

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:

Bergant, U. 2012. Mehanska analiza težnostne pregrade. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Schnabl, S., somentor Kryžanowski, A.): 31 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Bergant, U. 2012. Mehanska analiza težnostne pregrade. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Schnabl, S., co-supervisor Kryžanowski, A.): 31 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE VODARSTVA  
IN KOMUNALNEGA  
INŽENIRSTVA**

Kandidatka:

**URŠA BERGANT**

**MEHANSKA ANALIZA TEŽNOSTNE PREGRADE**

Diplomska naloga št.: 1/B-VKI

**MECHANICAL ANALYSIS OF A GRAVITY DAM**

Graduation thesis No.: 1/B-VKI

**Mentor:**

doc. dr. Simon Schnabl

**Predsednik komisije:**

doc. dr. Dušan Žagar

**Somentor:**

doc. dr. Andrej Kryžanowski

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Maruška Šubic Kovač

prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 24. 09. 2012

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**



## **IZJAVE**

Podpisana Urša Bergant izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »Mehanska analiza težnostne pregrade«.

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

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

Ljubljana, 2.9.2012

Urša Bergant

## BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

|                  |   |
|------------------|---|
| UDK:             | 627.8(043.2)  |
| Avtorica:        | Urša Bergant  |
| Mentor:          | doc. dr. Simon Schnabl  |
| Somentor:        | doc. dr. Andrej Kryžanowski                                   |
| Naslov:          | Mehanska analiza težnostne pregrade                           |
| Tip dokumenta:   | diplomska naloga  |
| Obseg in oprema: | 31 str., 7 pregl., 12 sl., 9 en., 1 pril.                     |
| Ključne besede:  | težnostna pregrada, valjani beton, stabilnost, varnost, CADAM |

### **Izveček:**

V prvem delu diplomske naloge je predstavljen projekt oskrbe s pitno vodo na območju Obale in na zalednem kraškem območju. Ključna je uporaba reke Reke ter njenega pritoka Suhorka, na katerem bo zgrajena akumulacija. Odločili smo se, da bo pregrada zgrajena iz valjanega betona, ki je cenovno in okoljsko bolj sprejemljiv od nasute pregrade ali pregrade iz klasičnega betona. Drugi del naloge obsega napetostne in stabilitetne izračune v programu. Prvotne dimenzije pregrade, ki smo jih vzeli iz tehničnega poročila, niso ustrezale, saj je na dolvodni strani pregrade prihajalo do prevelikih nateznih napetosti, kar je povzročilo nastanek razpok. Z okrepitevijo gorvodnega in dolvodnega dela ter krone pregrade smo določili novo geometrijo pregrade in zagotovili ustrezno varnost.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

UDC: 627.8(043.2)  
Author: Urša Bergant  
Supervisor: assist. prof. Simon Schnabl, Ph.D.  
Cosupervisor: assist. prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.  
Title: Mechanical analysis of a gravity dam  
Document type: graduation thesis  
Scope and tools: 31 p., 7 tab., 12 fig., 9 eq., 1 ann.  
Keywords: gravity dam, roller compacted concrete, stability, safety, CADAM

**Abstract:**

In the first part of our work we will present the water supply project in Obala and backend Karst regions. The use of the river Reka and its tributary Suhorka is essential, since an amassment is going to be built on it. We decided to build the dam from rolled concrete, which is economically and environmentally better than a paved barrier or a classic concrete dam. The second part of our work includes tension and stability program calculations. The primary dimensions of the dam—taken from a technical report—were not suitable because of high straining tensions in the downstream side of the dam, causing the formation of cracks. By reinforcing the upstream and downstream part and the top of the dam, we determined a new geometry of the dam and assured proper security.

## **ZAHVALA**

Za pomoč se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Simonu Schnablu in somentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu.

Za vso podporo v času študija bi se zahvalila tudi družini ter prijateljem in študijskim kolegom.



**KAZALO VSEBINE**

|  |           |
|--|-----------|
| Izjave .....   | I         |
| Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček.....             | II        |
| Bibliographic-documentalistic information and abstract .....     | III       |
| Zahvala.....   | IV        |
| <br>   |           |
| <b>1 UVOD .....</b>  | <b>1</b>  |
| <br>   |           |
| <b>2 PROBLEMATIKA.....</b>                                       | <b>3</b>  |
| 2.1 Opis načrtovanih posegov .....                               | 3         |
| <br>   |           |
| <b>3 ZASNOVA PREGRADE .....</b>                                  | <b>4</b>  |
| 3.1 Opis lokacije .....  | 4         |
| 3.2 Izbira tipa pregrade .....                                   | 5         |
| <br>   |           |
| <b>4 VALJANI BETON.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| 4.1 Definicija valjanega betona .....                            | 7         |
| 4.1.1 Glavne prednosti valjanega betona .....                    | 7         |
| 4.1.2 Materiali .....  | 8         |
| 4.2 Gradnja RCC pregrade.....                                    | 9         |
| 4.2.1 Analiza materialov za gradnjo RCC pregrade in pogoji ..... | 9         |
| <br>   |           |
| <b>5 PREGRADA SUHORKA .....</b>                                  | <b>11</b> |
| 5.1 Opis pregrade.....   | 11        |
| <br>   |           |
| <b>6 MEHANSKA ANALIZA PREGRADE .....</b>                         | <b>13</b> |
| 6.1 CADAM .....  | 13        |
| 6.2 Določitev potrebnih dimenzij pregrade Suhorka.....           | 13        |
| 6.2.1 Določitev višine pregrade.....                             | 15        |
| 6.2.2 Izračun potrebnih dimenzij .....                           | 17        |
| 6.2.3 Končne dimenzije pregrade .....                            | 24        |
| <br>   |           |
| <b>7 ZAKLJUČEK .....</b>   | <b>29</b> |
| <br>   |           |
| <b>LITERATURA .....</b>  | <b>30</b> |

## KAZALO PREGLEDNIC

|   |    |
|---|----|
| Preglednica 1: Karakteristike flišnih sedimentov (Somrak, Močnik, Brenčič, 2006)..... | 5  |
| Preglednica 2: Koeficient K.....  | 15 |
| Preglednica 3: Tabela volumnov in kot (Somrak, Močnik, Brenčič, 2006) .....           | 20 |
| Preglednica 4: Normalne napetosti, ki delujejo na pregrado (Rescher, 1965) .....      | 22 |
| Preglednica 5: Primerjava napetosti.....  | 27 |
| Preglednica 6: Primerjava napetosti.....  | 27 |
| Preglednica 7: Primerjava napetosti izjemne potresne kombinacije 5 .....              | 27 |

**KAZALO SLIK**

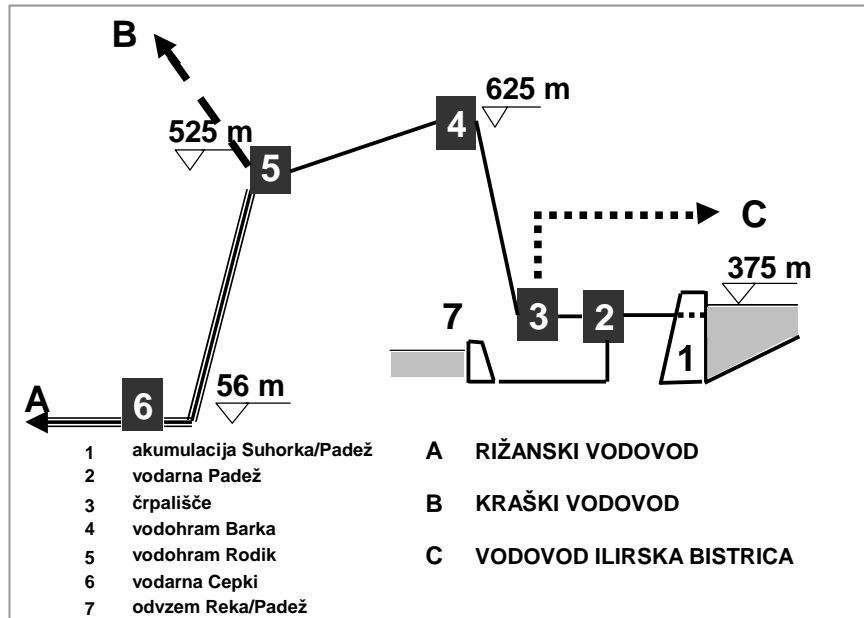
|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Tehnična zasnova oskrbe s pitno vodo (Brilly, Kompare, Kryžanowski, Rusjan, 2008)..... | 1  |
| Slika 2: Tloris pregrade (Krajnc, Somrak, Kryžanowski). .....                                   | 11 |
| Slika 3: Pregrada z novim naklonom .....  | 19 |
| Slika 4: Stabilnostna analiza napetosti in razpok za potresno obtežno kombinacijo 5.....        | 20 |
| Slika 5: Pregrada z naklonom na gorvodni strani.....  | 21 |
| Slika 6: Napetosti pri izjemni potresni obtežbi .....   | 22 |
| Slika 7: Izjemna obtežba v primeru poplave.....   | 23 |
| Slika 8: Izjemna obtežba v primeru poplave.....   | 24 |
| Slika 9: Končne dimenzije pregrade .....  | 25 |
| Slika 10: Končni izgled pregrade .....  | 25 |
| Slika 11: Napetosti pri izjemni potresni kombinaciji 5 .....                                    | 26 |
| Slika 12: Rezultanta napetosti pri izjemni kombinaciji 5 .....                                  | 24 |

## KAZALO PRILOG

|   |    |
|---|----|
| Priloga A: Izračuni pregrade s programom CADAM..... | A1 |
|---|----|

## 1 UVOD

Na območju Obale in na zalednem kraškem območju se trenutno soočajo s problematiko pitne vode. V ta namen se je razvil projekt oskrbe s pitno vodo, kjer je ključna uporaba reke Reke in njenih pritokov.



Slika 1: Tehnična zasnova oskrbe s pitno vodo

(Brilly, M., Kompore, B., Kryžanowski, A., Rusjan, S., 2008)

Geološke, morfološke in hidrološke raziskave so pokazale, da je najbolj ustrezen pritok za gradnjo akumulacije potok Suhorka.

Na podlagi materiala, ki je bil dosegljiv na terenu in v okolici, smo se odločili, kateri tip pregrade bi bil bolj ustrezen. Trdna flišna podlaga omogoča gradnjo tako nasute kot betonske pregrade. Ker na sami lokaciji ni ustreznih materialov za gradnjo, to pomeni, da je treba material pripeljati iz 30 km oddaljenega kamnoloma. V primeru nasute pregrade bi potrebovali 800.000–1.000.000 m<sup>3</sup> materiala, kar pomeni hudo obremenitev okolja. Kot alternativna možnost pa se nam ponuja možnost gradnje pregrade iz betona oziroma iz valjanega betona, ki zahteva le 25 % transportov v primerjavi z nasuto pregrado, zato smo se tudi odločili za pregrado iz valjanega betona.

