc. dr. Andrej Kryžanowski

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**

doc. dr. Simon Schnabl

Ljubljana, 23. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

#### IZJAVE

Podpisana Hasani Sebina, izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Primerjava tehnologij gradnje pregrad iz valjanega betona«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 15.09.2014

Sebina Hasani

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>627.82(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Sebina Hasani</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Somentor:</b>	<b>doc. dr. Simon Schnabl, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Primerjava tehnologij gradnje pregrad iz valjanega betona</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>35 str., 4 pregl., 37 sl., 2 en., 2 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>pregrada, valjani betoni, valjano komprimiran beton, stabilizirana zemljina, CADAM</b>

### **Izvleček**

V diplomski nalogi je izvedena primerjava med različnimi vrstami valjanega betona, ki se uporabljajo za gradnjo pregrad. V prvem sklopu so na osnovi pregleda literature opisane tri različne vrste valjnega betona in sicer valjan beton ali RCC, valjano komprimiran beton ali RCD in stabilizirana zemljina oziroma CSG. Opisani so postopki izdelave betonov, material in tehnologije gradnje. V drugem sklopu je s pomočjo programskega orodja CADAM izvedena statično stabilitetna analiza. Pri tem so analizirane pregrade iz valjano komprimiranega betona, stabilizirane zemljine in klasičnega masivnega betona za primerjavo. Na osnovi dobljenih rezultatov iz analize je izvedena primerjava med obravnavanimi pregradami kot tudi med valjanimi betonskimi pregradami in klasičnimi masivnimi.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 627.82(043.2)  
**Author:** Sebina Hasani  
**Supervisor:** assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.  
**Co-advisor:** assist. Prof. Simon Schnabl, Ph.D.  
**Title:** Comparison of construction technologies of various types of roller concrete dams  
**Document type:** graduation thesis  
**Scope and tools:** 35 p., 4 tab., 37 fig., 2 eq., 2 ann.  
**Keywords:** dam, roller concrete, roller compacted concrete, consolidated sand and gravel concrete, CADAM

**Abstract**

In this thesis a comparison between various types of roller concrete used in dam construction was made. In the first section three different types of roller concrete are outlined, roller compacted concrete (RCC), roller compacted dam concrete (RCD) and cemented sand and gravel concrete (CSG), based on a literature overview. Productions of concrete, material and construction technologies are described. In the second section a static stability analysis using CADAM software was conducted. The analysis was made on RCD, CSG and classical concrete dam for comparison. From the results of the analysis a comparison between addressed dams and between roller concrete and classical concrete is carried out.

## ZAHVALA

Zahvalila bi se mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu in somentorju doc. dr. Simonu Schnablu za pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Prav tako bi se zahvalila svoji družini za omogočen študij in njihovo spodbudo. Posebej bi se zahvalila Admirju Jašaragiću in njegovi družini za vso podporo in pomoč tekom študija.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PREGRADE IZ VALJANEGA BETONA</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>TEHNOLOGIJE GRADNJE PREGRAD IZ VALJANEGA BETONA</b> .....	<b>3</b>
3.1	RCC PREGRADE .....	3
3.1.1	<i>Material</i> .....	3
3.1.2	<i>Prednosti in slabosti pregrad iz valjanega betona</i> .....	4
3.1.3	<i>Načrtovanje pregrad iz valjanega betona</i> .....	4
3.1.4	<i>Postopek gradnje pregrad iz valjanega betona</i> .....	5
3.2	RCD PREGRADE.....	6
3.2.1	<i>Material</i> .....	7
3.2.2	<i>Prednosti valjano komprimiranih betonov</i> .....	8
3.2.3	<i>Načrtovanje pregrad iz valjano komprimiranega betona</i> .....	8
3.2.4	<i>Postopek gradnje pregrad iz valjanega komprimiranega betona</i> .....	9
3.3	CSG PREGRADE .....	10
3.3.1	<i>Material</i> .....	11
3.3.2	<i>Prednosti pregrad iz stabilizirane zemljine</i> .....	13
3.3.3	<i>Statična zasnova pregrade iz stabilizirane zemljine</i> .....	13
3.3.4	<i>Načrtovanje pregrad iz stabilizirane zemljine</i> .....	15
3.3.5	<i>Postopek gradnje</i> .....	15
<b>4</b>	<b>MEHANSKA IN PSEUDO-STATIČNA ANALIZA PREGRADE S PROGRAMOM CADAM</b> .....	<b>17</b>
4.2	NAMEN IN CILJ ANALIZE .....	17
4.3	GEOMETRIJA IN PODATKI .....	17
4.4	REZULTATI .....	20
4.4.1	<i>Stabilnostna analiza</i> .....	20
4.4.2	<i>Napetostna analiza</i> .....	26
<b>5</b>	<b>PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ</b> .....	<b>33</b>
5.1	ANALIZA REZULTATOV .....	33
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>34</b>
	<b>VIRI</b> .....	<b>35</b>



## KAZALO SLIK

Slika 1: Uporaba mehanizacije pri gradnji pregrad iz valjanega betona; iz leve proti desno: raztros mešanice s kamioni prekucniki, razstiranje z buldožerji in zgoščevanje s kompakcijskimi valjarji [1] . 5	
Slika 2: Izgradnja RCC pregrade [7].....	6
Slika 3: Gradnja prve RCD pregrade Shimajigawa (Japonska) s konca sedemdesetih let prejšnjega stoletja [6].....	7
Slika 4: Pregrada Miyagase (Japonska)- največja do sedaj zgrajena RCD pregrada [6] .....	7
Slika 5: Prerez tipičnega sloja pregrade iz valjano komprimiranega betona [8] .....	9
Slika 6: Postopek gradnje sloja pri pregradah iz valjanega komprimiranega betona: 1)transport in raztros valjano komprimiranega betona, (2) raztros z buldožerjem, (3) izdelava prečnih delovnih stikov (4) zgoščevanje z vibracijskim valjarjem, (5) nega betona, (6) žlebljenje in čiščenje površine, (7) nanos malte [8].....	9
Slika 7: Razstiranje in nanos vezivnega sredstva oziroma malte (Nagai pregrada,Japonska) [6].....	10
Slika 8: Postopki gradnje pregrade iz valjanega kompaktiranega betona: a. transport z žerjavom, b. nanos veziva/malte, c. raztovarjanje betona, d. planiranje oz razstiranje z buldožerji, e. zbijanje z vibracijskim valjarjem, f. rezanje delovnih stikov [6].....	10
Slika 9: Prečni prerez pomožne na Nagashima pregradi [10] .....	11
Slika 10: Sestava tipičnega vzorca stabilizirane zemljine [9] .....	11
Slika 11: Primer predelovalnega obrata stabilizirane zemljine [9] .....	12
Slika 12: Diagram razmerij med napetostmi in deformacijami klasičnega betona, stabilizirane zemljine in kameninskih materialov [3].....	13
Slika 13: Razporeditev tlačnih in nateznih napetosti pri pregradi trikotne oblike(levo) in pregradi trapezne oblike (desno) pri obtežni kombinaciji: lastna teža + hidrostatična obtežba vode + potresna obtežba [9].....	14
Slika 14 Primerjava med betonsko pregrado, pregrado iz stabilizirane zemljine in nasuto zemeljsko pregrado s tesnilnim jedrom [11] .....	14
Slika 15: Prečni prerez trapezoidne pregrade iz stabilizirane zemljine [3] .....	15
Slika 16: Pridobivanje in proizvodnja CSG materiala [8].....	16
Slika 17: Grafični prikaz oznak uporabljenih za izris geometrije prereza .....	18
Slika 18: Model pregrade trikotne oblike v programu CADAM .....	18
Slika 19: Model pregrade trapezne oblike v programu CADAM .....	19
Slika 20: Grafični prikaz stabilnostne analize klasične masivne betonske pregrade pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM.....	21
Slika 21: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz valjanega betona pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM.....	21
Slika 22: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz stabilizirane zemljine pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM.....	22
Slika 23: Grafični prikaz stabilnostne analize klasične masivne betonske pregrade pri izjemni obtežni kombinaciji-primer poplave, CADAM .....	22
Slika 24: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz valjanega betona pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave, CADAM .....	23
Slika 25: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz stabilizirane zemljine pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave, CADAM .....	23
Slika 26: Grafični prikaz stabilnostne analize klasične masivne betonske pregrade pri potresni obtežbi, CADAM.....	24
Slika 27: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz valjanega betona pri potresni obtežbi, CADAM.....	25

---

Slika 28: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz stabilizirane zemljine pri potresni obtežbi, CADAM .....	25
Slika 29: Razporeditev napetosti v klasični masivni betonski pregradi pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM .....	27
Slika 30: Razporeditev napetosti v pregradi iz valjanega komprimiranega betona pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM .....	28
Slika 31: Razporeditev napetosti v pregradi iz stabilizirane zemljine pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM .....	28
Slika 32: Razporeditev napetosti v klasični masivni betonski pregradi pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplava, CADAM .....	29
Slika 33: Razporeditev napetosti v pregradi iz valjanega betona pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplava, CADAM .....	30
Slika 34: Razporeditev napetosti v pregradi iz stabilizirane zemljine pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplava, CADAM .....	30
Slika 35: Razporeditev napetosti v klasični masivni betonski pregradi pri potresni obtežbi, CADAM .....	31
Slika 36: Razporeditev napetosti v pregradi iz valjanega betona pri potresni obtežbi, CADAM .....	32
Slika 37: Razporeditev napetosti v pregradi iz stabilizirane zemljine pri potresni obtežbi, CADAM .....	32

#### KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Geometrija prereza za model trikotne RCD in betonske težnostne pregrade.....	18
Preglednica 2: Mehanske karakteristike RCC in CSG valjanega betona za analizo .....	19
Preglednica 3: Vrednosti varnostnega faktorja proti zdrs v odvisnosti od obtežnega primera in poznanih karakteristik naravnih danosti na terenu .....	20
Preglednica 4: Dopustne napetosti v telesu pregrad pri različnih obtežnih slučajih .....	26



## 1 UVOD

Hidrotehnični objekti kot so pregrade imajo že od samega začetka pomembno gospodarsko in ekonomično funkcijo. Izgradnja objekta tovrstnih dimenzij in s tako vlogo predstavlja zelo velik izziv tako iz inženirskega vidika, kot tudi finančnega. Kljub ustaljeni praksi gradnje betonskih pregrad iz masivnega betona so se pojavile tudi nove tehnologije gradnje, ki so proces gradnje pospešile in do neke mere pocenile. Z uporabo valjanih betonov, ki so se pred tem uporabljali v cesto gradnji, se je na področju zasnove in izgradnje velikih betonskih pregrad marsikaj spremenilo in izboljšalo. Ta tip betonskih težnostnih pregrad je v svetu vse bolj prevladujoč.

Seveda se razvoj ni ustavil samo pri uporabi klasičnega valjanega betona, temveč se je v zadnjih dveh desetletjih dogodil skokovit razvoj na področju tehnologije gradnje valjanih betonskih pregrad, tako na področju tehnologij gradnje, kot na področju tehnologij materialov. Pravzaprav lahko valjane betonske pregrade uvrstimo kot posebni tip masivnih betonskih pregrad, ločeno od klasičnih masivnih betonskih pregrad.

Namen diplomske naloge je narediti pregled med osnovnimi tehnologijami gradnje masivnih pregrad z valjanim betonom po postopkih: 1. klasičnega valjanega betona (Roller compact concrete – RCC); 2. modificiranem postopku valjanega betona (Roller compact dam – RCD) in 3. uporabe cementirane zemljine (Cemented, sand and gravel dam – CSG). V tem sklopu bomo na osnovi pregleda literature opisali posamezne tehnologije gradnje, uporabe materialov ter medsebojno primerjali osnovne mehanske lastnosti.

V računskem delu naloge bomo izvedli stabilitetno analizo masivnih betonskih pregrad, grajenih po postopkih RCD in CSG in primerjali s klasično masivno betonsko pregrado s pomočjo programskega orodja CADAM. Ocenili bomo varnost pred porušitvijo in mehansko stabilnost pri običajnih ter izjemnih obtežnih primerih, kot sta poplava in potresna obtežba.

## 2 PREGRADE IZ VALJANEGA BETONA

Uporaba valjanega betona je pri gradnji pregrad s pospešitvijo postopkov prinesla prav tako večjo ekonomsko učinkovitost. Tehnologija gradnje z uporabo klasičnih masivnih betonov z vgraditvijo, zgoščevanjem in utrjevanjem je dosti bolj zamudnejši postopek, tako se je izgradnja betonskih pregrad z uporabo valjanega betona znatno olajšala. Prvi uspešen primer uporabe tovrstne tehnologije je bil pri popravilu enega izmed vhodnih tunelov na zemeljski pregradi Tarbela v Pakistanu leta 1974 [1].

Uporaba valjanih betoni pri gradnji pregrad združujejo prednosti nasutih (kontinuirnost gradnje, hitrost gradnje, ekonomičnost,...) in betonskih pregrad (konstrukcijska trdnost, manjša propustnost,, obratovalna varnost,...). Njihova vse bolj razširjena uporaba po svetu je posledica nižjih stroškov gradnje, kar deloma izhaja tudi iz poteka hitrejše gradnje [1].

Definicija valjanega betona po ACI [2] pravi, da gre za beton, katerega se zgoščuje s pomočjo valjarjev po principu vgrajevanja zemeljskih nasipov in pri tem mora betonska mešanica v svojem nestrjenem stanju prenesti vse obremenitve mehanizacije pri vgrajevanju. Torej valjan beton se od klasičnega razlikuje predvsem v zahtevah po konsistenci. Mešanica mora biti za učinkovito konsolidacijo dovolj suha, da prepreči pogrezanje mehanizacije pri vgrajevanju in utrjevanju in ob tem dovolj vlažna, da omogoča dobro homogenizacijo komponent pri zamešanju betonske mešanice in čim boljše zgoščevanje pri vgradnji. Zbor vojaških inženirjev ZDA (USACE) navaja sledeče prednosti uporabe valjanih betonov [3]:

- Stroškovno gledano je v odvisnosti od težavnosti objekta cena uporabe valjanega betona za 25 do 50 odstotkov nižja kot uporaba klasičnega betona
- Pri večjih projektih kot so velike pregrade se dela lahko zaključijo 1 do 2 leti prej kot je navadno pri običajnih masivnih betonskih pregradah
- Uporaba cementa v mešanicah je znatno nižja in prav tako so nižji stroški opaževanja zaradi manjše potrebe po opažih
- Nižji so prav tako stroški vgrajevanja

### 3 TEHNOLOGIJE GRADNJE PREGRAD IZ VALJANEGA BETONA

#### 3.1 RCC PREGRADE

Izraz »Roller-Compacted Concrete«, (valjano stisnjen beton) v nadaljevanju valjani beton, opisuje beton in tehnologijo vgrajevanja pri gradnji RCC pregrad v katerem so združene ekonomičnost in hitrost gradnje, ki je primerljiva z zemeljskimi z odpornostjo in trajnostjo, ki jo zagotavljajo betonske pregrade. Za valjani beton je v osnovi značilna uporaba cestne mehanizacije (buldožerji, prekucniki, vibracijskih valjarji,...) pri vgrajevanju, kar ga znatno razlikuje od klasične gradnje z ulivanjem masivnega betona. Gre za beton katerega vgrajujemo v zemeljsko vlažnem stanju z manjšo količino cementnega veziva in deležem dodane vode. Lastnosti strjenega valjanega betona pa ne odstopajo bistveno od klasičnega masivnega betona. Tehnologija gradnje valjanega betona je poznana že vsaj od poznih dvajsetih let prejšnjega stoletja, vendar se je povečini uporabljal kot podloga za avtoceste in pristajalne steze letališč. Od leta 1960 pa se uporablja tudi za izgradnjo pregrad. Povečana uporaba tovrstnih pregrad v zadnjih letih je posledica štirih večjih dejavnikov, ki so vplivali na drugačno dojetje nove tehnologije [4]:

1. Boljše razumevanje obnašanja valjanega betona kot gradbenega materiala
2. Porast višine valjano betonskih pregrad
3. Spremenjena uporaba pregrad iz valjanega betona, saj so se v preteklosti redko uporabljale v hidroenergetiki
4. Ekonomski razlogi

##### 3.1.1 Material

Valjani beton se od klasičnega betona razlikuje predvsem v tem, da ima konsistenco, ki omogoča vgradnjo s težko cestno mehanizacijo in primerno stopnjevani agregat ter zadostne količine veziva, za dosego ustrezne zbitosti pri vgrajevanju. V splošnem se za mešanico lahko uporabi kateregakoli od osnovnih tipov cementa, še bolj pa je v uporabi kombinacija cementa in veziv s pucolanskimi lastnostmi, ki zmanjšujejo potrebo po količini cementa in hkrati vplivajo na znižanje toplote hidratacije ter stroškov izvedbe. Polega tega povzročajo počasnejši prirast trdnosti kar izboljšuje povezanost med plastmi valjanega betona in pojav temperaturnih obremenitev.

Dodatki s pucolanskimi lastnostmi so lahko mineralni dodatki v obliki fino drobljenih silikatnih materialov (mikrosilika), elektrofiltrski pepel, plavžna žindra, katere se dodajajo cementu, navadno v razponu od 15 do 100 odstotnem deležu glede na težo cementnih materialov. Dodatke uporabljamo pri valjanih betonov iz več razlogov [5]:

- Z nadomeščanjem cementa znižujejo toploto hidratacije, pri nespremenjenih trdnostnih karakteristikah.
- Dodajanje veziv s pucolanskimi lastnosti nadomešča cement in ugodno vpliva na znižanje stroškov gradnje.
- Manjša je dovzetnost za alkalno silikatne reakcije

Pri izbiri vira, oblike in razvrščanja grobega agregata je najpomembnejše, da se prepreči segregacija. Ne glede na to kako dobre so mehanske lastnosti valjanega betona, če pri slednjem pride do segregacije med transportom, raztrosom ali zbijanjem bo učinkovitost na kraju samem veliko manj zadovoljiva od pričakovane. V izogib segregaciji se mora pri nizko cementnih mešanicah iz valjanega betona povečati delež finejših frakcij agregata [5].

### 3.1.2 Prednosti in slabosti pregrad iz valjanega betona

Prednosti pregrad iz valjanega betona v primerjavi s klasičnimi masivnimi betonskimi pregradami so naslednje [5]:

- Hitrejša gradnja, saj je možno doseči celo 2,5 do 3 m napredovanja po višini na teden pri velikih pregradah in še večje hitrosti pri manjših pregradah.
- Efektivna uporaba običajne cestne mehanizacije pri gradnji, kot so tovornjaki, vibracijski valjarji, buldožerji itd.
- Zmanjšanje stroškov izgradnje kot posledica zgoraj naštetih prednosti
- Izvedba v tanjših plasteh kar ima posledice v večji varnosti med samo gradnjo

Prednosti pregrad iz valjanega betona v primerjavi z nasutimi pregradami so [4]:

- Krajši čas gradnje s primerljivim načinom gradnje vendar z manj uporabljenega materiala.
- Možnost vključevanja evakuacijskih objektov preko jezu.
- Krajše preusmeritve rečne struge za čas gradnje in zmanjšanje potrebe po gradnji preusmeritvenih pregrad.
- Krajši dovodni in odvodni kanali.
- Manjši stroški kot posledica zgoraj naštetih prednosti.
- Zmanjšan vpliv na okolje saj je uporabljeno manj materiala kar posledično tudi zmanjša količino transporta.
- Pregrada lahko tudi prestane poplave med samo izgradnjo brez večje škode.
- Gradbena sezona je lahko daljša kot pri nasutih pregradah.