Valjani beton je definiran kot beton, stisnjen z valjanjem, njegove karakteristike pa so zelo podobne klasičnemu betonu. Od klasičnega betona se razlikuje predvsem v sestavi mešanice, saj vsebuje manj cementa, ter po hitrosti in načinu vgradnje. Največji prednosti gradnje pregrade iz valjanega betona pa sta hitrost gradnje, ki načeloma poteka neprekinjeno, in pa manjši stroški (valjani beton je lahko 20–25 % cenejši od klasičnega).

Z dosegljivo programsko opremo smo naredili stabilnostne in napetostne analize pregrade. Glede na izračunano višino smo predpostavili začetne dimenzije pregrade. Ugotovili smo, da te dimenzije niso popolnoma ustrezne, saj na spodnjem delu gorvodne strani pregrade je prihajalo do prevelikih natezних napetosti in nastanka razpok. Sprejeli smo nekatere ukrepe (sprememba naklona gorvodne in dolvodne strani pregrade) in tako zagotovili ustrezno varnost pregrade.

## 2 PROBLEMATIKA

Na območju Obale in na zalednem kraškem območju se že dalj časa soočajo s problemom zadostne količine pitne vode. Zaradi povečanja števila prebivalstva in razvoja turizma se je poraba pitne vode bistveno povečala. V preteklih sušnih obdobjih je bil upravljavec vodooskrbnega sistema, Rižanski vodovod, soočen s primanjkljaji vode, ki pa jih je uspel nadomestiti z dodatnimi količinami vode iz sosednjih vodooskrbnih sistemov.

Glavni vodni vir v slovenski Istri predstavlja Rižana, ki je, celoletno gledano, dovolj vodnata, manjkajoče vodne vire pa zagotavlja iz nadomestnih virov, Brestovice, Sečovelj in pa z uvozom s Hrvaške.

### 2.1 Opis načrtovanih posegov

Pri projektu oskrbe prebivalstva s pitno vodo v slovenski Istri in kraškem zaledju se bo uporabila reka Reka ter njeni pritoki. Na reki Reki je predvidena izgradnja jeza z zajemom vode, akumulacija pa je predvidena na enem od pritokov Reke.

Na podlagi geoloških, morfoloških in hidroloških preiskav smo se odločili, da je najbolj ustrezen pritok za gradnjo akumulacije potok Suhorka.

Sistem zajetja z akumulacijo sestavljajo: glavna pregrada s spremljajočimi varnostnimi objekti (preliv, talni izpust, podslapje) in zajetje z odvodom vode za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Akumulacijski prostor se bo polnil tako z lastnimi vodami Suhorke kot tudi z načrpano vodo iz reke Reke. (Brilly, M., Kompare, B., Kryžanowski, A., Rusjan, S., 2008)

### 3 ZASNOVA PREGRADE

#### 3.1 Opis lokacije

Razgibano ozemlje z nadmorskimi višinami od 350 do 800 m pripada hribovitim Brkinom. Reka Reka in njeni pritoki tečejo večinoma na terciarnih flišnih sedimentih. Lokacija pregrade je predvidena v dolini reke Suhorke, ki je skupaj s Padežem največji pritok reke Reke in 5 km dolvodno izgine pod površje v slovenskem Krasu v Škocjanske jame.

Dolina Suhorke leži v dinarski smeri in ni poseljena, v večji meri je poraščena z grmičevjem in gozdom, na nekaterih mestih pa so travnate površine. Pobočja nad dolino so večinoma poraščena z gozdom in presekana s številnimi grapami.

Geološka zgradba doline je precej enostavna. Dolina je prekrita z rečnimi sedimenti, njihova podlaga pa so kredni apnenci in delno dolomiti ter različni paleogenski apnenci. Spodnji del hribovja sestavljajo terciarni flišni sedimenti, predvsem peščenjak (do 60 %).

Nosilnost aluvialnih sedimentov ni zadostna, zato bo treba to plast v celoti odstraniti, saj je dovoljena obremenitev tal nižja od dejanske obtežbe zemeljske pregrade.

Po karti maksimalnih intenzitet potresov Slovenije pripada ozemlje z načrtovano zaježitvijo v 7. potresno stopnjo (Vir: [www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki/](http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki/)). Po karti potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 475 let je projektni pospešek tal 0,175 g.

Ker bo treba na lokaciji pregrade odstraniti vodopropustne aluvijalne sedimente in deluvijalno glinasto peščeno preperino na pobočjih, bo pregrada temeljila na flišnih plasteh, ki jih predstavljajo peščenjaki in laporji. Zato uvrščamo tla po EC 8 v razred A (trdna tla).



## Karakteristike flišnih sedimentov

Preglednica 1: Karakteristike flišnih sedimentov  
(Somrak, D., Močnik, I., Brenčič, M., 2006: 31 str.)

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| Enoosna tlačna trdnost   | 10–30 MPa      |
| Razdalja med razpokami   | 60–200 mm      |
| Stanje razpok            | Odprte, 1–5 mm |
| Strižni kot $\varphi(0)$ | $59^{\circ}$   |
| Kohezija $c$             | 186 kPa        |
| Elastični modul $E$      | 43000 kPa      |

### 3.2 Izbira tipa pregrade

Laboratorijske raziskave posameznih flišnih slojev so dale maksimalne tlačne trdnosti, ki zadovoljujejo tako pogoje za nasuto pregrado kot tudi pogoje temeljenja gravitacijske pregrade betonskega tipa ali izdelane iz valjanega betona.

Z morfološkega vidika je betonska pregrada bolj ustrezna od nasute pregrade. Pri nasuti pregradi je lahko prelivni objekt dokaj kompliciran (sestavljen iz bočnega preliva in drče), pri težnostni pregradi pa je prelivni del lahko sestavni del pregrade. Nasuta pregrada je občutljiva na prelivanje, ki povzroči progresivno erozijo dolvodnega dela pregrade in v končni fazi rušenje pregrade, medtem ko prelivanje težnostne betonske pregrade ni kritično.

Izgradnja nasute pregrade ima veliko prednost, če je možno uporabiti lokalni material za gradnjo. Iz geološkega poročila ter same morfologije pa je razvidno, da v sami dolini ni potrebnih materialov za izdelavo pregrade. To pa pomeni, da bo ves manjkajoči material za vgradnjo treba pripeljati od drugod.

Pri izbiri tipa pregrade torej upoštevamo, da je material treba transportirati iz že obstoječih peskokopov na razdalji 30 km v eno smer tako pri nasuti kot tudi betonski pregradi. Za izvedbo nasute pregrade Suhorka bi potrebovali 800.000–1.000.000 m<sup>3</sup> materiala, kar je za transport na razdalji 30 km precej huda obremenitev okolja, upoštevati pa moramo tudi strošek sanacijskih del na cestni in ostali infrastrukturi.

Kot alternativna možnost se nam ponuja izgradnja betonske pregrade oziroma pregrade iz valjanega betona. Prednost take vrste pregrade je predvsem v tem, da zahteva le 25 % transportov v primerjavi z zemeljsko pregrado. Druge prednosti take vrste pregrade pa so tudi manjši stroški, hitrejša gradnja

in manjše število premostitvenih objektov. Na podlagi številnih prednosti, ki jih ponuja, smo se odločili za gradnjo pregrade iz valjanega betona.

V nadaljevanju diplomskega dela bom obravnavala mehansko analizo pregrade Suhorka, ki je zgrajena iz valjanega betona. Značilnost teh pregrad je ta, da je telo pregrade zgrajeno iz kompaktiranega betona, delo pa poteka v kontinuiranih slojih, običajno debeline 30 cm.

Takšna pregrada naj bi bila cenejša, saj je potrebna manjša količina cementa (med 104 in 178 kg/m<sup>3</sup>).

## 4 VALJANI BETON

### 4.1 Definicija valjanega betona

Ameriški inštitut za beton (ACI) valjani beton definira kot beton, ki je stisnjen z valjanjem. Pogosto se za valjani beton uporablja angleški izraz roller compacted concrete – RCC.

Lastnosti valjanega betona so sicer podobne navadnemu betonu, vendar pa je nekaj precej boljših od klasičnega betona. Valjani beton se od klasičnega razlikuje predvsem po konsistenci. Vsebuje zelo malo cementa, saj mora biti dovolj suh, a vseeno dovolj vlažen, da se vezivo med mešanjem in vibriranjem enakomerno razporedi. Valjani beton mora zdržati pritisk mehanizacije, ki se uporablja za vibriranje in vgrajevanje. Največja prednost valjanega betona je hitrost vgradnje, ki je mnogo večja kot pri klasičnem betonu. Gradnja naj bi potekala neprekinjeno, zagotoviti pa je treba tudi dobro sprijemanje med posameznimi sloji. Posledica nepazljivosti pri vgrajevanju je lahko povečana vodoprepustnost ter pojav razpok.

Valjani beton naj bi se uporabljal predvsem v projektih, ki so ekonomično konkurenčni ostalim načinom gradnje. Pogosto ga uporabljamo pri težnostnih in ločno-težnostnih pregradah, v nasipih, ki temeljijo na ustreznih tleh, pri gradnji cest in parkirišč ... Običajne trdnosti valjanega betona znašajo od 13.8 do 20.7 MPa, lahko pa dosežemo tudi višje trdnosti.

#### 4.1.1 Glavne prednosti valjanega betona

RCC gradbene tehnike so ekonomsko konkurenčne predvsem zaradi naslednjih dejavnikov:

- Stroški

Valjani beton je lahko 20–25 % cenejši kot klasičen beton. Razlika v odstotkih odstopa glede na ceno agregata, cementnega materiala, kompleksnosti vgradnje in pa količine vgrajenega betona. Prihranki, ki jih povezujemo z RCC gradbenimi tehnikami, pa nastanejo zaradi manjših stroškov utrjevanja, namestitve in hitrejše gradnje.

- Hitra gradnja

Hitrejši način gradnje in manjša količina materiala sta, kot sem že navedla, glavna vzroka za zmanjšanje stroškov pri RCC projektih. Pri vgrajevanju valjanega betona moramo imeti material ves čas na zalogi, kar omogoča zelo visoko stopnjo proizvodnje. Če vzamemo za primer gradnjo nekega nasipa, je lahko z RCC tehniko čas gradnje krajši za nekaj mesecev, pri večjih projektih pa tudi za nekaj let. Med prednosti hitre gradnje pa lahko štejemo tudi nižje stroške uprave, hitrejše koriščenje

projekta, manj preusmeritvenih objektov itd. Ta način gradnje nudi velike prednosti v vseh pogledih, ki so povezani s časom gradnje.

- **Prelivi in drugi pripadajoči objekti**

Tako kot pri klasičnih betonskih pregradah so tudi pri RCC pregradah prelivi vključeni neposredno v samo strukturo pregrade. Voda se lahko preliva preko krone pregrade na dolvodno stran.

- **Manjše število preusmeritvenih objektov**

Kot posledico hitre gradnje lahko pri zmanjšanju stroškov upoštevamo tudi manj potrebnih preusmeritev reke med samo gradnjo ter zmanjševanje škode in tveganja, ki sta povezana s prelivanjem vode čez pregrado. Zaradi hitrejše gradnje je manjša tudi verjetnost visokih voda.

- **Druge prednosti**

Poleg vseh zgoraj naštetih prednosti je RCC pregrada v primerjavi z nasuto pregrado bolj sprejemljiva za okolje in bolje prenaša notranjo erozijo.

#### **4.1.2 Materiali**

Trdnost valjanega betona je odvisna od kvalitete in trdnosti agregata, stopnje stiskanja ter razmerja med pucolanom, cementom in vodo. Vrsta cementa najbolj vpliva na stopnjo hidratacije in na zgodnjo trdnost betona. Minimalna trdnost je pridobljena iz pogoja, da material zdrži težo strojev za širjenje in stiskanje.

Mešanico je treba projektirati z agregatom, ki se bo uporabil na gradbišču, in s količino vode, ki odgovarja srednji vrednosti vlage, ki se pričakuje med samo gradnjo na terenu.

Preiskovalne metode cementnih materialov za valjani beton so enake kakor pri klasičnem betonu, morajo pa biti v skladu z EM 1110-2-2000, standardno prakso za beton v gradbenih konstrukcijah (U.S. Army Corps of Engineers, 2000. Roller-Compacted Concrete.).

- **Cement**

Za valjani beton lahko uporabimo vse vrste cementa in prav tako vse poznane kombinacije cementa in pucolana, vendar pa se navadno uporabljajo cementi, ki proizvajajo nizko hidratacijsko toploto. Za zmanjšanje hidratacijske toplote lahko del cementa nadomestimo s pucolanom ali elektrofiltrskim pepelom. Če konstrukcija zahteva veliko trdnost, dodamo večje količine pucolana ali elektrofiltrskega pepela, s čimer dosežemo manjšo hidratacijo in večjo trdnost betona, zmanjšamo pa tudi stroške gradnje.

- **Pucolan**

Uporaba pucolana v RCC mešanici lahko služi za naslednje namene:

- kot delni nadomestek cementa za zmanjšanje hidratacijske toplote,
- kot delni nadomestek cementa zaradi zmanjšanja stroškov,
- kot dodatna zagotovitev za izboljšanje mešanice in volumna paste.

Odstotek cementa, ki ga lahko nadomestimo s pucolanom, se giblje med 0 in 80 % celotne mase.

- **Agregat**

Izbira agregata ter kontroliranje lastnosti agregata sta pomembna faktorja, ki vplivata na kvaliteto in enotnost RCC betona. Največja nazivna velikost agregata je 75 mm, v določenih primerih, vendar redko, tudi večja (ekonomično je smiselna le v primeru velikih količin RCC-ja). Agregati velikosti 63–75 mm so manj nagnjeni k segregaciji in se uporabljajo vedno bolj pogosto. V vsakem primeru pa je treba upoštevati, da maksimalno zmo agregata ne sme biti večje od ene tretjine debeline sloja. Če so potrebne večje kvalitete betona, potem je potreben strožji nadzor nad velikostjo in kakovostjo agregata.

- Grobi agregat: izbira največjega nominalnega agregata mora temeljiti na potrebi po zmanjšanju cementnega materiala, kontroli segregacije ter lažjem kompaktiranju. V večini RCC projektov se uporablja agregat velikosti 37,5 do 75 mm.
- Fini delci (< 5 mm): sicer jih ne omejujemo, vendar pa niso preveč zaželeni zaradi večje porabe vode in cementa, ki ju posledično potrebujemo v cementni mešanici. Fini delci naj bi zavzeli maksimalno 12 % celotnega volumna mešanice.

- **Kemijski dodatki**

Kemični dodatki so učinkoviti v RCC mešanicah, ki vsebujejo dovolj vode, da zagotovijo bolj tekočo pasto in boljšo sprijemljivost med sloji.

## 4.2 Gradnja RCC pregrade

Gradnja RCC pregrade je pretehtala predvsem iz ekonomičnega stališča, pomembno pa je tudi dejstvo, da smo želeli zasnovati tehnologijo gradnje s stroji, ki se uporabljajo za gradnjo cest.

### 4.2.1 Analiza materialov za gradnjo RCC pregrade in pogoji

Eden od najbolj zahtevnih pogojev je, da je gradnja neprekinjena, to pa pomeni, da mora imeti gradbišče na razpolago zadostno zalogo materiala vsaj za 3 dni vnaprej. Pri pregradi, ki ima naklon suhe strani 1:0,9, naj bi povprečno porabili 2.900 m<sup>3</sup> materiala na 1 m debeline plasti. Postopek

betoniranja naj bi bil neprekinjen, če pa to ni možno, naj bi bila narejena vsaj enometrska plast v enem delu. Za celotno pregrado je potrebnega približno 175.000 m<sup>3</sup> betona, od tega približno 12.000 m<sup>3</sup> klasičnega betona na kraju, kjer bo stala pregrada.

Če si pomagamo s srednjo vrednostjo porabe cementa pri gradnji takih pregrad v svetu (120 kg cementa na m<sup>3</sup>), potem za pripravo RCC mešanice za pregrado Suhorka brez klasičnega betona potrebujemo približno 18.000 t. Za zapiranje delovnih rež med sloji se uporablja cementna malta, za betonski ekran in prelivni del pa še armatura.

Če se odločimo za betoniranje 1 m debele plasti, to pomeni, da s sredstvom (skrejper, finiher, grejder ...) nanesimo in razgrnemo plast višine 30 cm, jo uvaljamo z ustrezno napravo in takoj nanesimo novo plast višine 30 cm. Postopek še enkrat ponovimo. Po doseženi višini 1 m se s posebnimi vibratorji na gosenicah z vibrira zadnji meter in ena plast pod njim ter ponovno uvalja. Tak princip dela pogojuje tudi ustrezno organizacijo gradbiščne infrastrukture od zagotavljanja vsaj 3-dnevne rezerve materiala na deponijah ter zagotavljanja rednih transportov materiala na deponije.

Za zagotovitev betoniranja je treba zagotoviti prostor za betonarno za RCC beton (predvideno na desnem bregu Suhorka tik pod pregrado) in klasično betonarno.

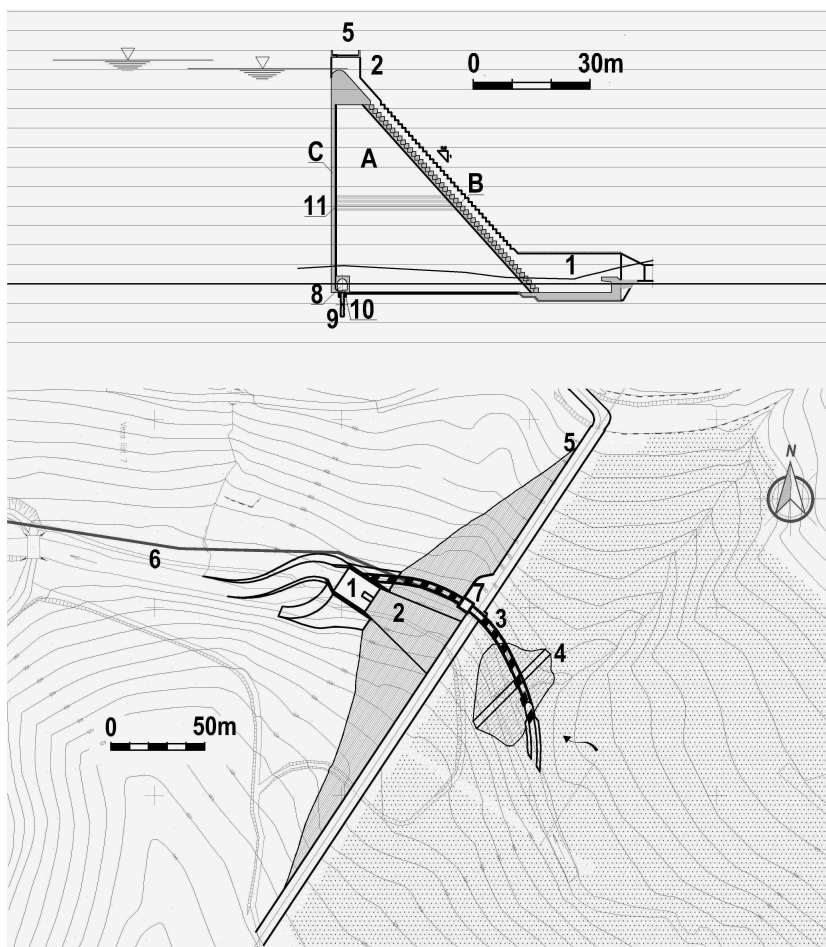
V svetu obstaja kar nekaj tipov betonarn, ki so za RCC betone različne od klasičnih. Običajno se njihove kapacitete gibljejo od 100 do 400 m<sup>3</sup>/h in imajo neprekinjen proces mešanja. Za plast 1 m bi pri najmanjši kapaciteti 100 m<sup>3</sup>/h potrebovali približno 25–29 ur ob istočasnem betoniranju še s klasičnim betonom.

## 5 PREGRADA SUHORKA

### 5.1 Opis pregrade

Pregrada je locirana 230 m gorvodno od sotočja z reko Padež. Da bi ustvarili zahtevani volumen, je treba dvigniti zajezbo na višino 51 m, krono pregrade na koto 437 m n.m., kar pomeni, da je pregrada visoka 56 m. Pregradni profil je spodaj ozek, v zgornjem delu pa se močno razširi – na širino 345 m. Širina krone pregrade naj bi bila 7.5 m.

Gradnja objektov naj bi se pričela z izvedbo galerije oziroma obtočnega tunela, ki je namenjen evakuaciji vode med gradnjo glavne pregrade. Predvideli smo, da trasa galerije poteka po desnem bregu, z namenom, da se izognemo temeljenju na aluviju in se pomaknemo v breg na bolj raščena tla. Gradnja glavne pregrade bo v gradbeni jami, ki bo tako na gorvodnem kot na dolvodnem koncu zaprta s pomožno pregrado. Obe zaščitni pregradi sta predvideni kot sestavni del glavne pregrade.



Slika 2: Tloris pregrade

(Krajnc, U., Somrak, D., Kryžanowski, A. Padež project: A case study of strategically planning of water resources for water supply)

1 ... podslapje

2 ... zadrževalna drča

3 ... preusmeritveni predor

4 ... preusmeritvena pregrada

5 ... dostopna cesta

7 ... krona pregrade

8 ... drenažna galerija

9 ... zavesa

10 ... drenažni sistem

11 ... vnos

A ... telo pregrade

B ... zračna/dolvodna stran pregrade

C ... vodna/gorvodna stran pregrade



## 6 MEHANSKA ANALIZA PREGRADE

Stabiliteto pregrade preverjamo na mestu, kjer je pregrada najvišja. V računu upoštevamo, kot da je pregrada vrhnji del stene. Vpliva podlage ne upoštevamo, porazdelitev normalnih napetosti je linearna, material je linearno elastičen, prerez pa se ne deformira.

V programu CADAM sem statično preverila pregrado in določila nove dimenzije, ki izpolnjujejo določene varnostne kriterije.