Slabosti pregrad iz valjanega betona se pokažejo v primerih, kjer pogoji gradnje niso najprimernejši in lahko postane dražja kot klasične masivne betonske pregrade. Tovrstni primeri so:

- Količine agregata so omejene oziroma je eksploatacija v večjem obsegu neekonomična.
- Neugodne geološko-geomehanske razmere pri temeljenju, kjer bi prišlo lahko do diferenčnih ali neenakomernega posedanja temeljne podlage.
- V primeru ožjih dolin s strmimi brežinami kjer je premalo prostora za manevriranje z opremo in stroji.

### 3.1.3 Načrtovanje pregrad iz valjanega betona

Izgradnja pregrad iz valjanega betona poteka v horizontalnih slojih enako kot gradnja nasutih zemeljskih pregrad. Za razliko od nasutih pregrad je dinamika gradnje pregrade iz valjanega betona bistveno hitrejša – napredovanje po višini je lahko tudi do 10m na mesec ali več. Število horizontalnih stikov med relativno tankimi sloji in s tem povezana kontrola kakovosti imata lahko zelo velik vpliv na globalno stabilnost pregrade v smislu tlaka vode v zaledju ter natezne in strižne odpornosti stikov med sloji. Zato projektanti v splošnem uporabljajo dva osnovna principa projektiranja:

- Celovit pristop, ki se nanaša na zagotavljanje vodotesnosti pregrade skozi kvalitetno in primerno obravnavo vsakega horizontalnega stika med plastmi.
- Posamični pristop, ki se nanaša na zagotavljanje vodotesnosti pregrade z neprepustno oblogo, ki je običajno nameščena na gorvodno stran jezu

Poleg omenjenih različnih pristopov k načrtovanju pregrad iz valjanega betona je potrebno omeniti še razlike v pristopih, ki so vezane na lokacijo same pregrade, saj se metode zelo razlikujejo od države do države. V Braziliji na primer so razvili valjan beton z visoko vsebnostjo finih frakcij, ki je primernejši za pogoje gradnje v njihovi državi. Tam namreč primanjkuje ekonomično dosegljivega ustreznega agregata, kar je posledica velikih razdalj. Prav tako so pričakovane dinamične obremenitve zaradi potresov na tem območju majhne in ni potreb po višjih zahtevah trdnosti betona.



Načrtovalni parametri in procedure pri tovrstnih pregradah imajo kljub podobnosti s klasičnimi betonskimi pregradami svoje karakteristike, katere se morajo vzeti v poštev pri procesu projektiranja. Materialne lastnosti kot so modul elastičnosti, Poissonovo število, koeficient temperaturnega raztezka in specifična teža so načeloma zelo podobni kot pri tradicionalnih betonskih pregradah, saj so v veliki meri odvisne od uporabljenega agregata [5].

### 3.1.4 Postopek gradnje pregrad iz valjanega betona

Izvedba, načrtovanje in logistika gradnje pregrade iz valjanega betona so nekoliko drugačne kot pri tradicionalnih masivnih betonskih pregradah. Namesto postopne gradnje z med seboj neodvisnimi bloki poteka gradnja pregrad iz valjanega betona v relativno tankih slojih, kjer se vgrajuje vsakič samo en sloj, sprotno po celotni širini in dolžini pregrade. V bistvu gre za posamezne sloje betona, ki se vrstijo ena nad drugo v hitrem zaporedju. V primeru pojava kakršnekoli problema na kateri izmed plasti, ga je potrebno razrešiti pred nanosom sledečega sloja. Zato je tudi pomembno, da so vse povezane dejavnosti kot so urejanje temeljne podlage, dostopnost ter dostava materialov in vgradnih delov načrtovane in organizirane predčasno in pravočasno.

Gradnja klasičnih betonskih pregrad navadno zajema visok delež angažiranja delovnih ur v primerjavi s vgrajeno količino betona. Med tem ko je pri pregradah iz valjanega betona znatno večji obseg mehaniziranega dela v vseh fazah izvajanja in so s tem manjše potrebe po angažiranju delovne sile zaradi manjšega števila opazev ter manj dela pri pripravi delovnih stikov [5].



Slika 1: Uporaba mehanizacije pri gradnji pregrad iz valjanega betona; iz leve proti desno: raztros mešanice s kamioni prekucniki, razstiranje z buldožerji in zgoščevanje s kompakcijskimi valjarji [1]

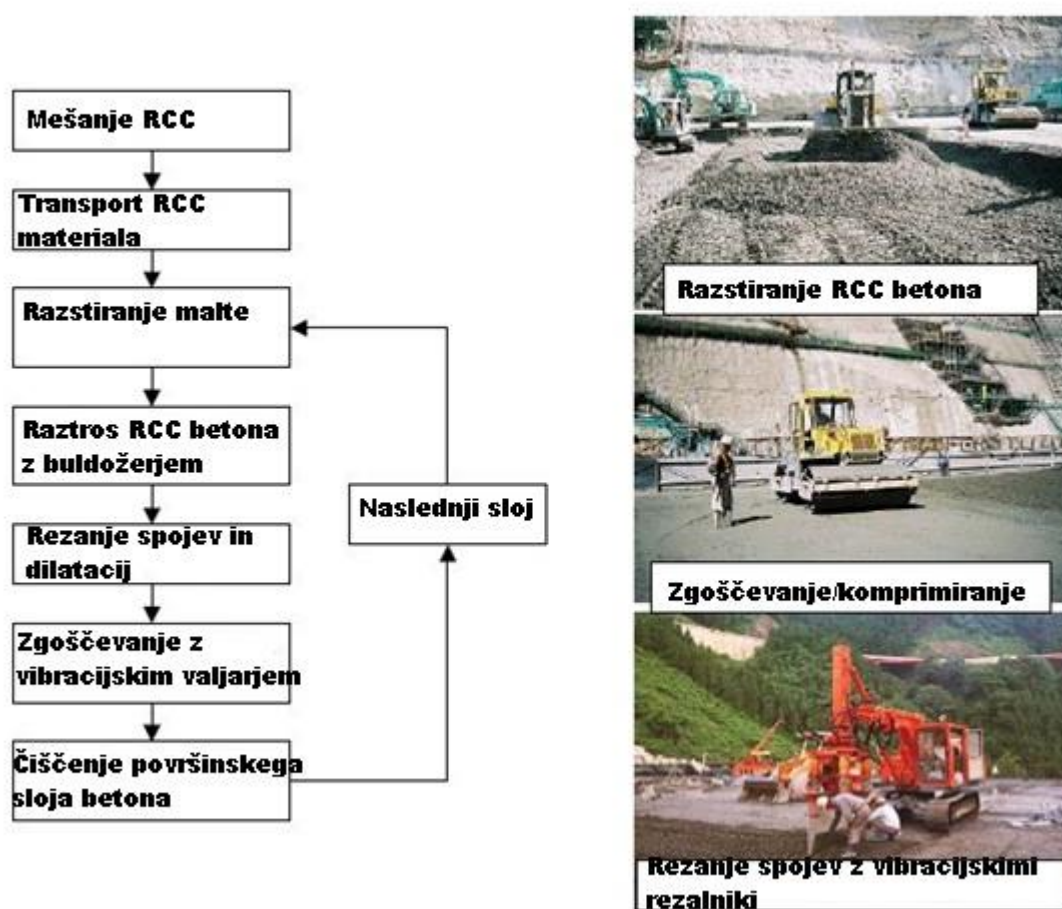
Kot je pokazano na sliki 2, se tehnološki postopek priprave valjanega betone začne z zamešanjem v betonskem obratu, kjer morajo mešalniki zagotoviti zadostno kapaciteto glede na potrebe in dinamike gradnje. Temu sledi transport materiala do mesta vgraditve, kjer še vedno prednjači uporaba prekucnikov ali transporterjev, za primere težko dostopnih mest pa se uporabijo lahko drugi tipi transportov (vertikalni transporti z uporabo žerjavov in elevatorjev, horizontalni transporti z uporabo tekočih trakov ipd.). Ne glede na izbiro načina transporta je potrebno zagotoviti, da je nevarnost segregacije materiala zmanjšana na minimum.

Pred vgradnjo valjanega betona se najprej ob opaz na robu plasti na gorvodni in dolvodni strani vgradi vmesni sloj betona. Nato se ob njega raztrosi valjan beton in nato razstre z buldožerji v sloj debeline okoli 30 cm, kot je prikazano na sliki 1. Nato sledi zgoščevanje s potopnimi vibratorji in za tem komprimiranje z vibracijskimi valjarji, da v plasti dosežemo želeno zgoščenost. V nekaterih pregradah so bili za vmesni beton uporabljeni super plastificirani betoni, da so lahko dosegli oblikovalnost, ki je primerna za obdelavo z vibracijskimi valjarji. Komprimiranje sledi takoj po raztrosu, še posebej v toplejših vremenskih obdobjih in traja navadno največ 15 minut po raztrosu oziroma najkasneje 45 minut od zamešanja. Namreč testi so pokazali precejšnje in hitro zmanjšanje tlačnih ter nateznih vrednosti, če se sveža mešanica z nizko vsebnostjo cementa komprimira pri starosti 30 do 45 minut in

pri 20°C ali višjih temperaturah. Seveda se lahko dovoljen čas podaljša z uporabo višjega deleža pucolanskih in drugih dodatkov ali pri nižjih zunanjih temperaturah [5].

Glede na lastnosti posameznih mešanic je potrebno prilagoditi pogoje kompaktacije, ki pa so odvisni tudi od zunanjih dejavnikov: temperature in vlage okolja, hitrosti vetra, njene oblikovalnosti, vsebnosti finega deleža agregata, plastičnosti in maksimalne velikosti zrn agregata. V splošnem bi morala biti na koncu postopka zgoščevanja dosežena gladka površina sloja. Nato se prečno preko celotnega sloja izvedejo dilatacije s pomočjo vibracijskih rezalnikov s čimer je preprečen nekontroliran pojav razpok, ki nastanejo med krčenjem betona.

Nazadnje se površina betona primerno očisti in nato postopek ponovi na naslednjem sloju in tako ciklično naprej v slojih do želene višine pregrade [6].

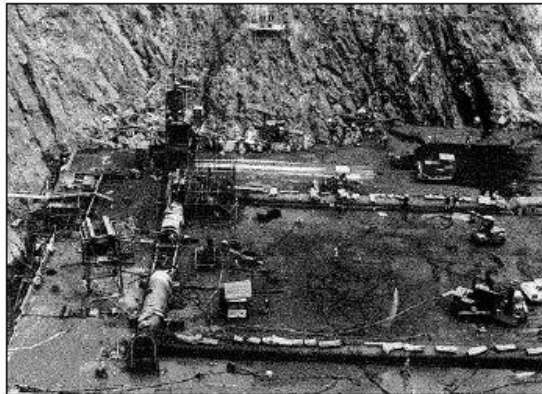


Slika 2: Izgradnja RCC pregrade [7]

### 3.2 RCD pregrade

Modificirani postopek gradnje valjane betonske pregrade (Roller Compacted Dam concrete - v nadaljevanju valjani komprimirani beton) je v uporabi že od sedemdesetih let prejšnjega stoletja in se od konvencionalnega valjanega betona razlikuje v zasnovi in postopku gradnje. Valjani komprimirani beton je bil prvič uporabljen pri gradnji pregrad Shimajigawa, ki je prikazana na sliki 3 in Ohkawa, kjer se je z zaključkom del v osemdesetih letih prejšnjega stoletja pokazala uspešnost in

funkcionalnost metode. Najvišja do sedaj zgrajena pregrada iz valjanega komprimiranega betona je pregrada Miyagese, ki je visoka 156m (slika 4) [6].



Slika 3: Gradnja prve RCD pregrade Shimajigawa (Japonska) s konca sedemdesetih let prejšnjega stoletja [6]

Valjano komprimirani beton je suh in pust beton z namenom izboljšanja pogojev transporta, premikanja mehanizacije po svežem nanosu sloja in zmanjšanja toplote hidratacije. Zaradi tega je delež cementa in vode v mešanici bistveno manjši kot pri klasičnem masivnem betonu. Ob enem pa mora v strjenem stanju zagotavljati enake lastnosti kot klasičen beton, saj mora zadostiti zahtevam po strukturni varnosti in vodotesnosti pregrade. Kot v primeru konvencionalnega betona mora imeti valjani komprimirani beton ustrezno odpornost, specifično težo, vodotesnost in trajnost, ki ustrezajo želeni izvedbi in namenu [6].



Slika 4: Pregrada Miyagase (Japonska)- največja do sedaj zgrajena RCD pregrada [6]

### 3.2.1 Material

Zahtevane materialne lastnosti pri tovrstni gradnji so: doseganje predpisane odpornosti, specifična teža, trajnost in vodotesnost. Posebno pozornost je potrebno nameniti tudi porastu temperature zaradi sproščanja hidratacijske toplote cementa, kateri mora biti minimalen.

Pri izbiri cementa v mešanici je zagotovo idealen tisti z nizko stopnjo hidratacijske toplote, ki se sprošča med procesom strjevanja betona. Najbolj je uporabljen Portland cement z zmerno hidratacijo,

prav tako so se v ta namen razvili tudi nizko-hidratacijski cementi. Kar se tiče izbire agregata je zahtevano, da je iste kvalitete kot pri klasičnem betonu in čeprav se ponekod uporablja velikost maksimalnega zrna tudi do 150 mm, je v največ primerih maksimalno uporabljeno zrno omejeno na 80 mm. Z zmanjšanjem vsebine cementne paste ali vezivnega sredstva lahko privede do segregacije agregata. To se preprečuje z dodatkom večjega deleža finih frakcij. Pri nekaterih pregradah so v ta namen uporabili fine frakcije, ki nastanejo v procesu proizvodnje agregata in so do nedavnega veljale za odpadni proizvodni material. Poleg finih frakcij se v mešanico dodajajo dodatki, kot so: mineralni dodatki, pucolan, elektrofiltrski pepel in podobno. Najbolj razširjena je uporaba slednjega, ki navadno nadomesti cement v 20 do 40% deležu.

Uspešnost gradnje z valjanim komprimiranim betonom je v veliki meri odvisna od mešanice za vgraditev. Razmerje cementa, vode in agregata mora zadostiti vsem zahtevam odpornosti in ob enem preprečiti prevelike temperaturne dvige ter zadostiti vibracijskim testom konsistence [7].

### 3.2.2 Prednosti valjano komprimiranih betonov

Prednosti se bistveno ne razlikujejo od običajnih valjanih betonov [6]:

- Hitrejša izgradnja kot pri klasičnih masivnih betonskih pregradah
- Manjši stroški opaževanja zaradi posebne tehnologije gradnje
- Manjša poraba cementa in nižje vodo cementno razmerje
- Manjši stroški izgradnje zaradi zgoraj naštetih stvari in zaradi avtomatiziranega procesa izgradnje (transport, vgrajevanje, komprimiranje)

### 3.2.3 Načrtovanje pregrad iz valjano komprimiranega betona

Osnovi dejavniki katere je potrebno upoštevati pri tovrstni metodi gradnje pregrad so razporeditev del, kontrola temperature, debelina zbivanja oziroma zgoščevanja, kapaciteta gradbenih obratov, topografija in geologija terena, klima in okolica. Ključne stvari pri načrtovanju pa so [6]:

- Razporeditev valjano komprimiranega betona znotraj pregrade v smiselne cone oziroma območja: gorvodna in dolvodna stranica morata biti prekriti z visoko kakovostnim betonom, ki je vodotesen, trajen in odporen na zmrzal ali ekstremna temperaturna dviganja. Kot v konvencionalnih pregradah tudi tu ločimo zunanji beton, temeljni oziroma podložni beton, notranji beton itd.
- Časovna razporeditev gradnje slojev: ena izmed prednosti te metode je zagotovo časovna ekonomičnost ali hitrejša izvedba in ravno zaradi tega je potrebna dobra organiziranost in načrtovanje, da se obdrži učinkovitost gradnje in prepreči nepotrebne razpoke zaradi temperature. Da bi se pospešila izgradnja so zmanjšali število obdelanih slojev in s tem povečali debelino sloja, katera v večini pregrad znaša okoli 1 m. Izvede se ga v sicer štirih tanjših nanosih materiala z buldožerji in finalnim zbijanjem pri debelini 1m.
- Omejitev zaradi klimatskih razmer: ker je valjano komprimiran beton kot izrazito zemeljsko vlažen beton zelo občutljiv na dež, se v primerih povečanih padavin (>2-4 mm/h) prekine vgraditev betona. Tovrsten vpliv lahko znatno vpliva na razporeditev del zato se tega v planiranju del ne sme prezreti.
- Kontrola temperature: ker konvencionalne metode hlajenja masivnega betona ne pridejo v poštev, je potrebno predhodno načrtovati nadzor nad temperaturnimi razmerami pri vgrajevanju. To se po navadi doseže z uporabo nizko-hidratacijskega cementa z dodanim elektrofiltrskim pepelom, z naknadnim rezanjem delovnih stikov, ki preprečujejo razpoke, s primerno nego betona, predhodno ohladitvijo komponent betona in primerno izbiro letnega obdobja za vgrajevanje betona.

- Izbira transportnega sistema, ki je najbolj ustrezen terenu gradnje.
- Poenostavitev objektov znotraj telesa pregrade

### 3.2.4 Postopek gradnje pregrad iz valjanega komprimiranega betona

Z razvojem nove tehnologije gradnje valjanega betona, ki ima isto kvaliteto, odpornost in gostoto kot konvencionalen masivni beton, je bilo potrebno razviti tudi njemu primerno novo tehniko gradnje pregrad. Pri tej tehnologiji gradnje je beton razstrt v več tankih plasteh po celotni površini pregrade ki skupaj tvorijo posamezni sloj. Zgoščevanje se izvaja po slojih z uporabo vibracijskih valjarjev. Postopek, ki je prav tako prikazan na slikah 6 in 8 spodaj, se prične s transportom zemeljsko vlažnega betona na mesto vgraditve s pomočjo kamionov prekucnikov ali drugih primernih prevoznih sredstev. Nato se beton razstre s pomočjo buldožerjev v tankih plasteh ter za tem razreže prečne delovne stike s pomočjo vibracijskih rezalnikov. Prečni delovni stiki so namenjeni preprečevanju temperaturnih razpok v betonu [6].