### 6.1 CADAM

CADAM je računalniški program, s katerim računamo stabilnost betonskih težnostnih pregrad, uporabljamo pa ga tudi za raziskave in razvoj konstrukcijskih lastnosti in varnosti betonskih pregrad. Program opravlja stabilnostne analize za hidrostatične in seizmične obremenitve. Uporabnikom je omogočeno, da vidijo, kako se obnašajo pregrade pod različnimi pogoji (geometrija, vzgon, drenaža, nastanki razpok itd.) (cit. po Leclerc, M. in Leger, P., 2003).

### 6.2 Določitev potrebnih dimenzij pregrade Suhorka

Varna pregrada je tista pregrada, ki ne predstavlja tveganja za ljudi ali predmete in izpolnjuje določene varnostne kriterije. Če pregrada ne izpolnjuje določenih varnostnih zahtev, lahko pride do porušitve ali zdrsa pregrade.

Obtežbe, ki jih upoštevamo pri stabilitetnem izračunu, so:

- Lastna teža (stalna obtežba): za oceno vzamemo specifično težo betona  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ .
- Teža vode (stalna ali izjemna obtežba): za izračun upoštevamo težo vode  $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ .
- Led (občasna obtežba): računamo ga kot linijsko obtežbo na dolžinski meter glede na debelino. Če je debelina ledu manjša od 0,4 m, je ni treba upoštevati, ko je debelina ledu večja 0,6 m, pa upoštevamo silo ledu  $P_{\text{ledu}} = 145 \text{ kN/m}^2$ .
- Valovi (občasna obtežba): dinamično delovanje obtežbe valov se pojavlja ob udarcu valov v pregrado. To silo računamo le v izjemnih primerih, saj je v primerjavi z ostalimi silami, ki delujejo na pregrado, relativno majhna, poleg tega pa deluje lokalno. Določiti moramo predvsem, na kakšni efektivni dolžini bo lahko veter deloval na vodno gladino in ustvaril valove (cit. po Steinmann, F. in Banovec, P., 2004).
- Sedimenti: računamo jih lahko kot običajne zemeljske pritiske ali pa kot potopljene sedimente. Običajno sedimente obravnavamo kot tekočine.

- Vzgon (stalna obtežba): upoštevamo ga tako v pregradi kot v temeljnih tleh. Vodni pritisk se v betonski pregradi razvije zaradi penetracije vode vzdolž diskontinuitet ter zaradi pronicanja vode v pore kamnin in betona (cit. po Steinmann, F. in Banovec, P., 2004). Vzgon v samem telesu pregrade lahko zmanjšamo z drenažno zaveso, na dnu pregrade pa s tesnilno zaveso. Za redukcijo vzgona upoštevamo  $\lambda = 0,7-0,85$ .
- Potres (izjemna obtežba): potresno obtežbo upoštevamo glede na stopnjo seizmičnosti področja, na katerem gradimo. Vertikalni pospeški so bolj intenzivni kot horizontalni. Po psevdostatični metodi se sile upoštevajo kot statične. Ta metoda deluje po principu največjih pospeškov in jo uporabljamo za manj občutljive betonske pregrade ali pa za predhodne analize. (cit. po Steinmann, F. in Banovec, P., 2004).
- Druge obtežbe: temperaturni gradient, porni tlaki, dinamične obremenitve itd.

Pregrada mora biti dimenzionirana na najbolj neugodno kombinacijo obtežb, ki imajo razumno verjetnost, da se dogodijo hkrati (cit. po Steinmann, F. in Banovec, P., 2004).

Naslednje tri obtežne kombinacije zajemajo skoraj vse možne obtežne kombinacije:

1. običajni obtežni primer,
2. izjemni obtežni primer,
3. ekstremni obtežni primer.

Pri izračunu varnosti pregrade sem upoštevala naslednje obtežbe:

- Lastna teža (1).
- Hidrostatični pritiski (2).
- Vzgonski pritiski (3).
- Sedimenti (4).
- Poplava (prelivanje čez krono) (5).
- Pri izjemni obtežbi pa še horizontalno (6) ter vertikalno (7) potresno obtežbo.

V programu sem preverila obtežne kombinacije, ki se lahko pojavijo z največjo verjetnostjo:

1. Običajna kombinacija: (1).
2. Običajna kombinacija: (1) + (2) + (3) + (4).
3. Izjemna obtežba v primeru poplave: (1) + (2) + (3) + (4) + (5).
4. Izjemna obtežba v primeru potresa: (1) + (2) + (3) + (4) + (6) + (7).
5. Izjemna obtežba v primeru potresa: (1) + (6) + (7).

### 6.2.1 Določitev višine pregrade

Višino pregrade potrebujemo kot izhodišče za določitev ostalih dimenzij.

Potrebna višina H pregrade = H1 + H2 + H3 + H4.

H1: Ocena količine plavin. Ker smo vezani na omejitve glede višine pregrade z morfološkega stališča, naj bi bil ta del čim manjši. V začetni fazi smo predvideli H1 = 6 m.

H2: Koristni volumen akumulacije: izhaja iz potrebnega volumna vode. Volumen zadostuje za tri mesece oskrbe Rižanskega, Kraškega in Ilirskobistirskega vodovoda v sezoni. S tem upoštevamo najslabšo možnost (onesnaženje ali drug izpad ostalih virov, klimatske spremembe, spremembe v hidrološkem ciklu itd.). Potreben volumen je 4,7 mio m<sup>3</sup>. Ta zadošča za trimesečno zalogo za porabo 600 l/s ali dvomesečno zalogo za porabo 820 l/s.

H3: Varnostni pas vode, ki se segreva zaradi podnebnih sprememb in bi te vplivale na kvaliteto vode v cevovodu. Ocena potrebne višine varnostnega pasu je 15 m.

H4: Višina, v kateri so zajete naslednje točke:

- Višina prelivanja na prelivu ob katastrofalni visoki vodi z varnostnim faktorjem.

Višina prelivanja preko fiksnega prelivnega praga je izračunana s postopkom numerične integracije, z upoštevanjem hidrograma poplavnega vala visokih vod.

- Posedanje pregrade.
- Valovanje.

Hitrost vetra  $v_0 = 150$  km/h

Dolžina valovanja:  $Le = 1,4$ m

Hitrost vetra pomnožimo s koeficientom K:

Preglednica 2: Koeficient K

| Le  | K     |
|-----|-------|
| 0,5 | 1,074 |
| 1   | 1,1   |
| 2   | 1,147 |
| 3   | 1,201 |
| 4   | 1,232 |
| 5   | 1,255 |

$$K = 1,119$$

$$V = K v_0 = 167,82 \text{ km/h}$$

(1)

Višina vala:

$$hvs = 0,005 V^{1,06} Le^{0,47} = 1,34 \text{ m}$$

(2)

Dolžina vala:

$$lvs = 0,17 V^{0,88} Le^{0,56} = 18,63 \text{ m}$$

(3)

Razmerje  $hvs/lvs = 0,072$

$$hv = \frac{1}{3,41} Le^{0,37} v_0^{0,48}$$

(4)

Na osnovi razmerja smo odčitali naklon brežine  $hr/hv = 2,06$  (Nonveiller E., 1983)

Višina vzpenjanja valov  $hr = 2,75 \text{ m}$

- Plimovanje.

Povprečna globina akumulacije  $D = 18 \text{ m}$

Dolžina valovanja  $L = 1,4 \text{ km}$

Kot smeri vetra na pravokotnico glede na os pregrade  $\alpha = 51^\circ$

Višina plimovanja:

$$hd = \frac{V^2 L}{6,3D} 10^{-4} \cos\alpha = 0,022 \text{ m}$$

(5)

Na podlagi grobih izračunov in predpostavk o smeri in jakosti vetra smo predvideli višino 6 metrov.  
(cit. po Somrak D. in Brenčič M., 2006)

Preglednica 3: Tabela volumnov in kot  
(Somrak, D., Močnik, I., Brenčič, M., 2006: 48 str.)

|                           | <b>Kota (m)</b> | <b>Volumen (m)</b> |
|---------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>Kota dna</b>           | 380             | 0                  |
| <b>Neuporaben volumen</b> | 386             | 112700             |
| <b>Koristni volumen</b>   | 416             | 4751010            |
| <b>Varnostni volumen</b>  | 431             | 8263290            |
| <b>Volumen do krone</b>   | 437             | 6800000            |

### 6.2.2 Izračun potrebnih dimenzij

Določila sem dimenzije, pri katerih ne prihaja do razpokanosti pregrade v izjemni obtežni kombinaciji, hkrati pa izpolnjuje tudi varnostne faktorje v ostalih obtežnih kombinacijah (1, 2, 3 in 4).

#### Korak I

Izhodišče izračuna je bila višina pregrade  $H = 56$  m. Širina krone pregrade  $b$  mora meriti 8–10 % višine pregrade oziroma toliko, da je prevozna (vsaj 6 m).

Koeficient reduciranega vzgona  $\lambda = 0,85$

Normalne napetosti  $\sigma_y$ , ki delujejo na pregrado:

Preglednica 4: Normalne napetosti, ki delujejo na pregrado  
(Rescher, J. O., 1965: 103 str.)

| Obtežba        | Vodna stran               | Zračna stran            |
|----------------|---------------------------|-------------------------|
| Lastna teža    | $-\gamma_b y$             | 0                       |
| Krona pregrade | $-2 \gamma_b z h (1 - z)$ | $\gamma_b z h (1 - 2z)$ |
| Voda           | $\gamma_w h (h/x)^2$      | $-\gamma_w h (h/x)^2$   |
| vzgon          | $\gamma_w \lambda h$      | 0                       |

S pomočjo iteracij smo iz enačbe 6 izračunali nov naklon dolvodnega dela pregrade:

$$m = \sqrt{\frac{\gamma_w}{\gamma_b (1 + 2z^2 - 2z^3) - \lambda \gamma_w}} = 0,784 \quad (6)$$

Če bi v enačbi upoštevali polni vzgon in zanemarili vpliv krone (enačba 7), potem bi bil naklonski kot zračnega dela pregrade odvisen samo od specifične teže vode in betona:

$$m = \sqrt{\frac{\gamma_w}{\gamma_b - \gamma_w}} \quad (7)$$

Na podlagi novega naklona smo izračunali še preostale dimenzije po enačbi 8:

$$m = \frac{B}{H} = \frac{b}{h}$$

(8)

Dobili smo geometrijo pregrade:

Naklon  $m = 0,784$

Višina  $H = 56$  m

Širina  $B = 44$  m

Širina krone  $b = 6$  m

Višina krone  $h = 7$  m

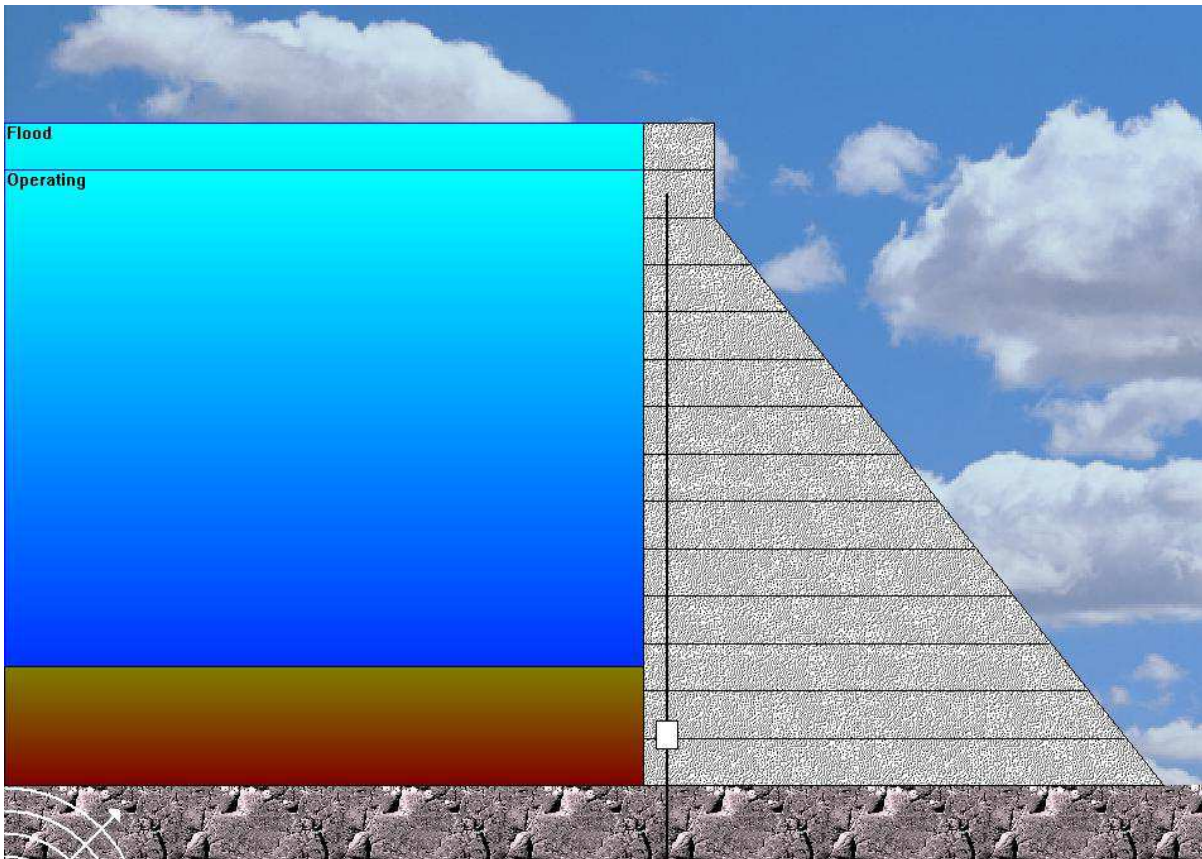
Za potrebne stabilitetne izračune smo upoštevali še naslednje podatke:

Valjani beton:

- Tlačna trdnost:  $f'c = 17500$  kPa
- Natezna trdnost:  $f_t = 1750$  kPa
- Kohezija:  $c = 600$  kPa
- Strižni kot:  $\varphi = 45^\circ$

Flišna podlaga:

- Tlačna trdnost:  $f'c = 20000$  kPa
- Natezna trdnost:  $f_t = 2000$  kPa
- Kohezija:  $c = 186$  kPa
- Strižni kot:  $\varphi = 59^\circ$



Slika 3: Pregrada z novim naklonom

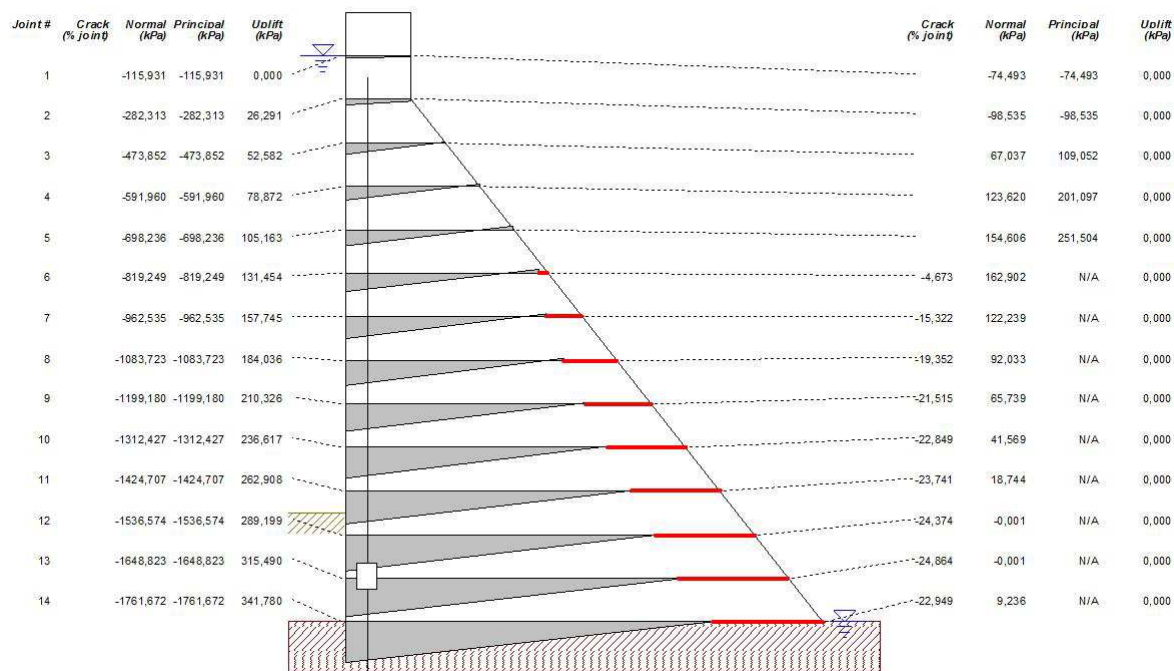
Po izračunu stabilnosti ugotovimo, da pregrada izpolnjuje varnostne zahteve obtežnih primerov 1, 2, 3 in 4. V obtežnem primeru 5 pa pride na zračni strani pregrade do prevelikih nateznih napetosti. Natezne napetosti na spodnjem delu pregrade dolvodne strani povzročijo pojav razpok od šeste do štirinajste lamele (slika 4, preglednica 5).

Po enačbi 9 smo preverili stabilnost proti zdrs. Ker varnostni faktor ni manjši od 1, ni potrebe, da bi pregrado poglobljali.

$$SSF = \frac{(\sum \bar{V} + U) \tan \phi + c A_c}{\sum H}$$

(9)

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



Slika 4: Stabilnostna analiza napetosti in razpok za potresno obtežno kombinacijo 5

Preglednica 5: Primerjava napetosti

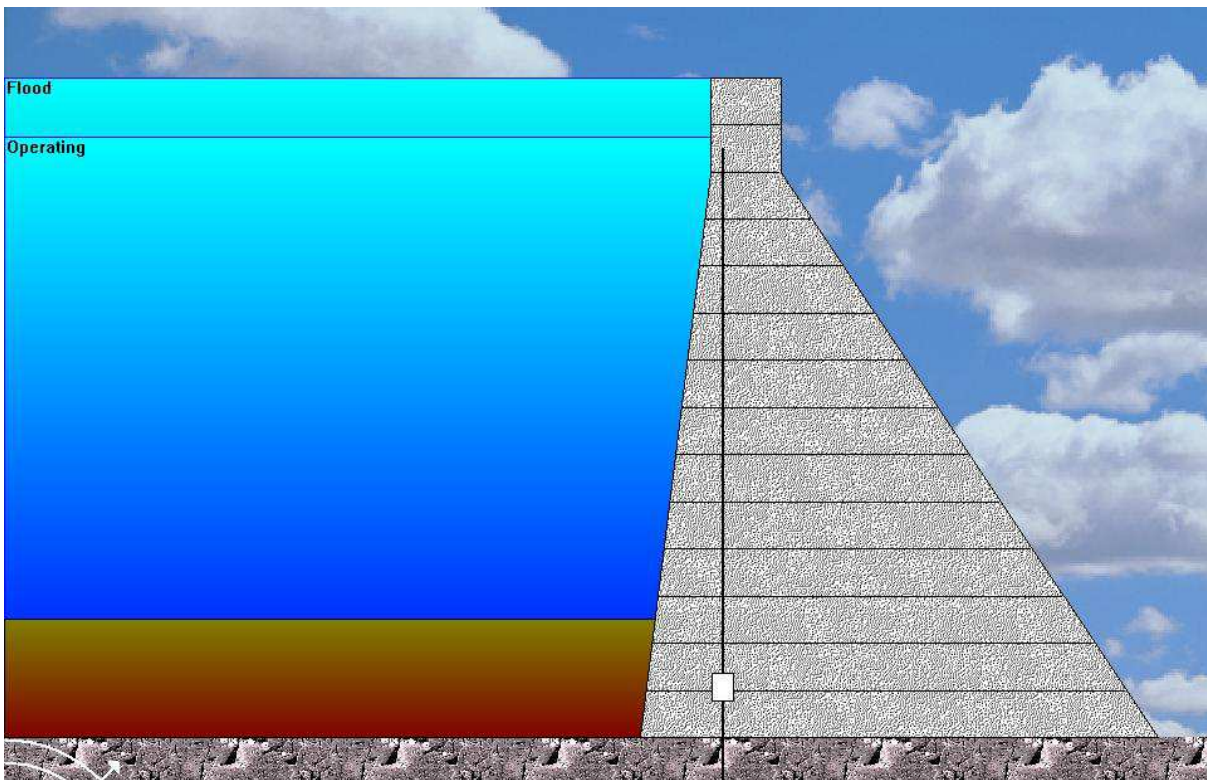
|        | Napetosti (kPa)    |
|--------|--------------------|
| Lamela | Korak I            |
|        | Dolvodno (slika 4) |
| 1      | -74,493            |
| 2      | -98,535            |
| 3      | 109,052            |
| 4      | 201,097            |
| 5      | 251,504            |
| 6      | 288,371            |
| 7      | 319,935            |
| 8      | 349,148            |
| 9      | 377,219            |
| 10     | 404,687            |
| 11     | 431,812            |
| 12     | 458,745            |
| 13     | 485,765            |
| 14     | 512,995            |



Iz situacije je razvidno, da je treba okrepiti gorvodni del pregrade, saj pri izjemni obtežni kombinaciji 5 prihaja do prevelikih nateznih napetosti na zračni strani pregrade. Z ojačanjem vodne strani bomo te natezne napetosti zmanjšali, vendar moramo paziti, da pregrada ustreza tudi varnostnim pogojem pri kombinacijah 1, 2, 3 in 4.