Slika 5: Prerez tipičnega sloja pregrade iz valjano komprimiranega betona [8]

Temu sledi valjanje celotnega sloja z vibracijskim valjarjem, kjer je debelina sloja po tem postopku dosti večja (od 70 do 100 cm) kot pri običajnem valjanem betonu, kjer se zgoščuje sloj v debelini okoli 30 cm. Prikaz prereza tovrstnega sloja je na sliki 5. S tem se namensko zmanjša število horizontalnih delovnih stikov med posameznimi sloji in posledično pridobi večjo stabilnost pregrade, ker je manj potencialno šibkih mest. Predhodni sloj je potrebno obdelati s tako imenovanim »zelenim rezom«, kjer se z vodno žago izžlebi površina mladega betona predhodnega sloja, da se zagotovi primeren stik z naslednjim slojem [6].

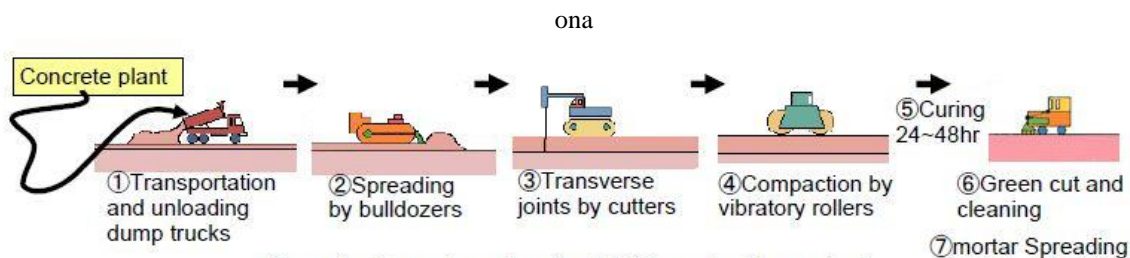


Figure 1 - Concrete work cycle of RCD construction method

Slika 6: Postopek gradnje sloja pri pregradah iz valjanega komprimiranega betona: 1)transport in raztros valjano komprimiranega betona, (2) raztros z buldožerjem, (3) izdelava prečnih delovnih stikov (4) zgoščevanje z vibracijskim valjarjem, (5) nega betona, (6) žlebljenje in čiščenje površine, (7) nanos malte [8]

Pred vgradnjo sledečega sloja je treba na predpripravljeno površino predhodnega sloja nanesti vezni sloj oziroma malto, kot je prikazano na sliki 7, za zagotovitev kvalitetnega stika med slojema. Debelina te plasti je okoli 15 mm [6].



Slika 7: Razstiranje in nanos vezivnega sredstva oziroma malte (Nagai pregrada, Japonska) [6]



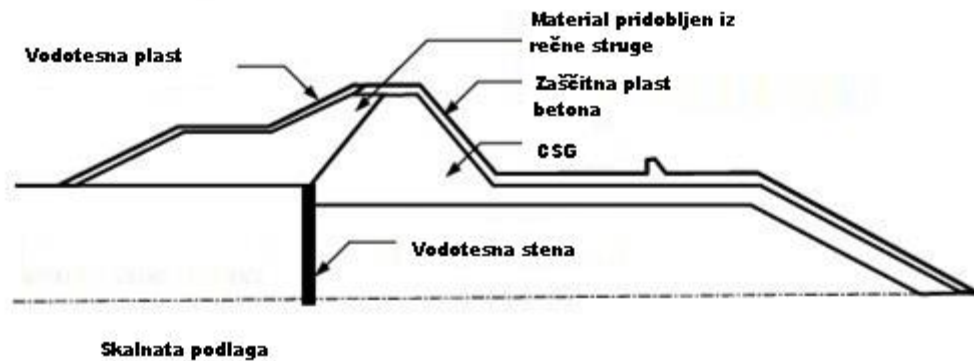
Slika 8: Postopki gradnje pregrade iz valjanega kompaktiranega betona: a. transport z žerjavom, b. nanos veziva/malte, c. raztovarjanje betona, d. planiranje oz razširjanje z buldožerji, e. zbijanje z vibracijskim valjarjem, f. rezanje delovnih stikov [6]

### 3.3 CSG PREGRADE

Pregrade iz stabilizirane zemljine (consolidated cemented sand and gravel dam – CSG Dam) so pregrade trapezne oblike, kjer glavni material predstavlja zemljina (pesek in gramoz) z dodatkom cementa. Površinski sloj pregrade je iz zaščitnega sloja konvencionalnega betona, ki zagotavlja dodatno trajnost [9].

Uporaba stabilizirane zemljine za gradnjo pregrad je razmeroma sodobna stvar in njegova uporaba ni tako množično razširjena kot pri klasičnih betonskih pregradah. Tovrstna tehnologija je bila prvič uporabljena pri gradnji pomožne pregrade na gradbišču pregrade Nagashima na Japonskem, prikazani na sliki 9. V slednjem primeru je bila pomožna pregrada najprej zgrajena kot nasuta zemeljska pregrada, vendar so se po večji poplavi, ki jo je odplavila odločili, da jo bo potrebno zgraditi iz materiala, ki je bolj erozijsko odporen. Tako so z mešanjem materiala iz bližnjega rečnega bregu,

cementa in vode pridobili betonsko mešanico, ki se je izkazala za zelo ekonomično in uspešno tehnično rešitev [10].

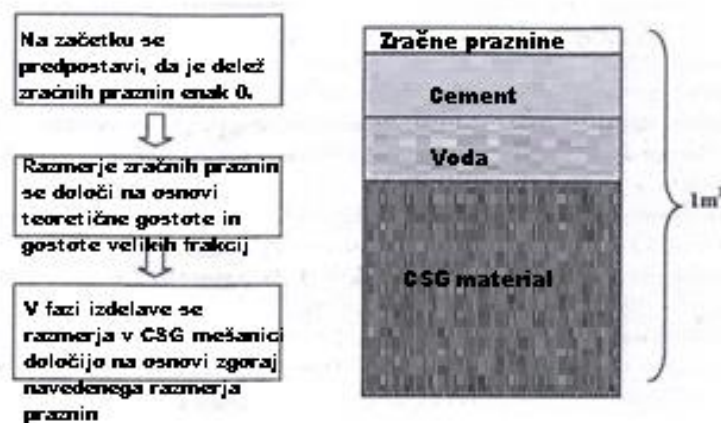


Slika 9: Prečni prerez pomožne na Nagashima pregradi [10]

Od tedaj je zabeleženo mnogo primerov uporabe za gradnjo pomožnih pregrad ipd. Za izgradnjo celotnih trapezoidnih pregrad pa med prvenstvene štejemo pregrado Okukubi, Tobetsu pregrado in pomožno pregrado na gradbišču pregrade Kasegawa [9].

### 3.3.1 Material

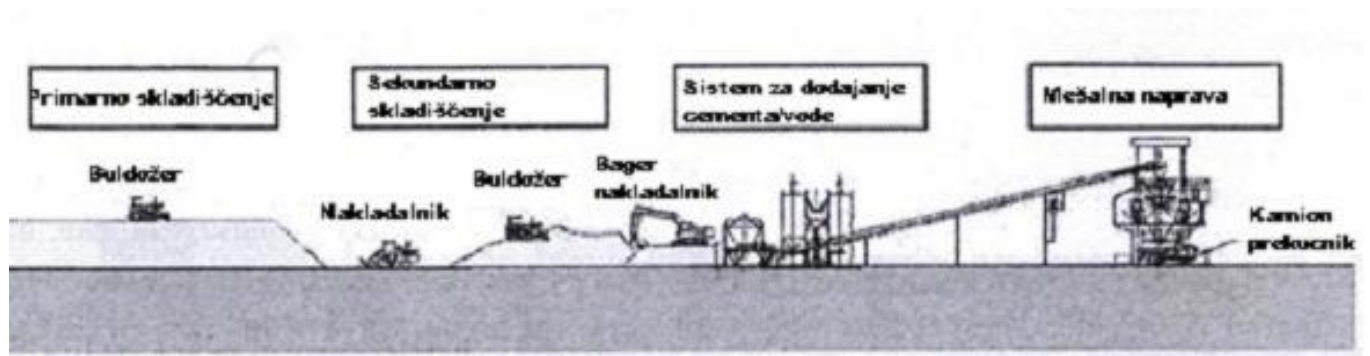
Priprava stabilizirane zemljine poteka podobno kot pri običajnem betonu. Nizki količini cementa in vode se dodajajo peski in gramozni nižje kvalitete, ki so po navadi na dosegu v okolici gradbišča. Zato v splošnem mehanske lastnosti stabilizirane zemljine niso standardizirane, saj so vezane na lastnosti agregata, ki je bil uporabljen in odvzet iz okolice gradbišča. Slabost pri tem je, da se lahko znotraj ene same pregrade nahajajo območja z zelo različnimi mehanskimi lastnosti. V ta namen je seveda potrebno predhodno izvesti preiskavo, ki bo zagotovila potrebne lastnosti in čim boljše homogenost materiala po vsej pregradi.



Slika 10: Sestava tipičnega vzorca stabilizirane zemljine [9]

Na sliki 10 zgoraj je prikazana sestava vzorca iz stabilizirane zemljine, ki se vgrajuje v tovrstne pregrade. Gre za kompoziten material sestavljen iz agregata, cementa, vode in zraka. Na osnovi laboratorijskih testov, ki se jih izvede na več različnih vzorcih, kjer variirata tako velikost zrn v vzorcu kot količina vode, je težko postaviti vrednost vsebnosti por vnaprej pri izračunih. Zatorej se v načrtovani fazi predpostavi, da je količnik zračnih praznin enak 0. Posledično se pojavi razlika v volumnu proizvedenega materiala in volumnu vgrajenega materiala iz katere se nato določi količnik zračnih por.

Glavna razlika v primerjavi z ostalimi betoni je poenostavljen postopek priprave, saj se za pripravo uporabljajo enostavni objekti, kjer gre potreben agregat skozi poenostavljeno predelavo, prikazano na sliki 11. Prevelike frakcije se odstrani ali zdrobi v primernejše, vendar načeloma brez običajnih postopkov separacije ali materiala ter pranja [9].

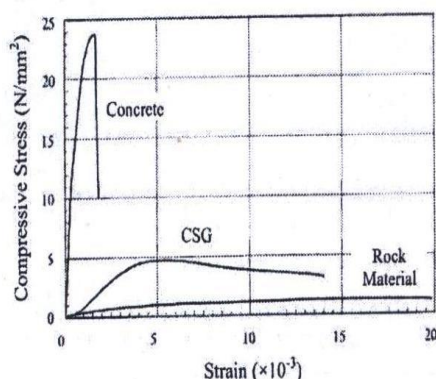


Slika 11: Primer predelovalnega obrata stabilizirane zemljine [9]

Zaradi enostavnejšega postopka pridobivanja materiala je strošek izgradnje tovrstnih pregrad nižji, vendar je potrebno upoštevati, da ne bo dosežena enako velika odpornost, kot pri pregradah iz klasičnega valjanega betona. Na tem mestu je ta pomanjkljivost kompenzirana s trapezno obliko pregrad iz stabilizirane zemljine, pri kateri so zahtevane manjše odpornosti materialov, ki sestavljajo telo pregrade ter temeljev.

Ena izmed najpomembnejših karakteristik trapezoidnih pregrad iz stabilizirane zemljine je upoštevanje pri zasnovi, da se pregrada pri obremenitvah vse skozi obnaša kot elastično telo. Tovrstna zasnova omogoča vgradnjo hidrotehničnih objektov kot so evakuacijski organi, kontrolne galerije znotraj telesa pregrade ali prelivnih zapornic na kroni pregrade. Če se osredotočimo na elastični razpon stabilizirane zemljine se je izkazalo, da znaša modul elastičnosti okoli 3 GPa pri količini uporabljenega cementa 80 kg/m<sup>3</sup>, kar ustreza desetini vrednosti modula elastičnosti betona [9].





Slika 12: Diagram razmerij med napetostmi in deformacijami klasičnega betona, stabilizirane zemljine in kameninskih materialov [3]

### 3.3.2 Prednosti pregrad iz stabilizirane zemljine

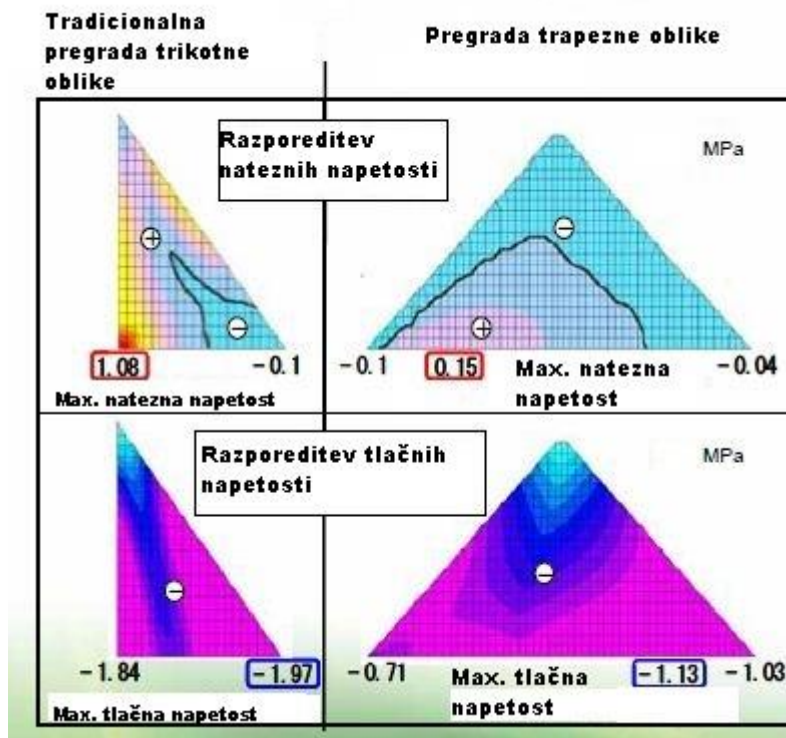
Pregrade iz stabilizirane zemljine imajo tri pomembne prednosti, ki se predvsem nanašajo na [9]:

- **Racionalno uporabo materialov**, saj je mogoča uporaba manj kvalitetnejših zemljinjskih materialov na lokaciji, kar povečuje uporabnost razpoložljivih materialov na lokaciji.
- **Racionalno zasnovano**, ker je zaradi nižjih zahtev po odpornosti možno temeljenje tudi na slabše nosilnih tleh, kjer običajne betonske pregrade ali iz valjanega betona ne bi mogli izvesti
- **Racionalno izvedbo**, v smislu potrebe po manj zahtevnih obratov predelave agregata in hkrati omogočenega hitrejšega poteka gradbenih del

### 3.3.3 Statična zasnova pregrade iz stabilizirane zemljine

#### Notranja stabilnost

Zasnova pregrade iz stabilizirane zemljine je trapezoidna oblika, kar predstavlja vrsto prednosti pred običajno zasnovo betonskih masivnih pregrad ali pregrad iz valjanega betona. Pri prevzemu obtežb se v primerjavi s trikotno obliko zagotovo bolje obnese trapezna oblika telesa pregrade. V primeru, če oba tipa pregrad obremenimo z dinamično obtežbo kot je potres, trapezoidne oblikovane bistveno bolje prenašajo dinamične obremenitve kot trikotne (slika 13). Pregrade iz klasičnega betona imajo boljše mehanske lastnosti, vendar je izdelava posledično dražja, strošek se zato reducira z zmanjšanim volumnom telesa pregrade kar običajno dosežejo z trikotno obliko. Pri nasutih zemeljskih pregradah strošek izdelave in materiala ne predstavlja problema, saj je občutno nižji. Vendar se zaradi doseganje potrebne stabilnosti pobočij in podpornih delov gradijo z manjšimi nakloni, kar pomeni večji porabo materiala. Pregrade iz stabilizirane zemljine omogočajo bistveno večje naklonske kote lica pregrade, kar pomeni občutno zmanjšanje dimenzij pregrade, kot je razvidno iz slike 14 [11].



Slika 13: Razporeditev tlačnih in nateznih napetosti pri pregradi trikotne oblike (levo) in pregradi trapezne oblike (desno) pri obtežni kombinaciji: lastna teža + hidrostatična obtežba vode + potresna obtežba [9]



Slika 14 Primerjava med betonsko pregrado, pregrado iz stabilizirane zemljine in nasuto zemeljsko pregrado s tesnilnim jedrom [11]

## PREČNI PREREZ

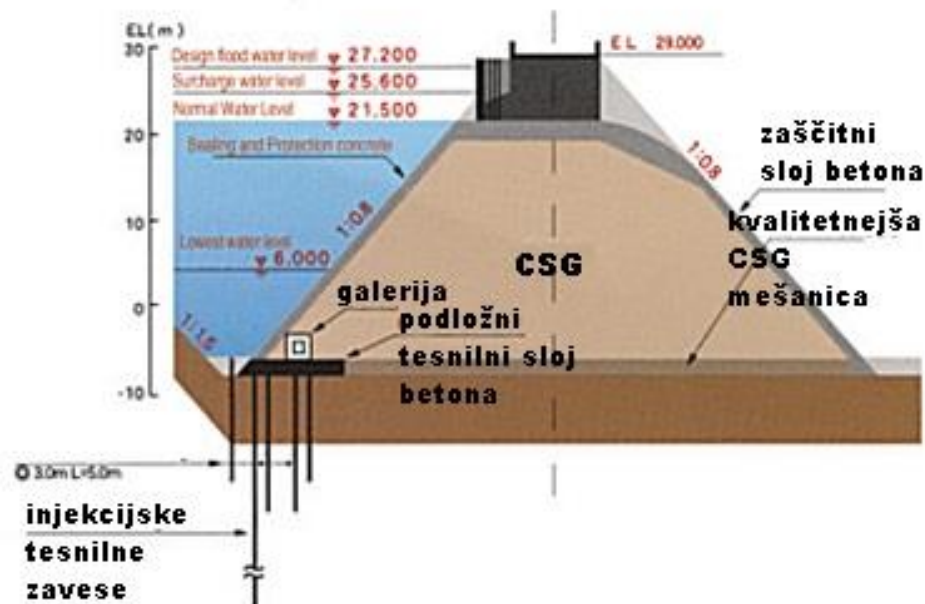
Značilna sestava tovrstnih trapeznih pregrad, kot je prikazano na sliki 15 je naslednja [9]:

- telo pregrade sestavlja material iz stabilizirane zemljine
- lica pregrade in krona so prekrita z zaščitnim slojem običajnega masivnega betona, ki zagotavlja tesnjenje pregrade
- na kontaktu s temeljnimi tlemi je položen sloj stabilizirane zemljine z večjo vsebnostjo cementnega veziva, ki preprečuje pronicanje vode na kontaktu temeljev pregrade
- tesnjenje pregradnega profila je izvedeno na gorvodni strani s tesnilno zaveso iz kontrolne galerije in kontaktnim injektiranjem temeljnih tal v območju galerije

**Osrednji del** iz stabilizirane zemljine po prerezu ni nujno enotne sestave, saj so zahteve po odpornosti prav tako razlikujejo po prerezu. V splošnem je zahtevana večja odpornost v bližini površja gorvodnih in dolvodnih lic pregrade ter ob dnu pregrade med tem, ko so po višini zahtevane trdnosti bistveno manjše. Pri tem je potrebno omeniti, da je v primeru uporabe različnih sestav stabilizirane zemljine

obvezno upoštevati razdelitev na posamezne sloje enakih materialnih karakteristik, pri čemer je treba omogočiti izvedbo vsakega posamičnega sloja v debelini vsaj osmih metrov.

**Zaščitni sloj betona** je položen na površini telesa pregrade z namenom ohranjanja trajnosti, saj ščiti pred atmosferskimi vplivi in erozijo v primeru preliivanja. Debelina betonske obloge naj bi bila najmanj dva metra v horizontalni smeri, vendar se v lahko primerih, ko omejenost s prostorom ne omogoča priporočene izvedbe vgradi nekoliko manj [9].



Slika 15: Prečni prerez trapezoidne pregrade iz stabilizirane zemljine [3]

### 3.3.4 Načrtovanje pregrad iz stabilizirane zemljine

Pri trapezoidnih pregradah iz stabilizirane zemljine so material, zasnova in izvedba tesno povezani, zato se mora na osnovi teh karakteristik izvesti racionalen plan izvedbe. Orodja oziroma mehanizacija za gradnjo z učinkovitim delovanjem, varnostjo in ekonomičnostjo se izberejo na osnovi pogojev zasnove in terena. Uporablja se metoda hitre gradnje po plasteh tako, da je potrebno vsa dela povezana z vgradnjo inštalacij in vgraditvijo zaščitne plasti betona načrtovati v tej smeri, da vgraditev stabilizirane zemljine poteka neovirano in čim bolj učinkovito.

Višina sloja vgrajevanja je definirana glede na analizo zmogljivosti proizvodnje stabilizirane zemljine, zmogljivosti in ciklov ter časa vgrajevanja. Temeljenje in izvedba injekcijskih tesnilnih zavese so načrtovani na ta način, da ne vplivajo na vgradnjo materiala [9].

### 3.3.5 Postopek gradnje

Agregat namenjen za pripravo mešanice stabilizirane zemljine se najprej v okolici gradbišča izkoplje in transportira v obrat za predelavo. Pri klasičnem betonu se agregat predhodno preseje, sortira in izpere. V tem primeru temu ni tako zato je predhodno potrebno izdelati efektiven operativni plan priprave in gradnje, prirejeno dostopnosti materialu na lokaciji. Maksimalno zrno agregata je omejeno na 80 mm, v primeru prevelikih zrn se slednja le zdrobijo na primerno velikost. Navadno se na tem mestu uporabi mobilni drobilec in separator. Agregat se nato odpelje na deponije, kjer ga skladiščijo v dveh stopnjah, primarni in sekundarni, z namenom nadziranja kvalitete. Na obeh stopnjah se na materialu opravijo testi vodne absorpcije in gostote v nasičenem stanju. Iz deponije se pred vgraditvijo

agregat transportira v mobilno betonarno na gradbišču, kjer se nameša mešanica stabilizirane zemljine in nato s kamioni prekucniki transportira na mesto vgradnje.

Stabilizirana zemljina se s pomočjo šest tonskih buldožerjev razstre oziroma planira po celotni površini v navadno dveh slojih debeline 25 cm in nazadnje kompaktira oziroma zbije z 10-11 tonskimi vibracijskimi valjarji do primerne stopnje [9].



Slika 16: Pridobivanje in proizvodnja CSG materiala [8]

#### **4 MEHANSKA IN PSEVDO-STATIČNA ANALIZA PREGRADE S PROGRAMOM CADAM**

Računalniški program CADAM omogoča poleg ocene stabilnosti pregrade tudi podporo raziskavam in razvoju na področju obnašanja konstrukcije in varnosti pregrad. Mogoče je izvesti stabilnostne analize za stalno kot tudi potresno obtežbo. S programom smo izvedli statično stabilnostno analizo za primer stalne obtežbe, v primeru poplave ter psevdo-statično analizo na potresno obtežbo [12].

Namen analize v omenjenem programu je bila primerjava med različnimi tehnologijami gradnje težnostnih pregrad iz valjanega betona in klasičnega betona v izrednih razmerah kot so poplavljanje zadrževalnika in potresna obtežba. Tekom raziskovalnega dela so se pojavile določene omejitve pri analizi in sicer prvič pri številu primerjanih tehnologij, saj sta si obe tehnologiji valjanega betona (RCD in RCC) v materialnih karakteristikah preveč podobni, da bi bila primerjava na poenostavljenem primeru smiselna. Ter drugič, pri obliki valjano betonske pregrade, kjer pri stabilizirani zemljini pride v poštev le trapezna oblika. Tako smo se odločili primerjati RCD valjano betonsko in klasično betonsko težnostno pregrado na modelu trikotne oblike ter pregrado iz stabilizirane zemljine trapezoidne oblike.

##### **4.2 Namen in cilj analize**

Namen analize je primerjati mehansko stabilnost in varnost omenjenih različnih tehnologij gradnje pregrad. Primerjane bodo normalne napetosti, ki nastanejo v stiku pregrade s podlago, splošna stabilnost in varnost pregrade proti prevrnitvi in zdrs. Na osnovi dobljenih rezultatov bomo nato ocenili kateri tip tehnologije gradnje je ob doseženih zahtevah po varnosti pregrade bolj ekonomično učinkovit in primernejši za gradnjo.

Analizo bomo izvedli na primeru dveh trikotnih in eni trapezni obliki težnostnih pregrad z različnimi mehanskimi karakteristikami, ki ustrezajo izbranemu materialu v primeru normalnega obratovanja vodnega zadrževalnika, poplave in potresne obtežbe.

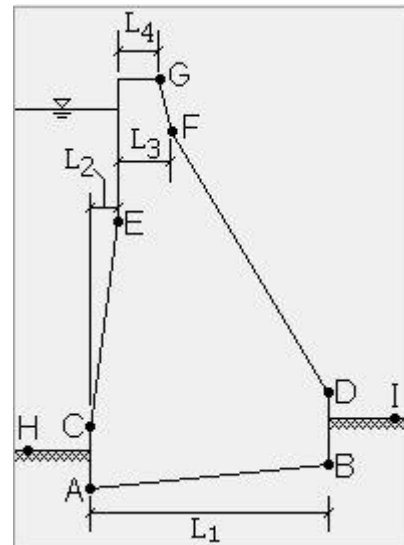
##### **4.3 Geometrija in podatki**

Za model pregrade smo si izbrali pregrado na HE Moste iz šolskih vaj pri predmetu Hidrotehnični objekti ter višino aplicirali še na izbrano trapezno obliko. Pri pregradi iz valjanega betona in običajnega betona smo upoštevali tudi drenažno zaveso ob gorvodnem licu pregrade, pri pregradi iz valjanega komprimiranega betona pa drenaže nismo upoštevali. Prvič zaradi tega, ker ima pregrada na gorvodnem licu nepropustno oblogo in zaveza ni potrebna (pod oblogo se izvede drenažni sloj) ter drugič zaradi nezmožnosti modeliranja zavesa v programskem orodju, ki dopušča izvedbo samo vertikalne drenažne zavesa.

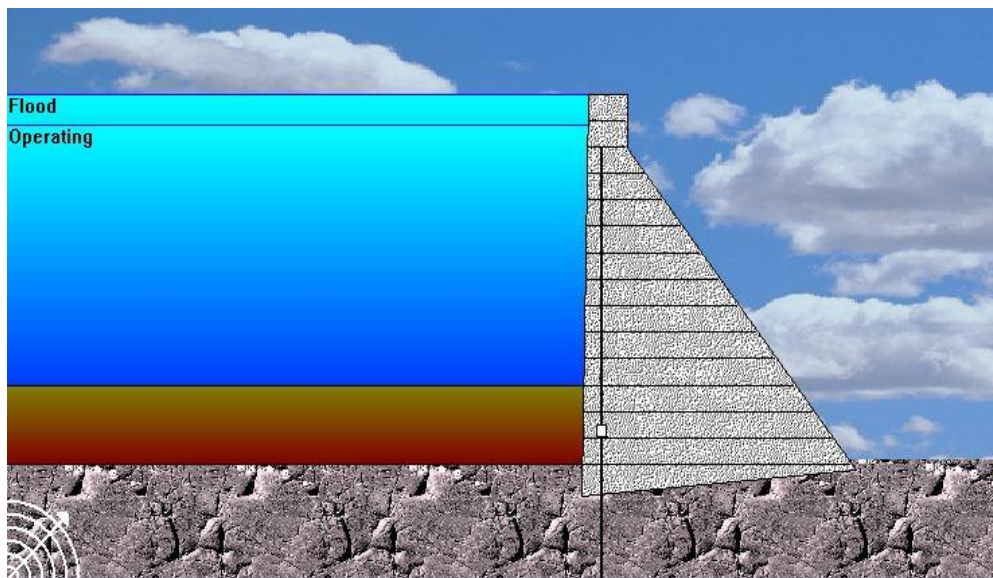
### Geometrija:

Preglednica 1: Geometrija prereza za model trikotne RCD in betonske težnostne pregrade

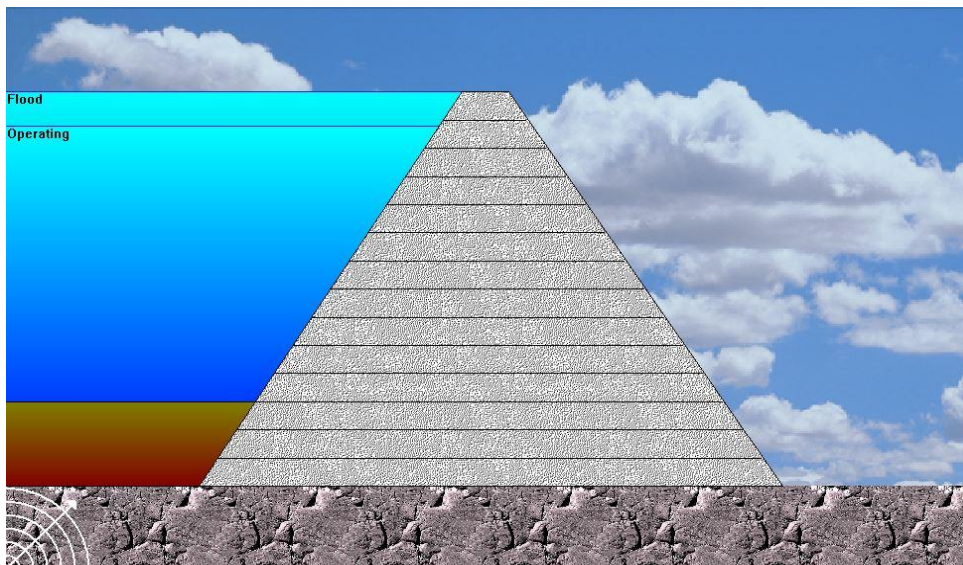
Oznaka	Količina [m] Trikotna oblika	Količina [m] Trapezna oblika
L <sub>1</sub>	56,1	100
L <sub>2</sub>	1,4	45
L <sub>3</sub>	8	8
L <sub>4</sub>	8	8
A	-6	0
B	-1	0
C	-6	0
D	-1	0
E	70	70
F	59,76	70
G	70	70
Podlaga gorvodno H	0	0
Podlaga dolvodno I	1	0



Slika 17: Grafični prikaz oznak uporabljenih za izris geometrije prereza



Slika 18: Model pregrade trikotne oblike v programu CADAM



Slika 19: Model pregrade trapezne oblike v programu CADAM

Mehanske karakteristike materialov:

Preglednica 2: Mehanske karakteristike RCC in CSG valjanega betona za analizo

Material	$f_{ccm}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]	$c$ [MPa]	$\phi$ [°]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
CSG	6	0,6	0,416	55	2200
RCD	15	1,5	0,658	55	2400
Beton C25/30	30	2,6	0,550	55	2400

Tlačna trdnost pri valjanih betonih ni enolično določljiva kot pri klasičnem beton, saj je v prvi vrsti odvisna od agregata v mešanici, ki je različen od lokacije do lokacije nahajališča, katero je navadno v okolici gradbišča ter vsebnosti cementa in dodatkov. Tako so vrednosti za tlačno trdnost pri RCD valjanem betonu v razponu od 12 do 25 MPa, najpogostejše pa nekje okoli 15 do 17 Mpa, zato smo za potrebe diplomske naloge izbrali vrednost tlačne trdnosti 15 MPa. Pri CSG betonu, ki ima navadno najnižjo tlačno trdnost izmed vseh vrst valjanega betona in sicer v območju med 2 in 7 Mpa pa smo izbrali vrednost 6 MPa [13]. Natezno trdnost, kohezijo in strižni kot smo izračunali in odčitali po priporočilih Canadian Dam Association- CDSA (1995), Kanadski zvezi za pregrade- materialne lastnosti za oceno varnosti pregrad, ki so podane znotraj priročnika za uporabnike programa CADAM [12]. Podatki za beton C 25/30 povzeti po vajah iz Hidrotehničnih objektov:

Enačbe za izračun natezne trdnosti in kohezije po CDSA (1995)[12]:

$$f_{ctm} = 0,1 \cdot f_{ccm} \quad (1)$$

$$c = 0,17 \cdot (f_{ccm})^{1/2} \quad (2)$$

$f_{ccm}$ ...tlačna trdnost [Mpa]

$f_{ctm}$ ...natezna trdnost [MPa]

$c$ ...kohezija [MPa]

$\phi$ ...strižni kot [°]

$\rho$ ... gostota [kg/m<sup>3</sup>]

Obratovalni nivo v zadrževalniku smo določili na normalni obratovalni višini 64 m nad nivojem temeljev. Katastrofalni nivo poplav pa na nivoju krone pregrade, na 70m višine. Hidrostatičnega tlaka na dolvodno lice pregrade nismo upoštevali zaradi ugodnega učinka na varnost pregrade. Upoštevali smo tudi realno stanje v akumulaciji Moste z zamuljenostjo v akumulaciji, ki sega 15m visoko.

V preračunih smo upoštevali prostorninsko težo v potopljenem stanju  $3.5 \text{ kN/m}^3$  strižni kot pa  $0^\circ$ , saj smo ga v analizi upoštevali kot tekočino.

Potresna obtežba:

Horizontalni pospešek tal je določen na osnovi podatkov projektnega potresa izmerjenega na lokaciji pregrade HE Moste s 475- letno povratno dobo in sicer horizontalni pospešek  $0,13g$  in vertikalni pospešek tal  $0,1g$ . Podatki za potresno obtežbo so pridobljeni iz vaj pri predmetu Hidrotehnični objekti.

Za analizo smo določili tri vrste obtežnih kombinacij in sicer:

1. Običajna obtežna kombinacija, ki nastopi ob normalnem delovanju objekta in so v njej upoštevane:
  - Lastna teža pregrade
  - Hidrostatična obtežba vode
  - Obtežba vzgona
  - Obtežba s sedimenti
2. Obtežna kombinacija v primeru poplave, kjer so upoštevane enake obtežbe kot so navedene zgoraj v primeru normalnega delovanja pregrade
3. Potresna obtežna kombinacija, kjer so v primeru obratovalnega nivoja pregrade upoštevane:
  - Lastna teža pregrade
  - Hidrostatična obtežba vode na normalnem obratovalnem nivoju
  - Obtežba vzgona
  - Obtežba s sedimenti
  - Potresna obtežba s pospeški v horizontalni in vertikalni smeri
  - Potresna obtežba vpliva akumulirane vode na pregrado po Westergaardu

## 4.4 Rezultati

### 4.4.1 Stabilnostna analiza

1. Običajna obtežna kombinacija:

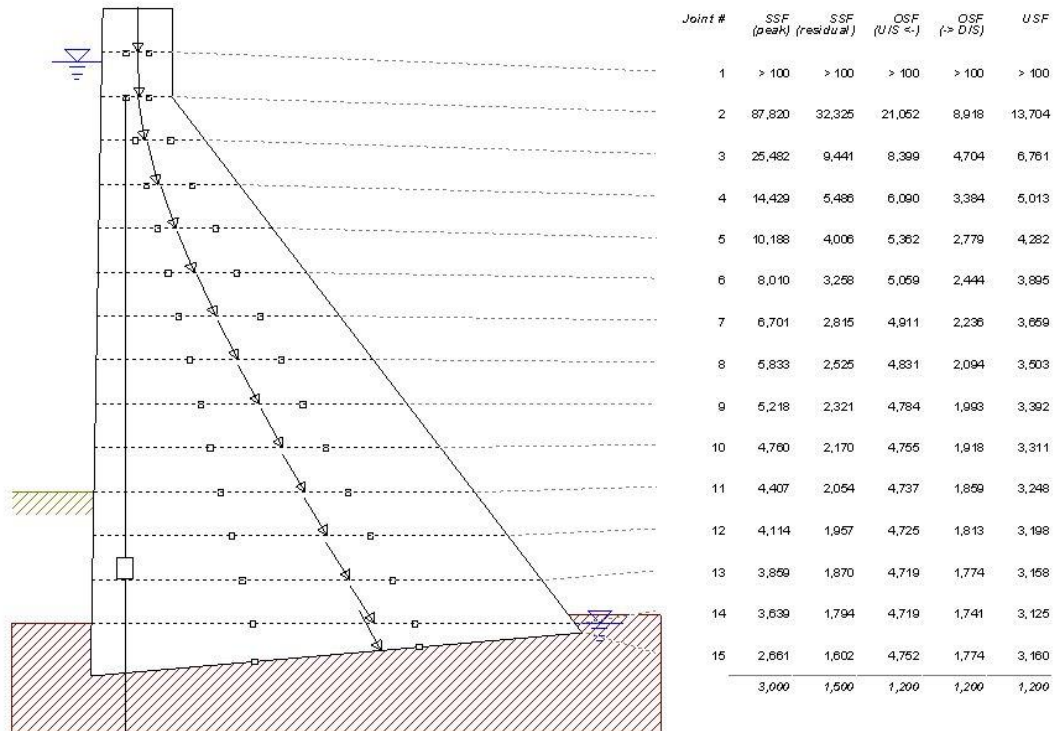
Iz rezultatov stabilnostne analize se pri klasični masivni betonski pregradi izkaže da je varnostni faktor proti zdrsni na nivoju temeljev 2,661 (slika 20). To je sicer manj od zahtevane vrednosti 3,0, ki je bila predpisana v programu, vendar ne predstavlja nevarnosti v stabilnosti pregrade. Predpisane zahteve so za primer, ko nimamo podatkov o temeljenju v analizi oziroma so pomanjkljivi. Ker v našem primeru ni tako, je dobljena vrednost še vedno na varni strani, saj je običajni varnostni faktor proti zdrsni pri tej obtežni kombinaciji enak 2,0. Pri pregradi iz valjanega komprimiranega betona (slika 21) in pregradi iz stabilizirane zemljine (slika 22) so varnostni faktorji za zdrs in prevrnitev večji od predpisanih. Rezultati so podani v tabelah v prilogi A Vrednosti varnostni faktorjev za obravnavane obtežne primere so podani v tabeli 3.