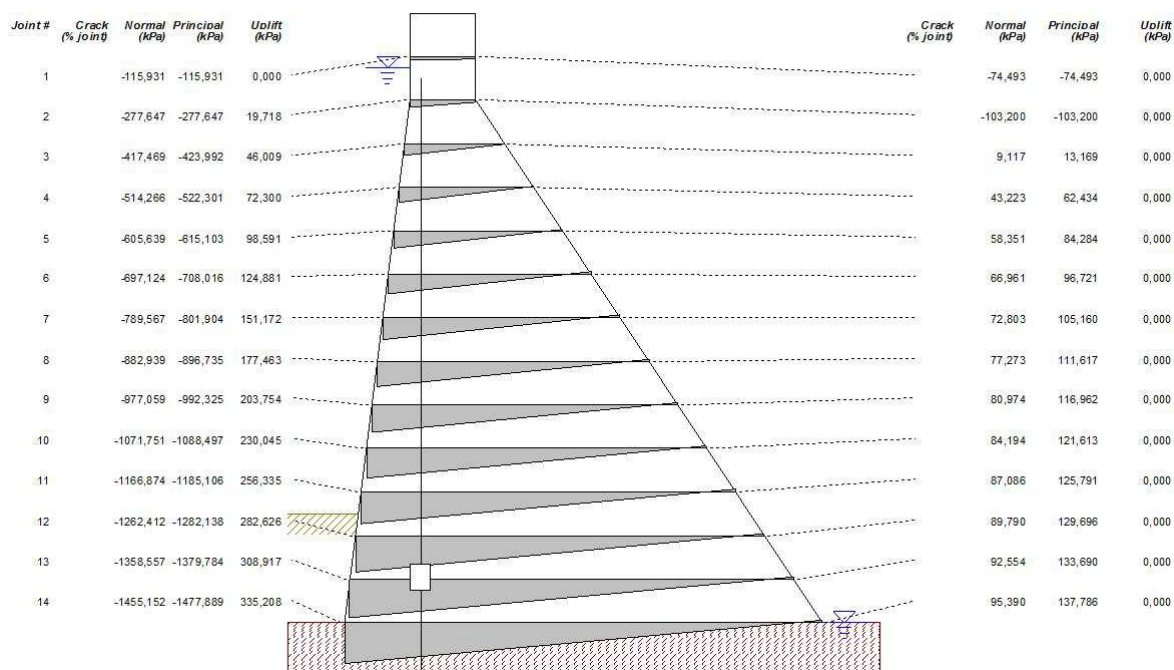
## Korak II

Z naklonom na gorvodni strani  $m = 0,125$  (slika 5), smo zagotovili, da razpoke v primeru izjemne potresne obtežbe ne nastajajo več (slika 6).



Slika 5: Pregrada z naklonom na gorvodni strani

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



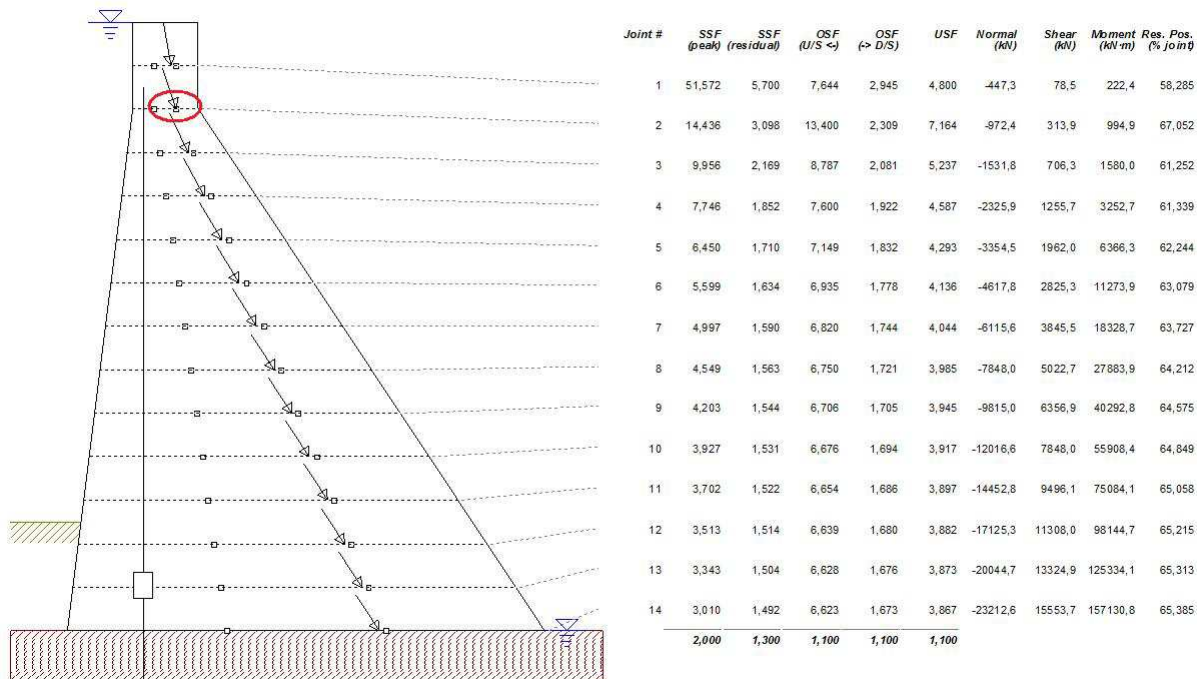
Slika 6: Napetosti pri izjemni potresni obtežbi

Preglednica 6: Primerjava napetosti

| Lamela | Napetosti (kPa)    |                    |
|--------|--------------------|--------------------|
|        | Korak I            | Korak II           |
|        | Dolvodno (slika 4) | Dolvodno (slika 6) |
| 1      | -74,493            | -74,493            |
| 2      | -98,535            | -103,2             |
| 3      | 109,052            | 13,169             |
| 4      | 201,097            | 62,434             |
| 5      | 251,504            | 84,284             |
| 6      | 288,371            | 96,721             |
| 7      | 319,935            | 105,16             |
| 8      | 349,148            | 111,617            |
| 9      | 377,219            | 116,962            |
| 10     | 404,687            | 121,613            |
| 11     | 431,812            | 125,791            |
| 12     | 458,745            | 129,696            |
| 13     | 485,765            | 133,69             |
| 14     | 512,995            | 137,786            |

Varnostni pogoji za izjemno potresno obtežbo so z novimi dimenzijami zagotovljeni. Problem se pojavi v primeru obtežne kombinacije 3 (izjemna obtežba v primeru poplave), ko se voda preliva čez krono pregrade. V drugi lameli (slika 7), kjer se pregrada začne širiti, pride do kritične točke, ko je rezultanta napetosti še komaj znotraj jedra pregrade. Da ne bi prišlo do razpok ali porušitve, moramo sprejeti nov ukrep. Zgornji del zračne strani pregrade je treba zgraditi v naklonu.

### Flood combination (stability analysis)

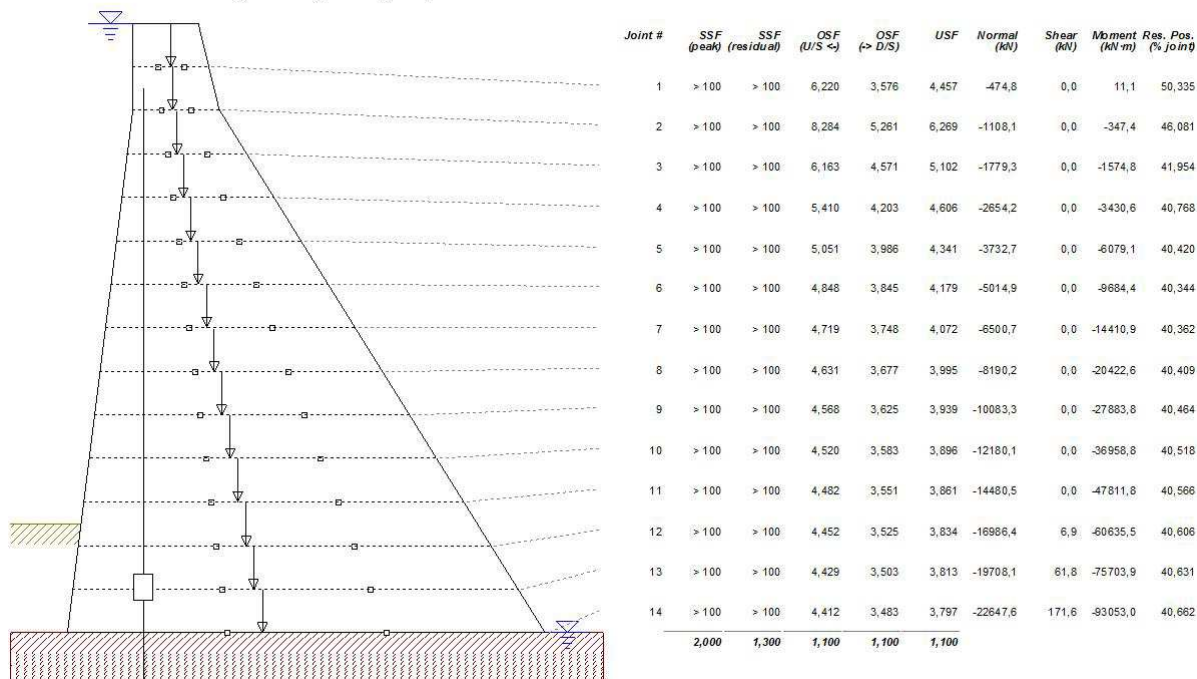


Slika 7: Izjemna obtežba v primeru poplave

### Korak III

Naklon na zgornjem delu pregrade (lamela 1 in 2) nam zagotavlja, da rezultanta napetosti pade v sredino jedra pregrade (slika 8).

*Flood combination (stability analysis)*



Slika 8: Izjemna obtežba v primeru poplave

### 6.2.3 Končne dimenzije pregrade

Da smo zadostili vsem varnostnim kriterijem, smo morali sprejeti naslednje ukrepe:

- zmanjšati naklon na dolvodni strani;
- okrepiti gorvodno stran in jo zgraditi v naklonu;
- naklon na zgornjem delu dolvodne strani pregrade.

Dobili smo dimenzije pregrade, ki ustrezajo vsem obtežnim kombinacijam (1, 2, 3, 4 in 5).