Preglednica 3: Vrednosti varnostnega faktorja proti zdrsni v odvisnosti od obtežnega primera in poznanih karakteristik naravnih danosti na terenu

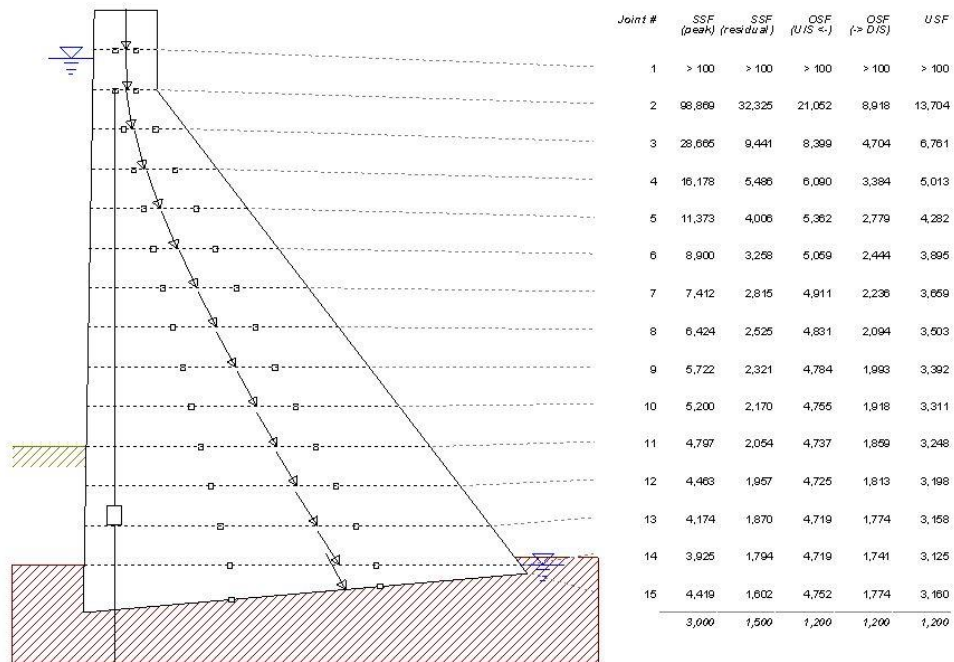
varnostni faktor proti zdrsni					
običajni obtežna kombinacija		izjemna obtežna kombinacija - poplava		izjemna obtežna kombinacija - potres	
nepoznane terenske razmere	poznane terenske razmere	nepoznane terenske razmere	poznane terenske razmere	nepoznane terenske razmere	poznane terenske razmere
3	2	2	1,5	1,3	1,1



**Usual combination (stability analysis)**

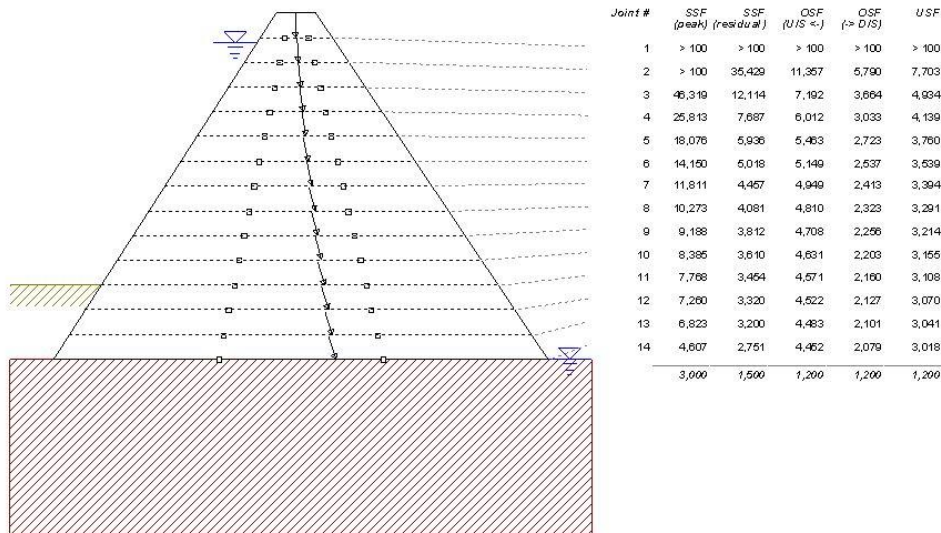


Slika 20: Grafični prikaz stabilnostne analize klasične masivne betonske pregrade pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM



Slika 21: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz valjanega betona pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM

*Usual combination (stability analysis)*

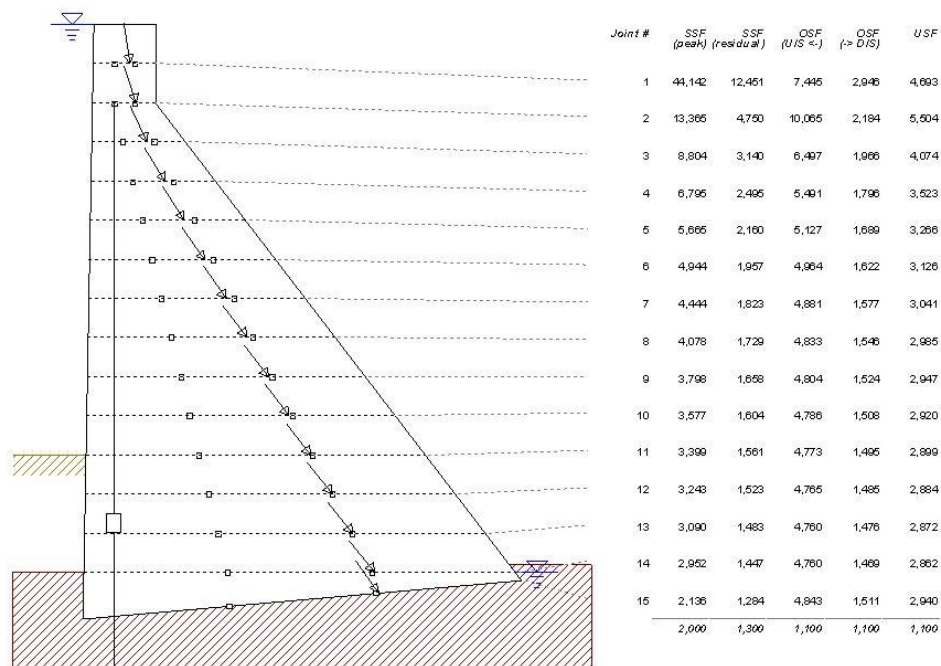


Slika 22: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz stabilizirane zemljine pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM

2. Izjemna obtežna kombinacija- primer poplave:

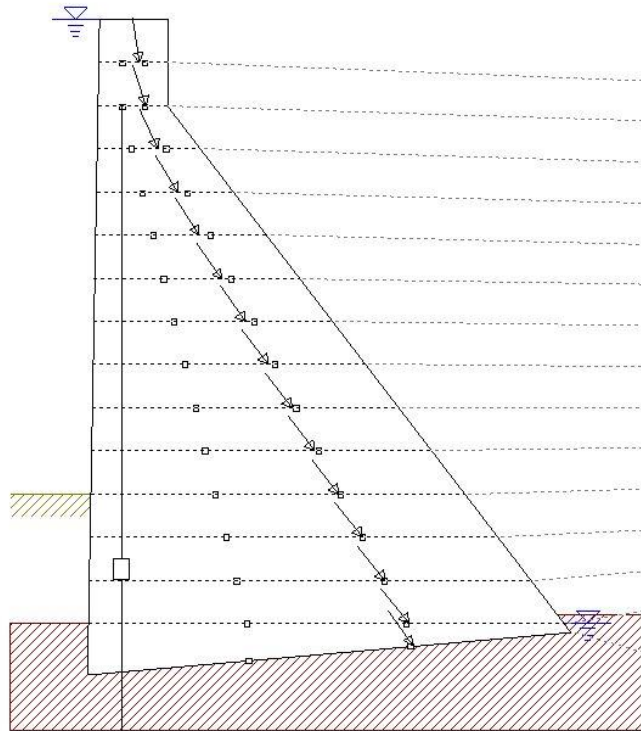
Pri izjemni obtežni kombinaciji v primeru poplave je iz rezultatov stabilnostne analize razvidno, da sta varnost proti zdrsu in prevrnitvi doseženi pri vseh obravnavanih tipih pregrad. Grafični prikaz analize je podan na slikah 23, 24 in 25 spodaj, rezultati pa v tabelah v prilogi A.

*Flood combination (stability analysis)*



Slika 23: Grafični prikaz stabilnostne analize klasične masivne betonske pregrade pri izjemni obtežni kombinaciji-primer poplave, CADAM

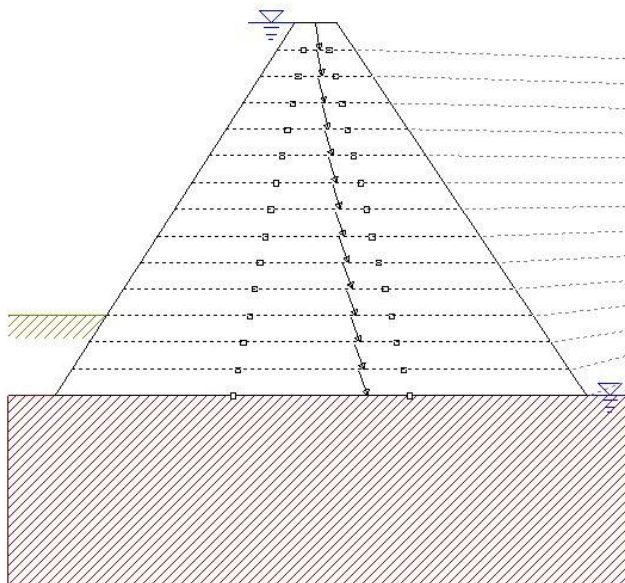
**Flood combination (stability analysis)**



Joint #	SSF (peak)	SSF (residual)	OSF (U/S <=)	OSF (> D/S)	USF
1	51,134	12,461	7,446	2,946	4,693
2	15,111	4,760	10,065	2,194	5,504
3	9,960	3,140	6,497	1,966	4,074
4	7,662	2,495	5,491	1,796	3,523
5	6,350	2,160	5,127	1,689	3,266
6	5,513	1,957	4,964	1,622	3,126
7	4,932	1,823	4,881	1,577	3,041
8	4,504	1,729	4,833	1,546	2,985
9	4,177	1,658	4,804	1,524	2,947
10	3,918	1,604	4,786	1,508	2,920
11	3,709	1,561	4,773	1,495	2,899
12	3,527	1,523	4,765	1,485	2,884
13	3,348	1,483	4,760	1,476	2,872
14	3,188	1,447	4,760	1,469	2,862
15	3,546	1,284	4,843	1,511	2,940
	2,000	1,300	1,100	1,100	1,100

Slika 24: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz valjanega betona pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave, CADAM

**Flood combination (stability analysis)**



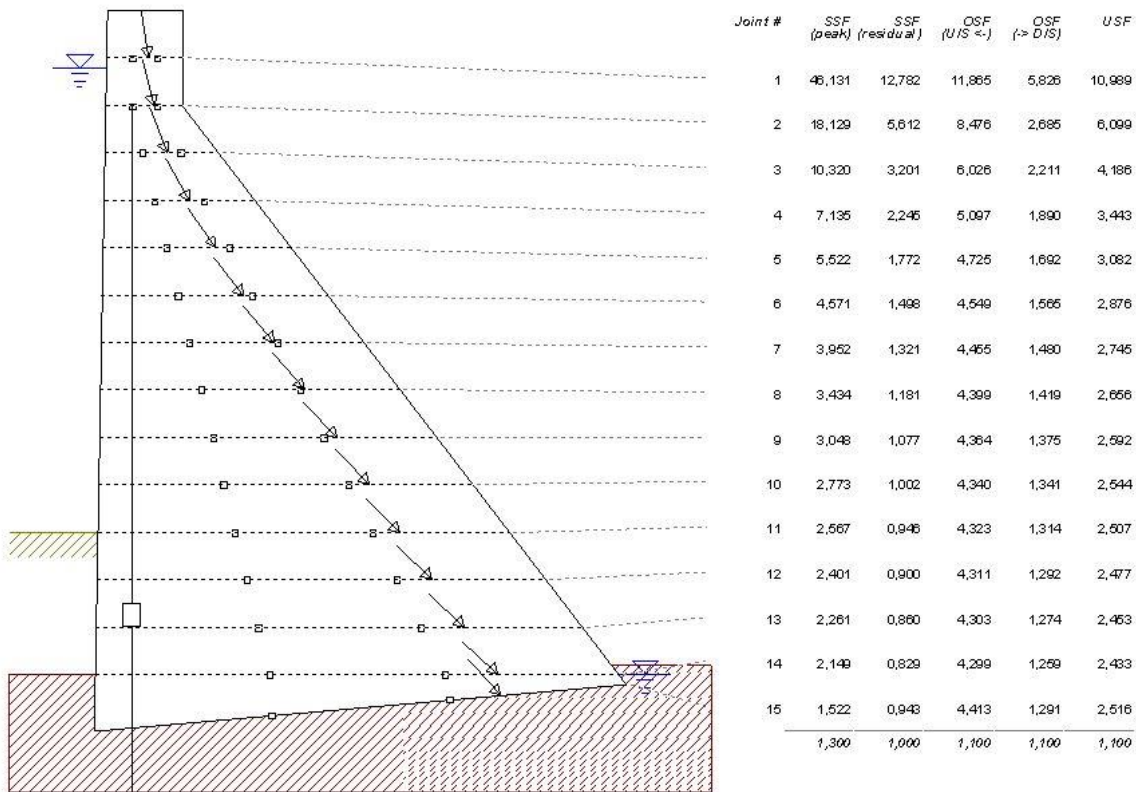
Joint #	SSF (peak)	SSF (residual)	OSF (U/S <=)	OSF (> D/S)	USF
1	60,373	7,660	5,256	2,714	3,628
2	24,987	4,940	4,839	2,426	3,336
3	16,207	4,033	4,640	2,269	3,183
4	12,382	3,590	4,524	2,171	3,088
5	10,269	3,308	4,449	2,105	3,024
6	8,935	3,127	4,395	2,057	2,978
7	8,019	2,997	4,356	2,021	2,943
8	7,362	2,900	4,326	1,993	2,915
9	6,846	2,824	4,302	1,971	2,893
10	6,448	2,764	4,282	1,952	2,875
11	6,128	2,715	4,266	1,937	2,860
12	5,862	2,668	4,253	1,925	2,848
13	5,604	2,622	4,242	1,916	2,839
14	3,851	2,296	4,233	1,910	2,833
	2,000	1,300	1,100	1,100	1,100

Slika 25: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz stabilizirane zemljine pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave, CADAM

### 3. Izjemna obtežna kombinacija- primer potresne obtežbe:

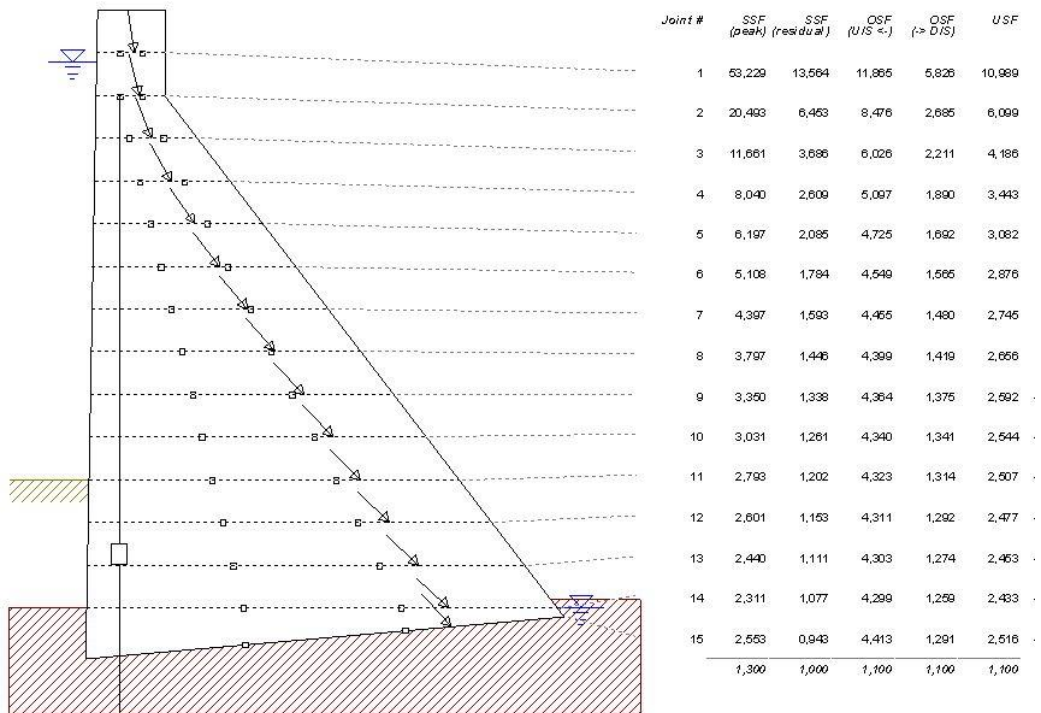
V primeru potresne obtežbe so doseženi varnostni faktorji za zdrs večji od zahtevanih pri vseh treh obravnavanih pregradah, kot je razvidno iz slik 26, 27 in 28 spodaj ter rezultatov analize v prilogi A. Rezultanta v primeru masivne betonske pregrade (slika 26) in pregrade iz valjanega betona sicer pade izven jedra prereza, vendar se pri izjemnih obremenitvah dopušča, da rezultanta pade v notranjo polovico zunanje tretjine prereza. V obeh primerih je rezultanta v dovoljenem območju. V primeru stabilizirane zemljine je rezultanta znotraj jedra prereza (slika 28).

#### ***Seismic #1 combination - Peak accelerations (stress analysis) (stability analysis)***



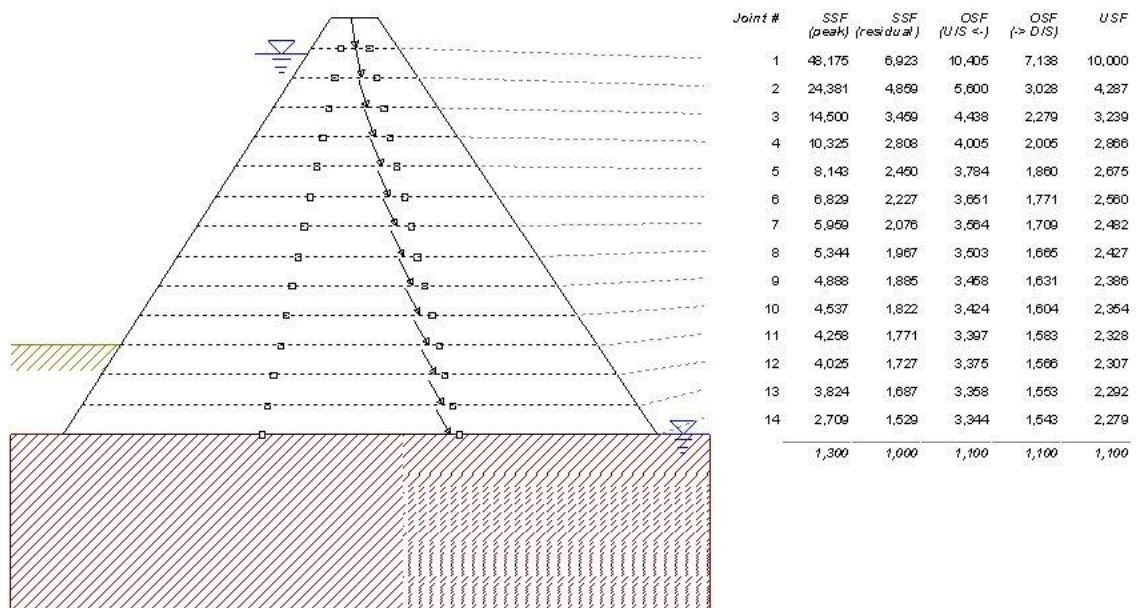
Slika 26: Grafični prikaz stabilnostne analize klasične masivne betonske pregrade pri potresni obtežbi, CADAM

**Seismic #1 combination - Peak accelerations (stress analysis) (stability analysis)**



Slika 27: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz valjanega betona pri potresni obtežbi, CADAM

**Seismic #1 combination - Peak accelerations (stress analysis) (stability analysis)**



Slika 28: Grafični prikaz stabilnostne analize pregrade iz stabilizirane zemljine pri potresni obtežbi, CADAM

#### 4.4.2 Napetostna analiza

V vseh treh primerih so modeli pregrad razdeljeni na lamele, ki si sledijo v razmiku 5m. Pri pregradi iz komprimiranega betona in klasični masivni betonski pregradi trikotne oblike je program izračunal normalne in glavne napetosti na petnajstih lamelah, pri trapezoidni pregradi iz stabilizirane zemljine pa na štirinajstih. Na slikah 29-35 so prikazane normalne in glavne napetosti izračunane na gorvodni in dolvodni strani pregrad. Na dolvodnih stranicah pri masivni betonski pregradi in pregradi iz valjanega betona ter na obeh stranicah pregrade iz stabilizirane zemljine, kjer je lice pregrade bolj nagnjeno, so dobljene glavne napetosti večje od normalnih. Maksimalne dosežene napetosti se razlikujejo glede na podan obtežni primer in niso presegle dopustnih vrednosti v nobenem izmed primerov (tabela 4). Preglednice z rezultati normalnih in glavnih napetosti so v prilogi B.

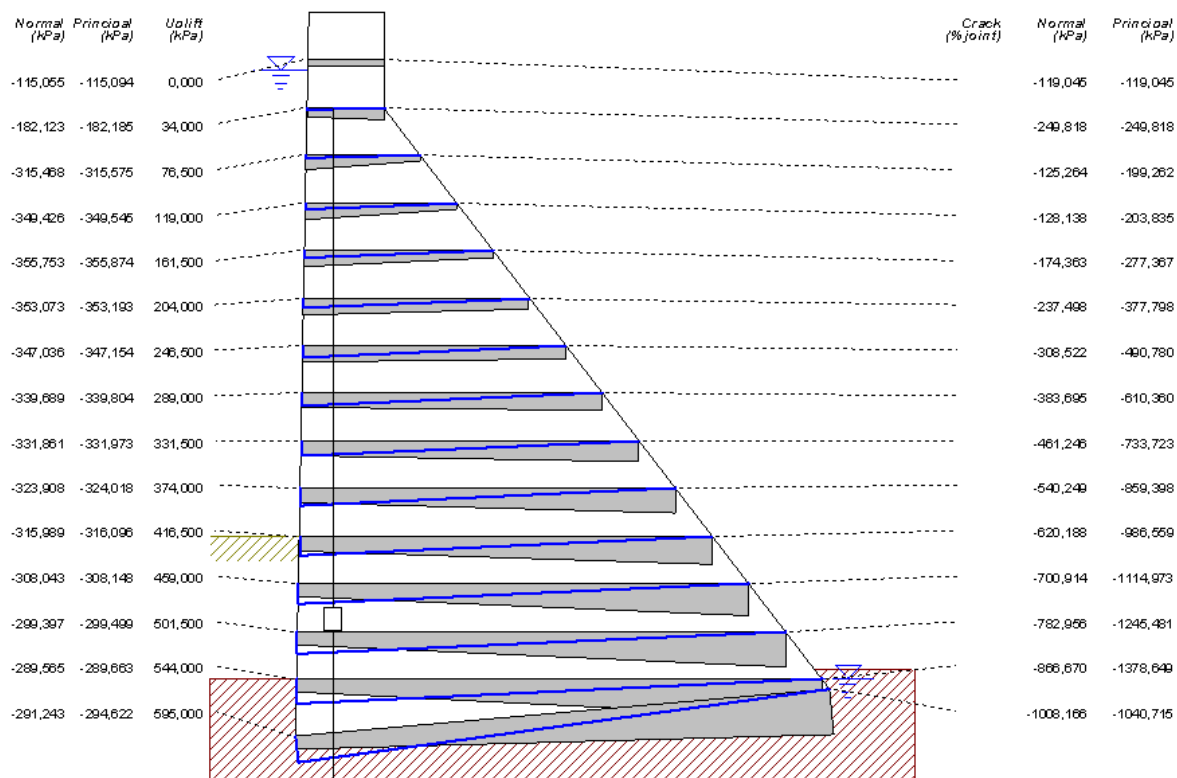
Preglednica 4: Dopustne napetosti v telesu pregrade pri različnih obtežnih slučajih

Material	dopustne napetosti v telesu pregrade					
	Običajna obtežna kombinacija		izjemna obtežna kombinacija - poplava		izjemna obtežna kombinacija - potres	
	tlak	nateg	tlak	nateg	Tlak	nateg
	fccm/3	0	fccm/2	fctm/2	0,9· fccm	0,9· fctm
Beton C 25/30	10 MPa	0	15 MPa	1,3 MPa	27 MPa	2,34 MPa
RCD	5 MPa	0	7,5 MPa	0,75 MPa	13,5 MPa	1,35 MPa
CSG	2 MPa	0	3 MPa	0,3 MPa	5,4 MPa	0,54 MPa

##### 1. Običajna obtežna kombinacija

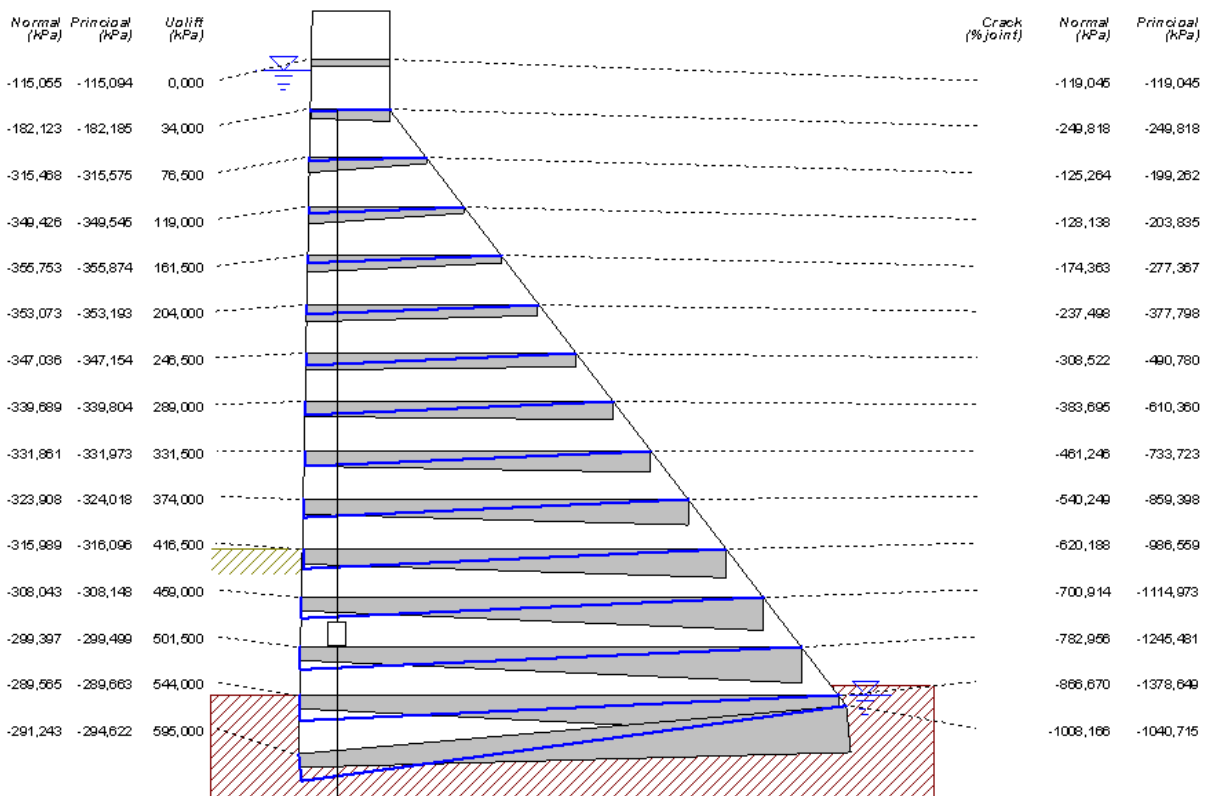
Zahteve pri dopustnih maksimalnih napetostih so pri tem obtežnem primeru dosti bolj strožje kot v primeru izrednih situacij. Dopustne maksimalne tlačne napetosti ne smejo presežati 30% tlačne trdnosti, natezne napetosti pa pri tej obtežni kombinaciji niso dopustne.

V primeru klasične masivne pregrade (slika 29) se skozi celoten prerez pojavijo izključno tlačne napetosti, katere maksimalne vrednosti dosegajo okoli 14 odstotkov maksimalnih dopustnih napetosti (10Mpa). Napetosti od vrha pregrade proti dnu naraščajo linearno.



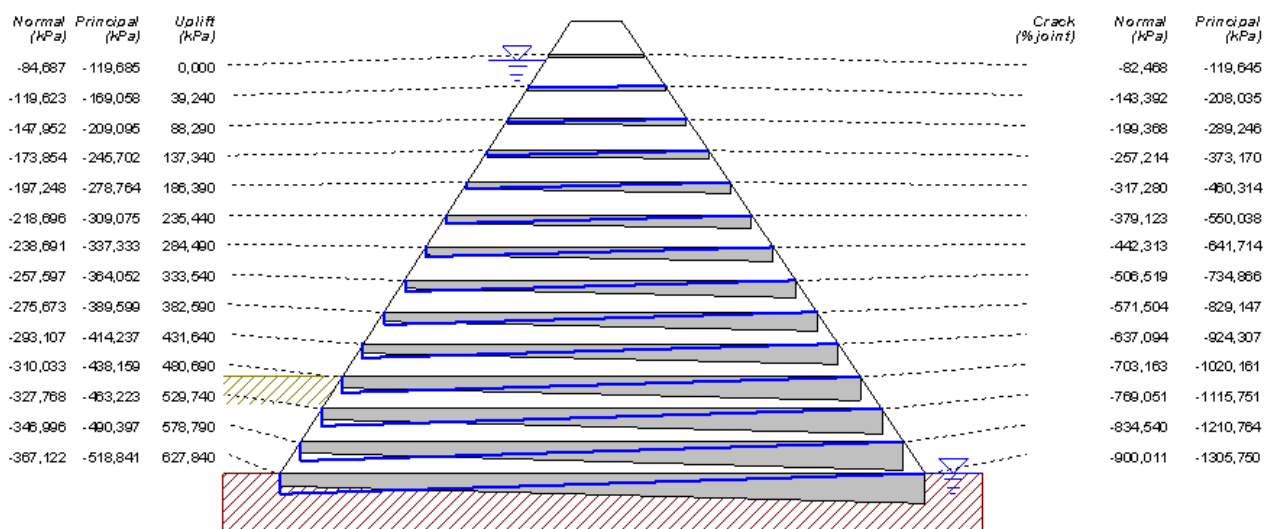
Slika 29: Razporeditev napetosti v klasični masivni betonski pregradi pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM

V primeru pregrade iz valjanega komprimiranega betona (slika 30) je razpored napetosti skoraj enak kot v primeru klasične masivne betonske pregrade, kar je v skladu s pričakovanji. Naraščajo linearno proti dnu pregrade in prav tako ni presežena maksimalna dopustna tlačna napetost, ki znaša 5 MPa. Največje dosežene normalne napetosti predstavljajo približno 27 odstotkovni delež maksimalnih dopustnih napetosti.



Slika 30: Razporeditev napetosti v pregradi iz valjanega komprimiranega betona pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM

Tudi v primeru pregrade iz stabilizirane zemljine se po prerezu ne pojavijo natezne napetosti (slika 31). Maksimalne dopustne tlačne napetosti, katere znašajo 2 MPa niso bile presežene. Največje izračunane napetosti v pregradi dosežejo približno 65 odstotkovni delež maksimalnih dopustnih napetosti.

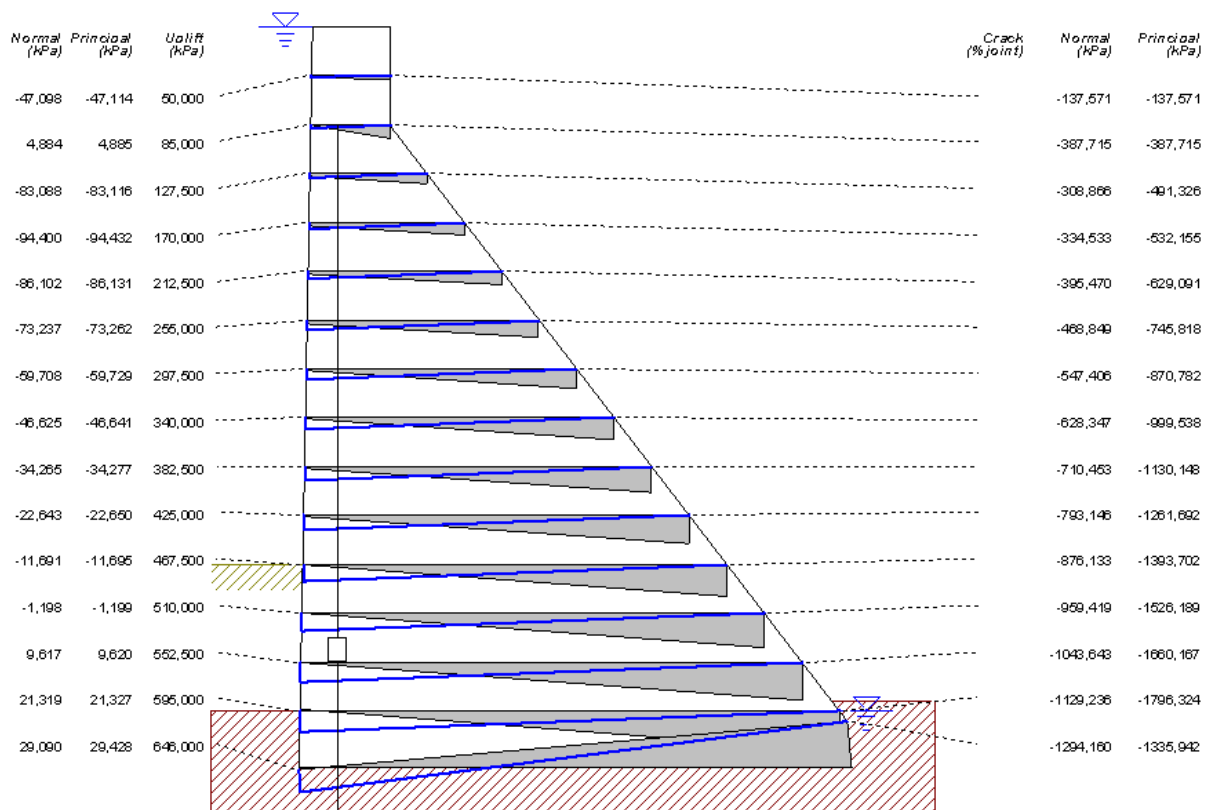


Slika 31: Razporeditev napetosti v pregradi iz stabilizirane zemljine pri običajni obtežni kombinaciji, CADAM



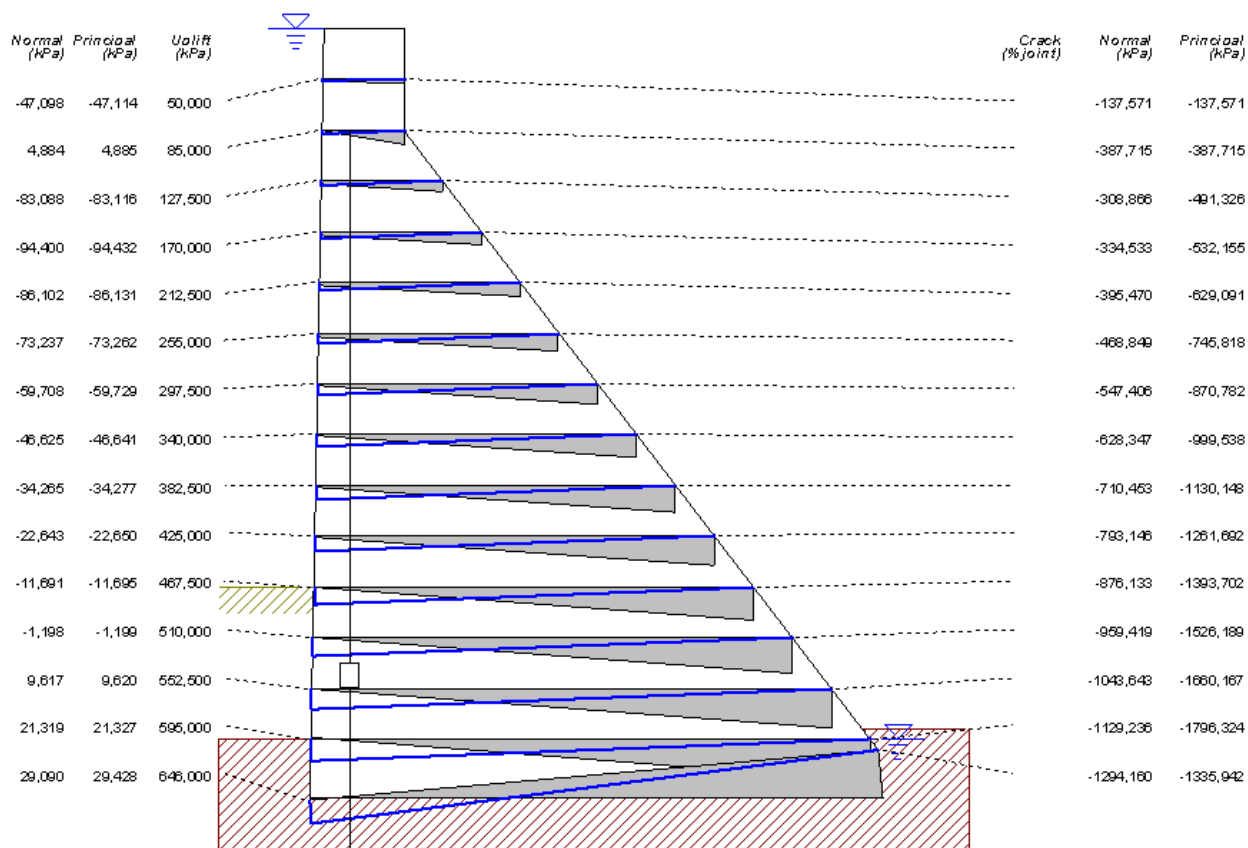
## 2. Izjemna obtežna kombinacija- primer poplave

Zahteve po dovoljenih maksimalnih napetostih so pri izjemni obtežni kombinaciji za primer poplave manjše kot pri običajni obtežni kombinaciji. Dopustne maksimalne tlačne napetosti ali natezne napetosti ne smejo presegati 50% tlačne trdnosti oziroma natezne napetosti. Pri klasični masivni betonski pregradi se v tem primeru na dolvodni strani pojavijo le tlačne napetosti, katere so znotraj dovoljenih dopustnih vrednosti, ki znašajo 15 MPa. Največje izračunane napetosti dosežejo 12 odstotkov te vrednosti. Na gorvodni strani pride do pojava nateznih napetosti, vendar so dosti manjše od dopustnih vrednosti katere znašajo 1,3 MPa.