Dimenzije pregrade so naslednje (slika 9):

Višina:  $H = 56$  m

Širina krone:  $b = 6$  m

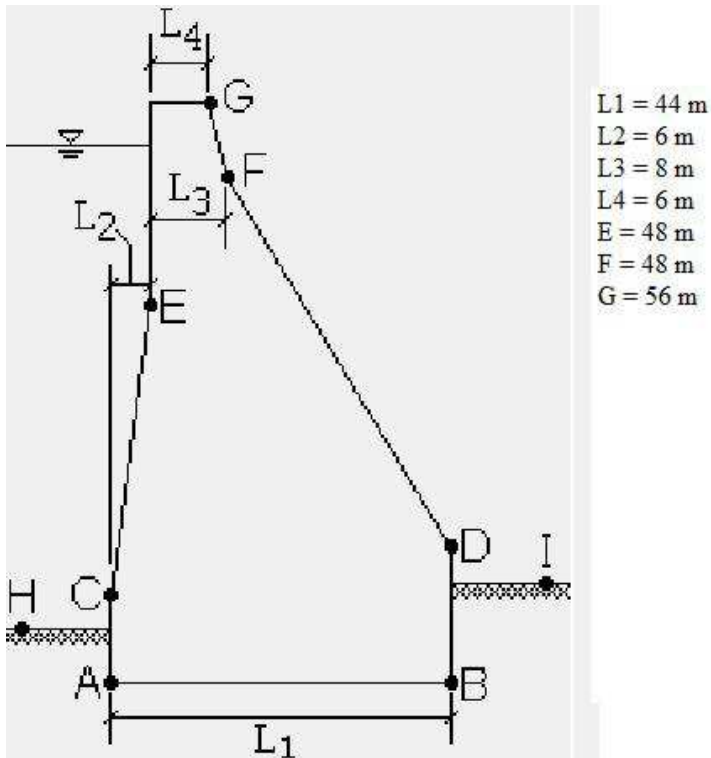
Višina krone:  $h = 7$  m

Širina pregrade:  $B = 44$  m

Naklon gorvodne strani:  $m = 0,125$

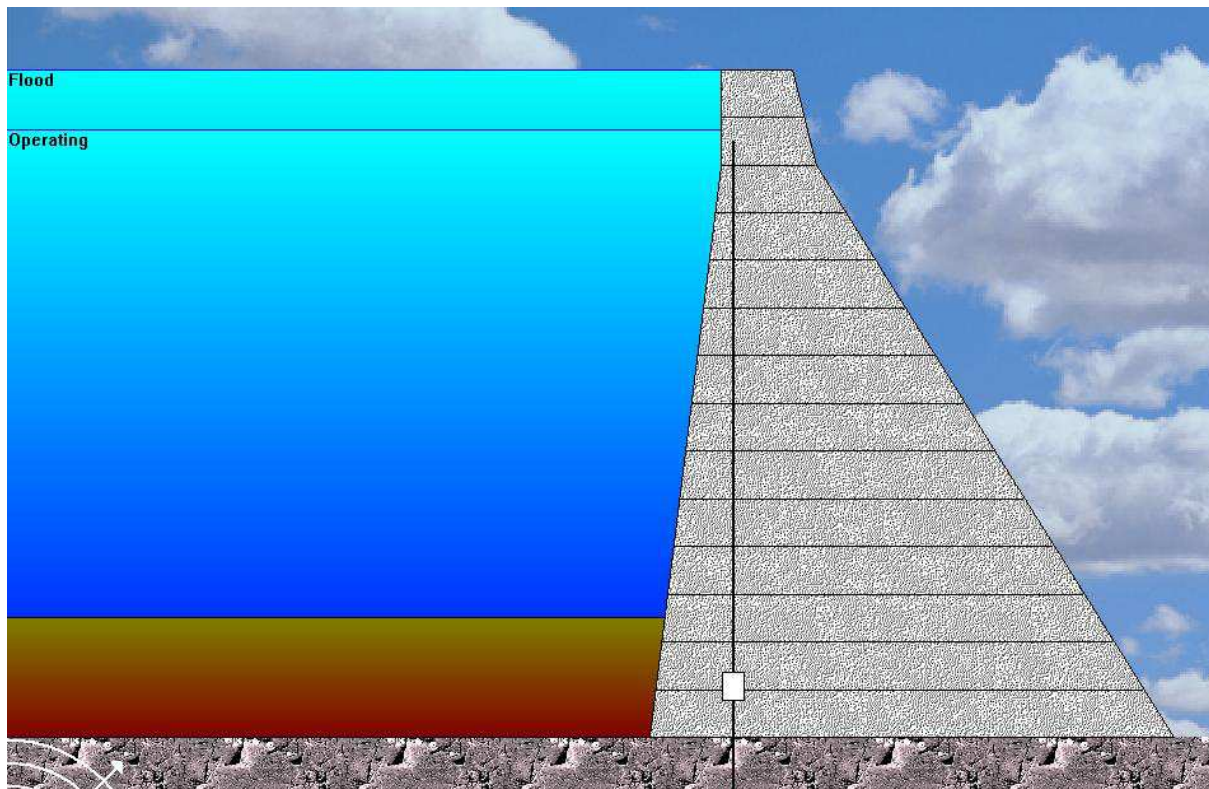
Naklon dolvodne strani:  $m = 0,784$

Naklon zgornjega dela pregrade:  $m = 0,25$



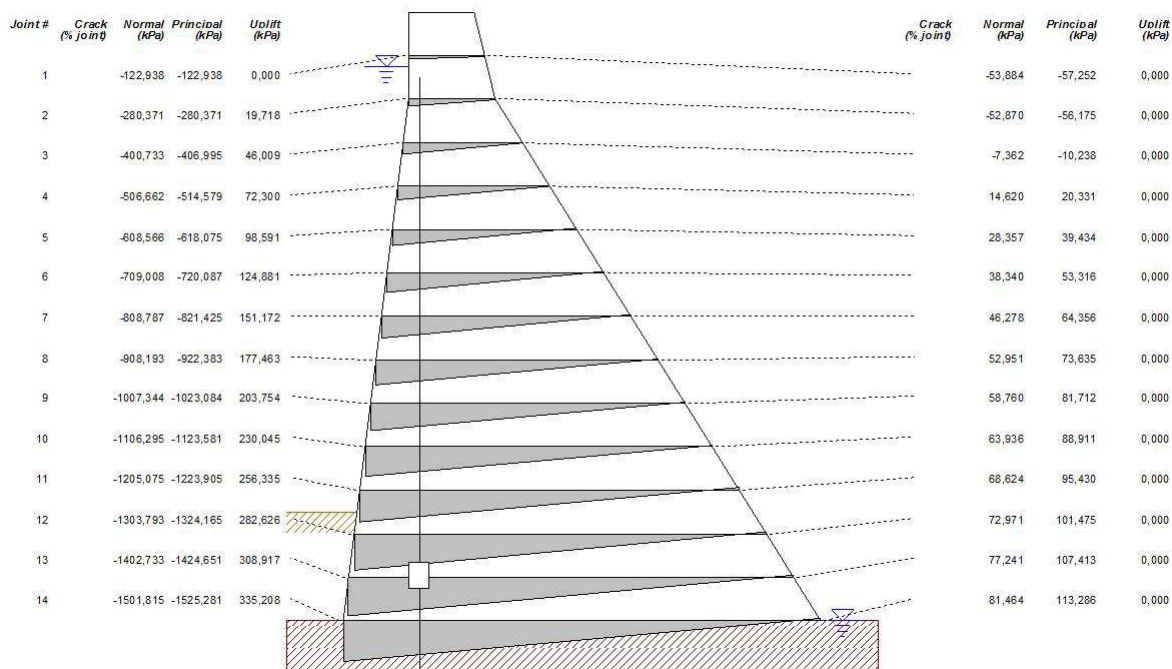
Slika 9: Končne dimenzije pregrade

Pri izjemni poplavni obtežbi rezultanta pade v jedro prereza pregrade (slika 8), pri izjemni potresni obtežbi 5 (slika 11) pa ne prihaja več do razpok. Rezultanta v jedru prereza je sicer zamaknjena nekoliko v levo (slika 12), kar pa še vedno zadovoljuje varnostne kriterije pregrade v tej obtežni kombinaciji.

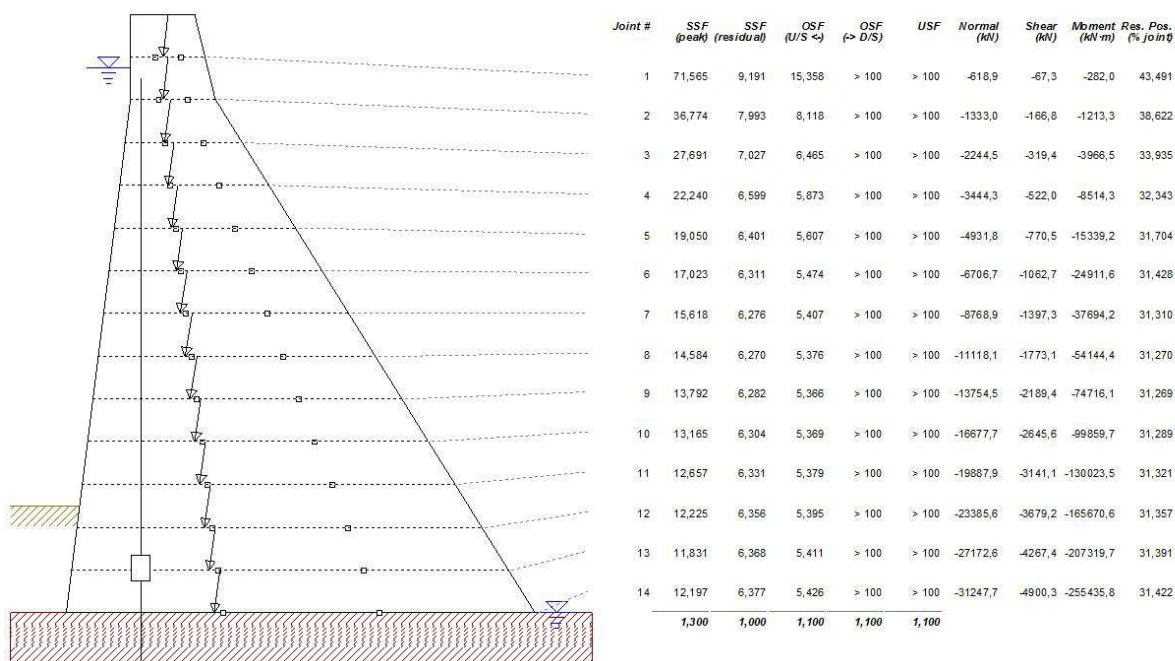


Slika 10: Končni izgled pregrade

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



Slika 11: Napetosti pri izjemni potresni kombinaciji 5

*Seismic #1 combination - Sustained accelerations (stability analysis) (stability analysis)*

Slika 12: Rezultanta napetosti pri izjemni kombinaciji 5

V preglednici 6 so prikazane vrednosti tlačnih in nateznih napetosti, ki delujejo na pregrado v primeru izjemne potresne obtežbe 5. Vidimo, da so natezne napetosti na dolvodni strani pregrade na začetku, ko gorvodni del in krona še nista bila v naklonu (slika 3), veliko večje kot pa na koncu, ko uvedemo določene ukrepe (slika 10).

Preglednica 7: Primerjava napetosti izjemne potresne kombinacije 5

| Lamela | Napetosti (kPa) |          |           |
|--------|-----------------|----------|-----------|
|        | Korak I         | Korak II | Korak III |
| 1      | -74,493         | -74,493  | -57,252   |
| 2      | -98,535         | -103,2   | -56,175   |
| 3      | 109,052         | 13,169   | -10,238   |
| 4      | 201,097         | 62,434   | 20,331    |
| 5      | 251,504         | 84,284   | 39,434    |
| 6      | 288,371         | 96,721   | 53,316    |
| 7      | 319,935         | 105,16   | 64,356    |
| 8      | 349,148         | 111,617  | 73,635    |
| 9      | 377,219         | 116,962  | 81,712    |
| 10     | 404,687         | 121,613  | 88,911    |
| 11     | 431,812         | 125,791  | 95,43     |
| 12     | 458,745         | 129,696  | 101,475   |
| 13     | 485,765         | 133,69   | 107,413   |
| 14     | 512,995         | 137,786  | 113,286   |

Pri izjemni potresni obtežni kombinaciji 4 (priloga A8, A10) vidimo, da rezultanta pade desno izven jedra prereza pregrade, vendar so vsi varnostni faktorji še vedno večji od 1, kar pomeni, da je pregrada stabilna.