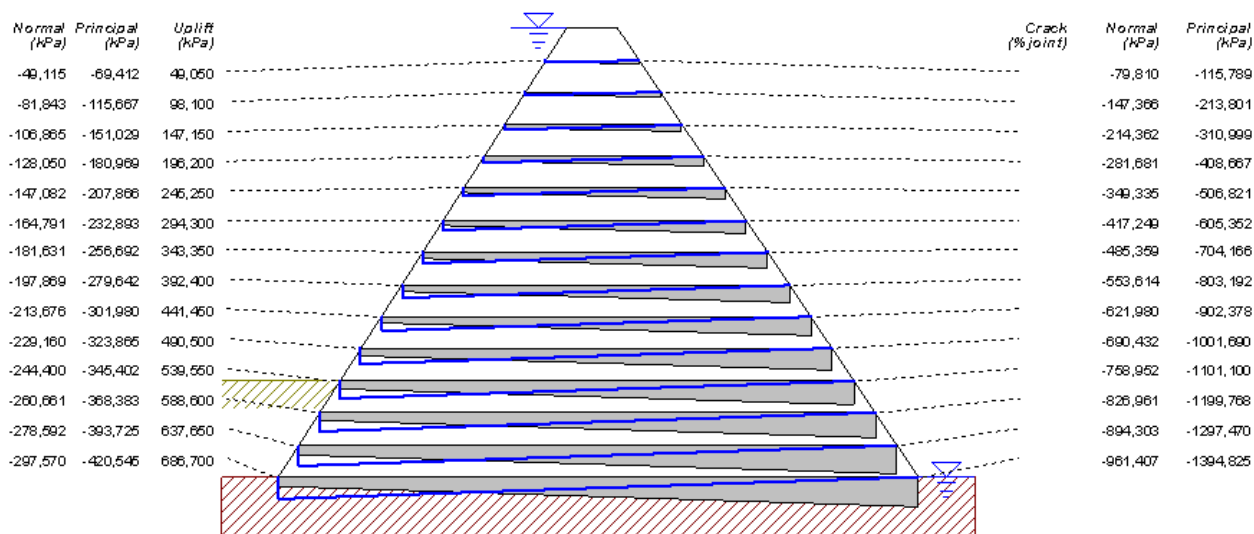
Slika 32: Razporeditev napetosti v klasični masivni betonski pregradi pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplava, CADAM

Pri pregradi iz valjanega komprimiranega betona (slika 33), je razpored napetosti skoraj identičen kot v primeru klasične masivne betonske pregrade. Na dolvodni strani se pojavijo le tlačne napetosti, kjer največja vrednost doseže okoli 25 odstotkov vrednosti maksimalnih dopustnih napetosti, katere znašajo 7,5MPa. Natezne napetosti se pojavijo v štirih lamelah na gorvodni strani, vendar so manjše od dopustnih katere so postavljene pri 0,75 MPa in ne presežejo niti 4 odstotkov te vrednosti.



Slika 33: Razporeditev napetosti v pregradi iz valjanega betona pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplava, CADAM

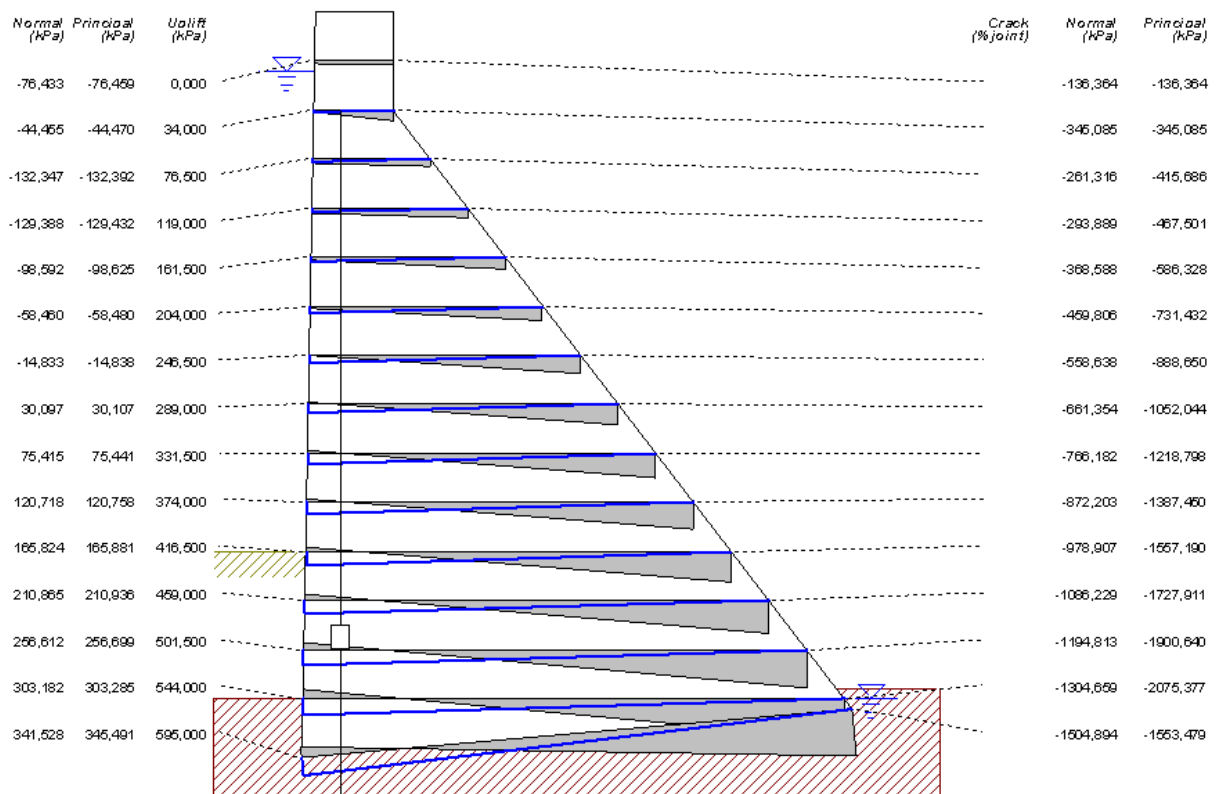
Pri trapezoidni pregradi iz stabilizirane zemljine ne pride do pojava nateznih napetosti v nobeni od lamel (slika 34). Tlačne napetosti ne presežejo maksimalnih dopustnih, ki znašajo 3 Mpa. Največja vrednost napetosti doseže okoli 47 odstotkov dovoljenih napetosti.



Slika 34: Razporeditev napetosti v pregradi iz stabilizirane zemljine pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplava, CADAM

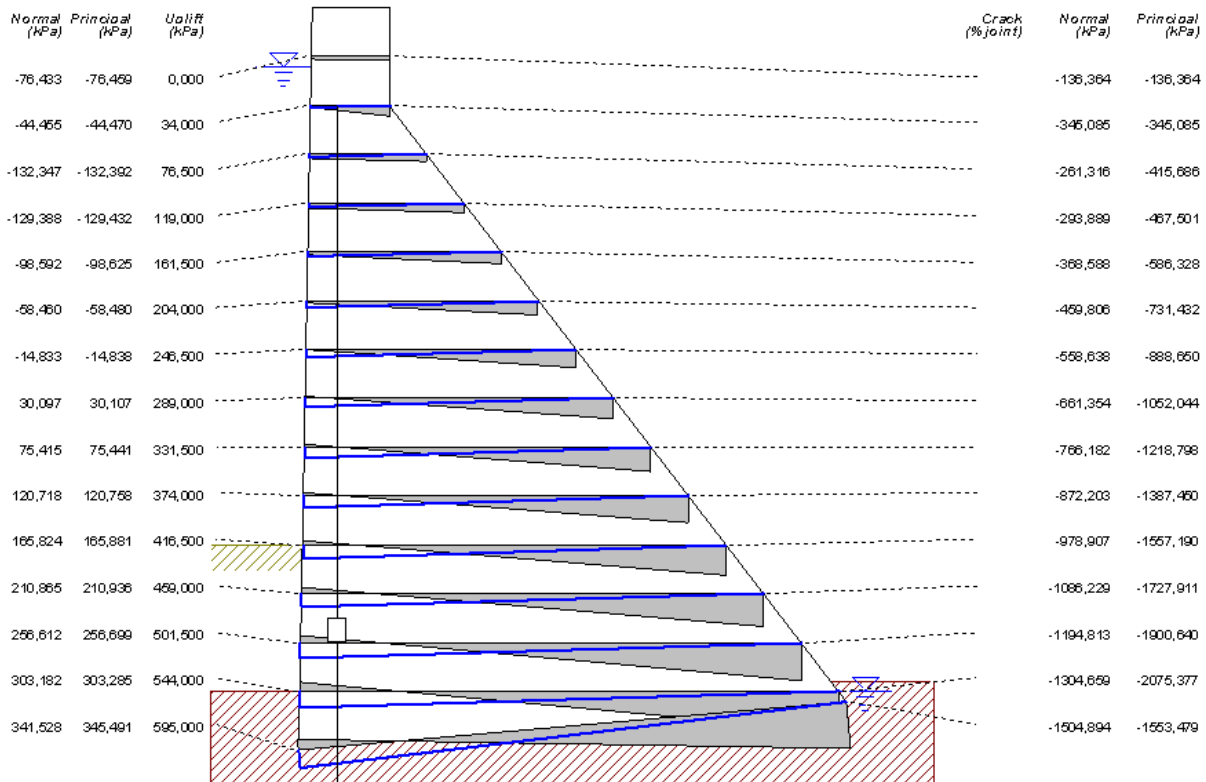
### 3. Izjemna obtežna kombinacija- primer potresne obtežbe

Pri potresni obtežni kombinaciji se dopušča, da je betonski prerez maksimalno izkoriščen in da se izjemoma pojavijo tudi natezne napetosti. Ker je potres ciklični pojav in se pojavlja izjemoma redko v življenjskem obdobju pregrad, je tak pristop utemeljen.. V primeru klasične masivne betonske pregrade, dopustne maksimalne napetosti znašajo 27 MPa v tlaku in 2,3 MPa v nategu. Poleg tlačnih napetosti se pojavijo tudi natezne, vendar ne presežejo dopustnih maksimalnih napetosti. Največja vrednost tlačnih napetosti doseže 8 odstotkov dopustnih napetosti in največja natezna okoli 14 odstotkov. (slika 35)



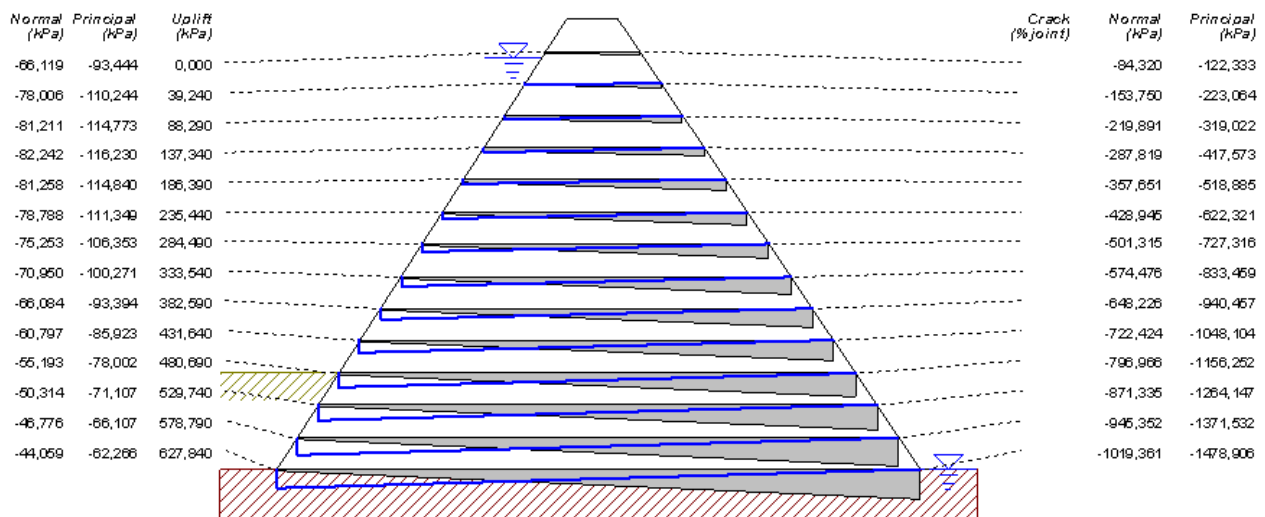
Slika 35: Razporeditev napetosti v klasični masivni betonski pregradi pri potresni obtežbi, CADAM

V primeru pregrade iz valjanega komprimiranega betona so rezultati razporeda napetosti (slika 36) zopet skoraj identični kot pri klasični masivni pregradi. Prav tako pride do pojava natezних napetosti, vendar ne presežejo vrednosti maksimalnih dopustnih napetosti, ki znaša 1,35 MPa. Tlačne napetosti so prav tako manjše od maksimalnih dopustnih, katere znašajo 13,5 MPa. Največa vrednost tlačnih napetosti doseže skoraj 15 odstotkov dopustnih napetosti, pri natezних pa okoli 45 odstotkov.



Slika 36: Razporeditev napetosti v pregradi iz valjanega betona pri potresni obtežbi, CADAM

Kot je iz slike 37 razvidno se pri pregradi iz stabilizirane zemljine pri potresni obtežbi pojavijo le tlačne napetosti, ki ne presežejo dopustnih 5,4 MPa v tlaku. Največje tlačne napetosti dosežejo 27 odstotkov dopustne vrednosti.



Slika 37: Razporeditev napetosti v pregradi iz stabilizirane zemljine pri potresni obtežbi, CADAM

## 5 PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ

### 5.1 ANALIZA REZULTATOV

Vse tri v analizi obravnavane tehnologije gradnje pregrad so se uspešno izkazale in na področju varnosti kot na napetostni analizi. Pri napetostni analizi je iz rezultatov razvidno, da je mehansko najbolj stabilna klasična betonska. Največje tlačne napetosti, ki se pojavijo znotraj prereza v vseh treh obtežnih kombinacijah ne presežejo niti 15 odstotkov vrednosti maksimalnih dopustnih napetosti. V primeru običajne obtežne kombinacije je ta delež enak 14 % med tem, ko je pri pregradi iz valjanega komprimiranega betona doseženih 27 % in pri pregradi iz stabilizirane zemljine kar 65 % maksimalnih dopustnih tlačnih napetosti, ki znaša za ta obtežni primer 30% tlačne trdnosti. Situacija je podobna tudi pri ostalih obtežnih primerih, kjer napetosti pri klasični masivni betonski pregradi v primeru izjemne obtežbe z visoko vodo dosežejo 12% dopustnih napetosti, ki znaša za ta obtežni primer 50% tlačne oz. natezne trdnosti. Pri pregradi iz valjanega komprimiranega betona je ta delež enak 25% in pri stabilizirani zemljini 47%. Za primer potresne obtežbe pa so pri klasični masivni pregradi doseženi le 8% dopustnih napetosti, ki znaša za ta obtežni primer 90% tlačne oz. natezne trdnosti in pri preostalih dveh, 15% pri valjano komprimirani betonski pregradi in 27% pri pregradi iz stabilizirane zemljine.

Čeprav sta obravnavani pregradi iz valjanega betona obe dovolj mehansko stabilni, bi se težave prej pojavile pri njih kot pri klasični masivni betonski pregradi. V primeru uporabe valjano komprimiranega betona se določene pomanjkljivosti, kot so nevarnost pronicanja vode, kompenzirajo z zaščitnim slojem iz kvalitetnejšega betona. Pri pregradah iz stabilizirane zemljine pa je glavni razlog za trapezoidno obliko ravno slabše karakteristike materiala in pomanjkljivosti na področju mehanske stabilnosti. Tako je klasičen beton še vedno ugodnejši z vidika stabilnosti, vendar so stroški pri tem višji in tehnološki procesi zahtevnejši.

Pri primerjavi rezultatov pregrad iz valjanega betona sta mehansko gledano obe pregradi ustrezni, vendar je pregrada iz stabilizirane zemljine boljša izbira iz tehnološkega vidika in posledično ugodnejša z vidika stroškov.

## 6 ZAKLJUČEK

Namen diplomskega dela je bila prvenstveno primerjava med tehnologijami gradnje pregrad iz valjanega betona: valjani beton – RCC, valjani kompaktirani beton – RCD in stabilizirana zemljina - CSG, ki se dandanes uporabljajo, kar je bilo prikazano v prvem delu naloge. Pokazane so bile razlike in podobnosti med samimi materiali, ki se uporabljajo in tehnološkimi procesi v sklopu gradnje. V računskem delu naloge se zaradi omejenosti s programsko opremo ni mogla izvesti še primerjava z RCC tehnologijo, saj ne bi dobili bistveno drugačnih rezultatov od tistih pri analizi RCD pregrade. Dejstvo je, da sta si materiala precej podobna v materialnih karakteristikah, razlike v sami izvedbi pa se v programu žal ne da simulirati. Dodana je bila še analiza klasične betonske pregrade, saj je primerjava s temeljno in začetno tehniko gradnje betonskih pregrad na tem mestu smiselna, ker so nove tehnologije gradnje nastale z namenom izboljšav in napredka pri gradnji tovrstnih pregrad.

V računski analizi se je na izbranih modelih pokazalo, da so vse tehnologije učinkovite in pregrade varne ter mehansko stabilne. Potrebno je omeniti, da pojav razpok, ki ima neugoden vpliv na stabilnost, ni bil upoštevan. Če bi želeli ugotoviti bolj natančno oceno varnosti pregrad, bi bilo potrebno izvesti bolj natančno analizo, vendar to ni bil namen tega diplomskega dela.

Izkaže se, da so obravnavani valjani betoni primerljive kvalitete in primerni za gradnjo pregrad tudi na potresno aktivnih območjih in da ima pri izbiri vrste tehnologije gradnje velik pomen ekonomski vidik oziroma strošek samega projekta.

## VIRI

- [1] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. 2013. Roller Compacted Concrete, Concrete: Microstructure, Properties and Materials: str. 2-11  
[http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/165/RCC\\_final.pdf](http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/165/RCC_final.pdf) (Pridobljeno 10. 6. 2014.)
- [2] ACI Committe 207. 2011. Report on Roller-Compacted Mass Concrete, ACI 207.5R-11: str. 2  
<http://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/207.5R-11web.pdf> (Pridobljeno 5. 6. 2014.2014.)
- [3] US Army Corps of Engineers. 1995. Gravity Dam Design, Engineering manual, Washington, DC, Department Of The Army U.S. Army Corps of Engineers: str. 2-1, 3-1, 3-4
- [4] Park C., Yoon J., Kim W. Won J. 2007. Mechanical and Durability Performance of Roller-Compacted Concrete with Fly Ash for Dam Applications. International Journal of Concrete Structures and Materials, No.1: str. 57-61,  
<http://www.concrete.org/Publications/InternationalConcreteAbstractsPortal.aspx?m=details&i=56236> (Pridobljeno 15. 6. 2014.)
- [5] Dunstan M R. H. (ur.) 2003. Roller-Compacted Concrete Dams, Bulletin 126, ICOLD Committee on Concrete for Dams: str 25-39, 47, 57-61, 71-73, 91-95, 121-123, 145-165
- [6] Nagataki S., Fujisawa T., Kawasaki H., 2008 State of art of RCD dams in Japan. V: 1<sup>st</sup> Brazilian International RCC Symposium, Brazilija, september 2008: str. 2-18
- [7] Kimitaka U., Roller compacted concrete dam and utilization of fly ash in Japan, Tokyo Metropolitan University, Japonska: str 32-34  
[http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/3-Vietnam%20Joint%20Seminar%20\(Uji\).pdf](http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/3-Vietnam%20Joint%20Seminar%20(Uji).pdf) (Pridobljeno 25. 7. 2014.)
- [8] Sakata K. 2012 Current situation of planning and construction of dams in Japan: str. 31-35, 42-47  
[http://148.245.97.210/joomla/fic\\_2012\\_ponencias/avances\\_tecnologicos\\_en\\_la\\_colocacion\\_de\\_concreto\\_masivo\\_para\\_presas.pdf](http://148.245.97.210/joomla/fic_2012_ponencias/avances_tecnologicos_en_la_colocacion_de_concreto_masivo_para_presas.pdf) (Pridobljeno 20. 7. 2014.)
- [9] Japan Dam Engineering Center, 2012. Engineering Manual for Design, Construction, and Quality Control of Trapezional CSG Dam, Tokyo, Japan Dam Engineering Center: str 1-1 – 1-48, 6-1 – 6-32
- [10] Nagayama I., Jikan S. 2003. 30 Years' History of Roller-compacted Concrete Dams in Japan: str. 1-14  
<https://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf/reports/nagayama031116.pdf> (Pridobljeno 5. 7. 2014)
- [11] Okukubi Dam. The world First trapezional dam  
<http://www.dc.ogb.go.jp/hokudamu/e/okukubidam.html> (Pridobljeno 1. 6. 2014.)
- [12] Leclerc M, Leger P., Tinawi R. 2001. CADAM User's Manual release 1.4.3., str.7
- [13] Kim Y., Yeon K., Kim Y. 2011 The compressive strength and planting properties of cemented sand and gravel material compacted by the Hilti vibrating method. African Journal of Agricultural Research Vol.6(6), str 1337-1348,  
[http://www.academicjournals.org/article/article1380899839\\_Kim%20et%20al.pdf](http://www.academicjournals.org/article/article1380899839_Kim%20et%20al.pdf) (Pridobljeno 20. 7. 2014.)





**SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A: Rezultati stabilnostne analize v programu CADAM (tabele)

A1

PRILOGA B: Rezultati napetostne analize v programu CADAM (tabele)

B1

TA STRAN JE NAMENOMA PRAZNA

PRILOGA A: REZULTATI STABILNOSTNE ANALIZE (preglednice z rezultati)

Preglednica A.1: Varnostni faktorji pri običajni obtežni kombinaciji za betonsko in RCD pregrado, CADAM.....	A2
Preglednica A.2: Varnostni faktorji pri običajni obtežni kombinaciji za pregrado iz stabilizirane zemljine, CADAM.....	A2
Preglednica A.3: Varnostni faktorji pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave za klasični masivno betonsko pregrado in pregrado iz komprimiranega betona, CADAM.....	A3
Preglednica A.4: Varnostni faktorji pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave za pregrado iz stabilizirane zemljine, CADAM.....	A3
Preglednica A.5: Varnostni faktorji za primer potresne obtežbe za klasično masivno betonsko pregrado in pregrado iz stabilizirane zemljine, CADAM.....	A4
Preglednica A.6: Varnostni faktorji pri potresni obtežbi za CSG pregrado, CADAM .....	A4

- OBIČAJNA OBTEŽNA KOMBINACIJA

Preglednica A.1: Varnostni faktorji pri običajni obtežni kombinaciji za betonsko in RCD pregrado, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Varnostni faktorji za beton C25/30				Varnostni faktorji za RCD			
		zdrs	Prevrnitev		izplav	zdrs	prevrnitev		izplav
			Gorvodno	dolvodno			gorvodno	dolvodno	
1	65	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
2	60	87,820	21,052	8,918	13,704	98,869	21,052	8,918	13,704
3	55	25,482	8,399	4,704	6,761	28,665	8,399	4,704	6,761
4	50	14,429	6,090	3,384	5,013	16,178	6,090	3,384	5,013
5	45	10,188	5,362	2,779	4,282	11,373	5,362	2,779	4,282
6	40	8,010	5,059	2,444	3,895	8,900	5,059	2,444	3,895
7	35	6,701	4,911	2,236	3,659	7,412	4,911	2,236	3,659
8	30	5,833	4,831	2,094	3,503	6,424	4,831	2,094	3,503
9	25	5,218	4,784	1,993	3,392	5,722	4,784	1,993	3,392
10	20	4,760	4,755	1,918	3,311	5,200	4,755	1,918	3,311
11	15	4,407	4,737	1,859	3,248	4,797	4,737	1,859	3,248
12	10	4,114	4,725	1,813	3,198	4,463	4,725	1,813	3,198
13	5	3,859	4,719	1,774	3,158	4,174	4,719	1,774	3,158
14	0	3,639	4,719	1,741	3,125	3,925	4,719	1,741	3,125
15	temelj	2,661	4,752	1,774	3,160	4,419	4,752	1,774	3,160
Zahtevani varnostni faktor		3,00	1,500	1,200	1,200	3,00	1,500	1,200	1,200

Preglednica A.2: Varnostni faktorji pri običajni obtežni kombinaciji za pregrado iz stabilizirane zemljine, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Varnostni faktorji za CSG			
		zdrs	Prevrnitev		izplav
			Gorvodno	dolvodno	
1	65	> 100	> 100	> 100	> 100
2	60	> 100	11,357	5,790	7,703
3	55	46,319	7,192	3,664	4,934
4	50	25,813	6,012	3,033	4,139
5	45	18,076	5,463	2,723	3,760
6	40	14,150	5,149	2,537	3,539
7	35	11,811	4,949	2,413	3,394
8	30	10,273	4,810	2,323	3,291
9	25	9,188	4,708	2,256	3,214
10	20	8,385	4,631	2,203	3,155
11	15	7,768	4,571	2,160	3,108
12	10	7,260	4,522	2,127	3,070
13	5	6,823	4,483	2,101	3,041
14	temelj	4,607	4,452	2,079	3,018
Zahtevani varnostni faktor		3,00	1,500	1,200	1,200

• IZJEMNA OBTEŽNA KOMBINACIJA- PRIMER POPLAVE

Preglednica A.3: Varnostni faktorji pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave za klasični masivno betonsko pregrado in pregrado iz komprimiranega betona, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Varnostni faktorji za beton C25/30				Varnostni faktorji za RCD			
		zdrs	prevrnitev		izplav	zdrs	prevrnitev		izplav
			gorvodno	dolvodno			gorvodno	dolvodno	
1	65	44,142	7,445	2,946	4,693	51,134	7,445	2,946	4,693
2	60	13,365	10,065	2,184	5,504	15,111	10,065	2,184	5,504
3	55	8,804	6,497	1,966	4,074	9,950	6,497	1,966	4,074
4	50	6,795	5,491	1,796	3,523	7,652	5,491	1,796	3,523
5	45	5,665	5,127	1,689	3,266	6,350	5,127	1,689	3,266
6	40	4,944	4,964	1,622	3,126	5,513	4,964	1,622	3,126
7	35	4,444	4,881	1,577	3,041	4,932	4,881	1,577	3,041
8	30	4,078	4,833	1,546	2,985	4,504	4,833	1,546	2,985
9	25	3,798	4,804	1,524	2,947	4,177	4,804	1,524	2,947
10	20	3,577	4,786	1,508	2,920	3,918	4,786	1,508	2,920
11	15	3,399	4,773	1,495	2,899	3,709	4,773	1,495	2,899
12	10	3,243	4,765	1,485	2,884	3,527	4,765	1,485	2,884
13	5	3,090	4,760	1,476	2,872	3,348	4,760	1,476	2,872
14	0	2,952	4,760	1,469	2,862	3,188	4,760	1,469	2,862
15	temelj	2,136	4,843	1,511	2,940	3,546	4,843	1,511	2,940
Zahtevani varnostni faktor		2,00	1,100	1,100	1,100	2,00	1,100	1,100	1,100

Preglednica A.4: Varnostni faktorji pri izjemni obtežni kombinaciji- primer poplave za pregrado iz stabilizirane zemljine, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Varnostni faktorji za CSG			
		zdrs	prevrnitev		izplav
			Gorvodno	dolvodno	
1	65	60,373	5,256	2,714	3,628
2	60	24,987	4,839	2,426	3,336
3	55	16,207	4,640	2,269	3,183
4	50	12,382	4,524	2,171	3,088
5	45	10,269	4,449	2,105	3,024
6	40	8,935	4,395	2,057	2,978
7	35	8,019	4,356	2,021	2,943
8	30	7,352	4,326	1,993	2,915
9	25	6,846	4,302	1,971	2,893
10	20	6,448	4,282	1,952	2,875
11	15	6,128	4,266	1,937	2,860
12	10	5,852	4,253	1,925	2,848
13	5	5,604	4,242	1,916	2,839
14	temelj	3,851	4,233	1,910	2,833
Zahtevani varnostni faktor		2,000	1,100	1,100	1,100

- POTRESNA OBTEŽBA

Preglednica A.5: Varnostni faktorji za primer potresne obtežbe za klasično masivno betonsko pregrado in pregrado iz stabilizirane zemljine, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Varnostni faktorji za beton C25/30				Varnostni faktorji za RCD			
		zdrs	Prevrnitev		izplav	zdrs	prevrnitev		izplav
			Gorvodno	dolvodno			gorvodno	dolvodno	
1	65	46,131	11,865	5,826	> 100	53,229	11,865	5,826	10,989
2	60	18,129	8,476	2,685	14,951	20,493	8,476	2,685	6,099
3	55	10,320	6,026	2,211	7,376	11,661	6,026	2,211	4,186
4	50	7,135	5,097	1,890	5,469	8,040	5,097	1,890	3,443
5	45	5,522	4,725	1,692	4,672	6,197	4,725	1,692	3,082
6	40	4,571	4,549	1,565	4,249	5,108	4,549	1,565	2,876
7	35	3,952	4,455	1,480	3,992	4,397	4,455	1,480	2,745
8	30	3,434	4,399	1,419	3,822	3,797	4,399	1,419	2,656
9	25	3,048	4,364	1,375	3,701	3,350	4,364	1,375	2,592
10	20	2,773	4,340	1,341	3,612	3,031	4,340	1,341	2,544
11	15	2,567	4,323	1,314	3,543	2,793	4,323	1,314	2,507
12	10	2,401	4,311	1,292	3,489	2,601	4,311	1,292	2,477
13	5	2,261	4,303	1,274	3,446	2,440	4,303	1,274	2,453
14	0	2,149	4,299	1,259	3,410	2,311	4,299	1,259	2,433
15	Temelj	1,522	4,413	1,291	3,272	2,553	4,413	1,291	2,516
Zahtevani varnostni faktor		1,300	1,100	1,100	1,100	1,300	1,100	1,100	1,100

Preglednica A.6: Varnostni faktorji pri potresni obtežbi za CSG pregrado, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Varnostni faktorji za CSG			
		zdrs	Prevrnitev		izplav
			Gorvodno	dolvodno	
1	65	48,175	10,405	7,138	10,000
2	60	24,381	5,600	3,028	4,287
3	55	14,500	4,438	2,279	3,239
4	50	10,325	4,005	2,005	2,866
5	45	8,143	3,784	1,860	2,675
6	40	6,829	3,651	1,771	2,560
7	35	5,959	3,564	1,709	2,482
8	30	5,344	3,503	1,665	2,427
9	25	4,888	3,458	1,631	2,386
10	20	4,537	3,424	1,604	2,354
11	15	4,258	3,397	1,583	2,328
12	10	4,025	3,375	1,566	2,307
13	5	3,824	3,358	1,553	2,292
14	temelj	2,709	3,344	1,543	2,279
Zahtevani varnostni faktor		1,300	1,100	1,100	1,100

PRILOGA B: REZULTATI NAPETOSTNE ANALIZE (preglednice)

Preglednica B.1: Razporeditev dobljenih napetosti po pregradah za primer običajne obtežbe, CADAM .....	B2
Preglednica B 2: Razporeditev dobljenih napetosti po pregradah za primer izjemne obtežbe-primer poplava, CADAM .....	B2
Preglednica B 3: Razporeditev dobljenih napetosti po pregradah za primer potresne obtežbe, CADAM .....	B3

- OBIČAJNA OBTEŽBA

Preglednica B.1: Razporeditev dobljenih napetosti po pregradah za primer običajne obtežbe, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Napetosti pri masivni betonski pregradi		Napetosti pri pregradi iz komprimiranega betona		Napetosti pri pregradi iz stabilizirane zemljine	
		Normalne napetosti (kPa)		Normalne napetosti (kPa)		Normalne napetosti (kPa)	
		gorvodno	dolvodno	gorvodno	dolvodno	gorvodno	dolvodno
1	65	-115,055	-119,045	-115,055	-119,045	-84,687	-82,468
2	60	-182,123	-249,818	-182,123	-249,818	-119,623	-143,392
3	55	-315,468	-125,264	-315,468	-125,264	-147,952	-199,368
4	50	-349,426	-128,138	-349,426	-128,138	-173,854	-257,214
5	45	-355,753	-174,363	-355,753	-174,363	-197,248	-317,280
6	40	-353,073	-237,498	-353,073	-237,498	-218,696	-379,123
7	35	-347,036	-308,522	-347,036	-308,522	-238,691	-442,313
8	30	-339,689	-383,695	-339,689	-383,695	-257,597	-506,519
9	25	-331,861	-461,246	-331,861	-461,246	-275,673	-571,504
10	20	-323,908	-540,249	-323,908	-540,249	-293,107	-637,094
11	15	-315,989	-620,188	-315,989	-620,188	-310,033	-703,163
12	10	-308,043	-700,914	-308,043	-700,914	-327,768	-769,051
13	5	-299,397	-782,956	-299,397	-782,956	-346,996	-834,540
14	0	-289,565	-866,670	-289,565	-866,670		
15	Temelj	-291,243	-1008,166	-291,243	-1008,166	-367,122	-900,011

- IZJEMNA OBTEŽBA- PRIMER POPLAVA

Preglednica B 2: Razporeditev dobljenih napetosti po pregradah za primer izjemne obtežbe-primer poplava, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Napetosti pri masivni betonski pregradi		Napetosti pri pregradi iz komprimiranega betona		Napetosti pri pregradi iz stabilizirane zemljine	
		Normalne napetosti (kPa)		Normalne napetosti (kPa)		Normalne napetosti (kPa)	
		gorvodno	dolvodno	gorvodno	dolvodno	gorvodno	dolvodno
1	65	-47,098	-137,571	-47,098	-137,571	-49,115	-79,810
2	60	4,884	-387,715	4,884	-387,715	-81,843	-147,366
3	55	-83,088	-308,866	-83,088	-308,866	-106,865	-214,362
4	50	-94,400	-334,533	-94,400	-334,533	-128,050	-281,681
5	45	-86,102	-395,470	-86,102	-395,470	-147,082	-349,335
6	40	-73,237	-468,849	-73,237	-468,849	-164,791	-417,249
7	35	-59,708	-547,406	-59,708	-547,406	-181,631	-485,359
8	30	-46,625	-628,347	-46,625	-628,347	-197,869	-553,614
9	25	-34,265	-710,453	-34,265	-710,453	-213,676	-621,980
10	20	-22,643	-793,146	-22,643	-793,146	-229,160	-690,432
11	15	-11,691	-876,133	-11,691	-876,133	-244,400	-758,952
12	10	-1,198	-959,419	-1,198	-959,419	-260,661	-826,961
13	5	9,617	-1043,643	9,617	-1043,643	-278,592	-894,303
14	0	21,319	-1129,236	21,319	-1129,236		
15	Temelj	29,090	-1294,160	29,090	-1294,160	-297,570	-961,407



- POTRESNA OBTEŽBA

Preglednica B 3: Razporeditev dobljenih napetosti po pregradah za primer potresne obtežbe, CADAM

ID lamele	Kota lamele (m)	Napetosti pri masivni betonski pregradi		Napetosti pri pregradi iz komprimiranega betona		Napetosti pri pregradi iz stabilizirane zemljine	
		Normalne napetosti (kPa)		Normalne napetosti (kPa)		Normalne napetosti (kPa)	
		Gorvodno	dolvodno	gorvodno	dolvodno	gorvodno	dolvodno
1	65	-76,433	-136,364	-76,433	-136,364	-70,990	-84,463
2	60	-44,455	-345,085	-44,455	-345,085	-88,565	-152,427
3	55	-132,347	-261,316	-132,347	-261,316	-97,889	-216,715
4	50	-129,388	-293,889	-129,388	-293,889	-105,006	-282,787
5	45	-98,592	-368,588	-98,592	-368,588	-110,021	-350,817
6	40	-58,460	-459,806	-58,460	-459,806	-113,467	-420,367
7	35	-14,833	-558,638	-14,833	-558,638	-115,778	-491,042
8	30	30,097	-661,354	30,097	-661,354	-117,262	-562,549
9	25	75,415	-766,182	75,415	-766,182	-118,135	-634,680
10	20	120,718	-872,203	120,718	-872,203	-118,549	-707,288
11	15	165,824	-978,907	165,824	-978,907	-118,611	-780,264
12	10	210,865	-1086,229	210,865	-1086,229	-119,406	-853,071
13	5	256,612	-1194,813	256,612	-1194,813	-121,584	-925,510
14	0	303,182	-1304,659	303,182	-1304,659	-124,614	-997,931
15	temelj	341,528	-1504,894	341,528	-1504,894		