## 7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem obravnavala pregrado, ki se bo zgradila kot rešitev projekta oskrbe s pitno vodo na območju Obale in na zalednem kraškem območju. Potok Suhorka je eden največjih pritokov reke Reke in glede na morfološke, hidrološke in geološke podatke tudi najbolj primeren za izgradnjo akumulacije.

Ker je temeljna podlaga iz fliša, ki ima dobre trdnostne karakteristike, smo imeli na izbiro gradnjo tako betonske kot nasute pregrade. Na podlagi stroškov, hitrosti gradnje in materiala smo se odločili za gradnjo pregrade iz valjanega betona, ki ga angleško imenujemo tudi roller compacted concrete – RCC.

Po tem ko smo izbrali material pregrade, sem naredila stabilnostne in napetostne analize v programu CADAM. Izkazalo se je, da predpostavljena geometrija pregrade, ne zadovoljuje vseh varnostnih kriterijev. Na dolvodni strani so se v primeru izjemne potresne obtežbe pojavile prevelike natezne napetosti in razpoke. Na podlagi podane višine pregrade sem izračunala nov naklon dolvodne strani pregrade, vendar so bile še vedno prisotne prevelike natezne napetosti na dolvodni strani. Da sem dosegla večjo stabilnost pregrade, sem tudi gorvodno stran postavila v naklonu. S tem ukrepom sem zmanjšala natezne napetosti ter nastanek razpok. Na koncu sem okrepila še krono pregrade in zgornji del pregrade zgradila v naklonu. Z novimi dimenzijami sem dosegla zahtevano varnost v vseh obtežnih primerih (1, 2, 3, 4 in 5).

## LITERATURA

Steinman, F., Banovec, P. 2004. Hidrotehnika: vodne zgradbe 1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Žarnič, R. 1999. Osnovne lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 124 str.

Rescher, O. 1965. Talsperrenstatik: Berechnung und Bemessung von Gewichtsstau Mauern. Berlin / Heidelberg / New York, Springer-Verlag: 103 str.

Nonveiller, E., 1983. Nasute brane; Projektiranje i građenje. Zagreb, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta građevinskih znanosti.

Krajnc, U., Somrak, D., Kryžanowski, A. 2010. Padež project: A case study of strategically planning of water resources for water supply. International Symposium: »Dams and Sustainable Water Resources Development«, Zbornik referatov, VNCOLD Hanoi, Topic 17.2, 15.

Kryžanowski, A., Kompare, B., Atanasova, N., Brilly, M., Uršič, M., Škerjanec, M., Rusjan, S., Čotar, A., Stojič, Z. 2003. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in kraškega zalednega območja. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko.

Krajnc, U., Kryžanowski, A., Ignjatović, M. 2007. Ekološko sprejemljiva pretoka rek Rižane in Reke: ključni element strategije dolgoročne slovenske oskrbe obale in zalednega kraškega območja s pitno vodo. V: 18 Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov: 116–123 str.

Brilly, M., Kompare, B., Kryžanowski, A., Rusjan, S. 2008. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja. V: 19. Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov: 184–195 str.

U.S. Army Corps of Engineers. 2000. Roller-Compacted Concrete: 1-1–2-3 str.

Le May, I. 2003. Roller-Compacted Concrete dams: state of the art and case histories. International commission on large dams: 89–102 str.

Hansen, K. D., Schrader, E., Cope, J. L., et. al. 1999. Roller-Compacted Mass Concrete. State of the Art on Concrete. ACI 207.5R-99: 4–12 str.

Somrak, D., Močnik, I., Brenčič, M. 2006. Tehnično poročilo: Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja – pregrada Padež/Suhorka. IBE, Ljubljana.

Leclerc, M., Leger, P. 2003. Computer aided stability analysis of gravity dams – CADAM. Advances in Engineering Software 34., 7: 403 – 420 str.

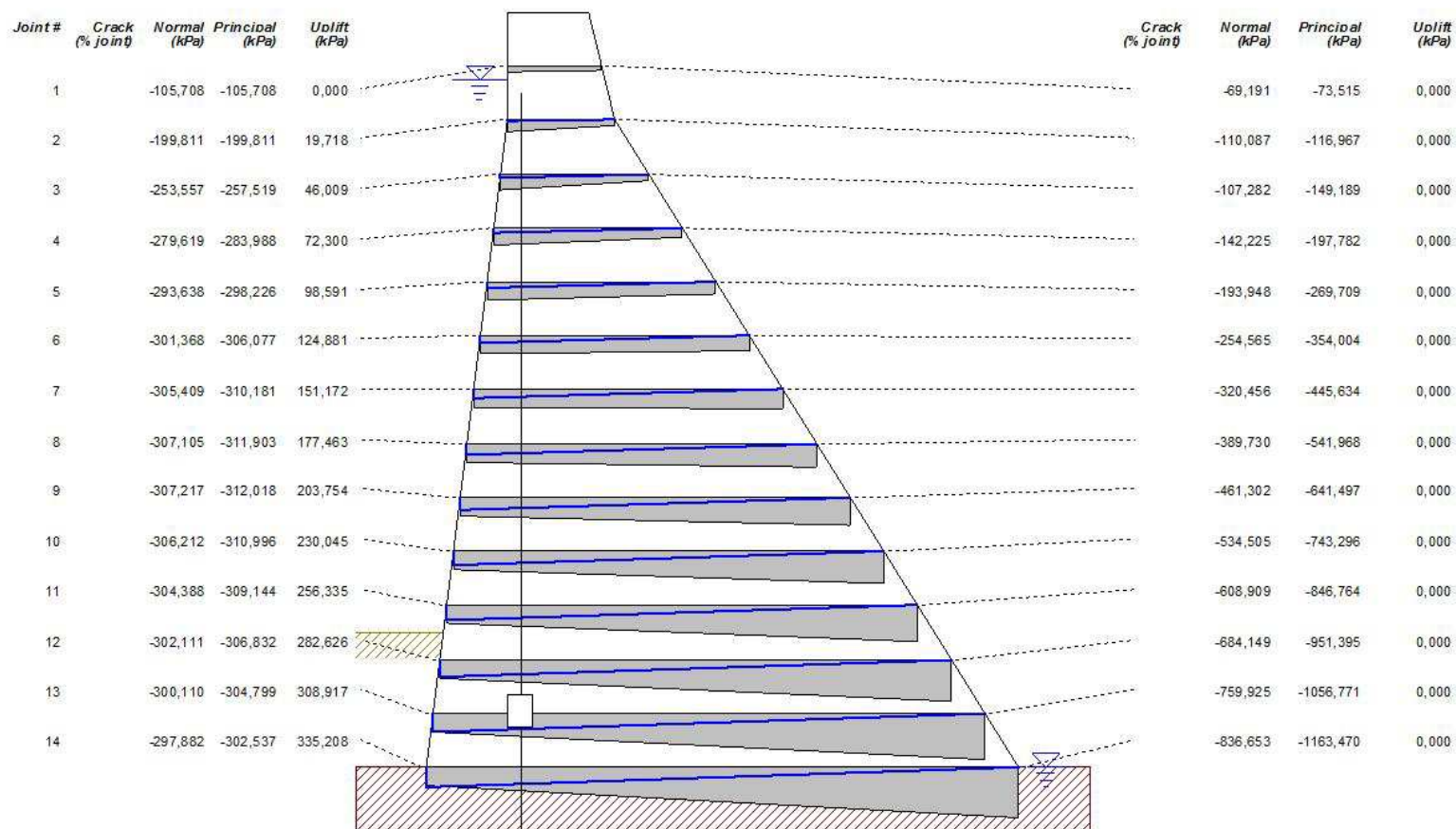


**PRILOGA A: IZRAČUNI PREGRADE S PROGRAMOM CADAM**



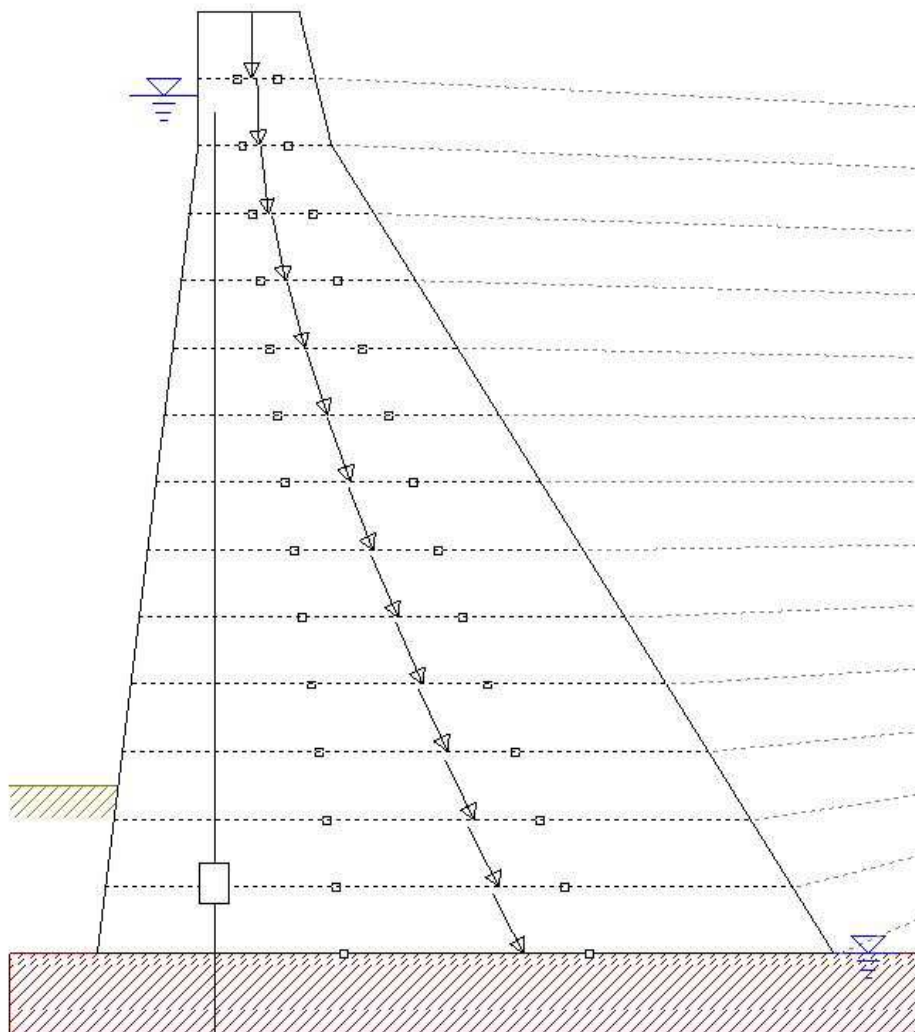
## PRILOGA A: IZRAČUNI PREGRADE S PROGRAMOM CADAM

A.1 Običajna obtežna kombinacija (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj): napetostna analiza

*Usual combination (effective stress analysis)*

A.2 Običajna obtežna kombinacija (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj): stabilnostna analiza

*Usual combination (stability analysis)*

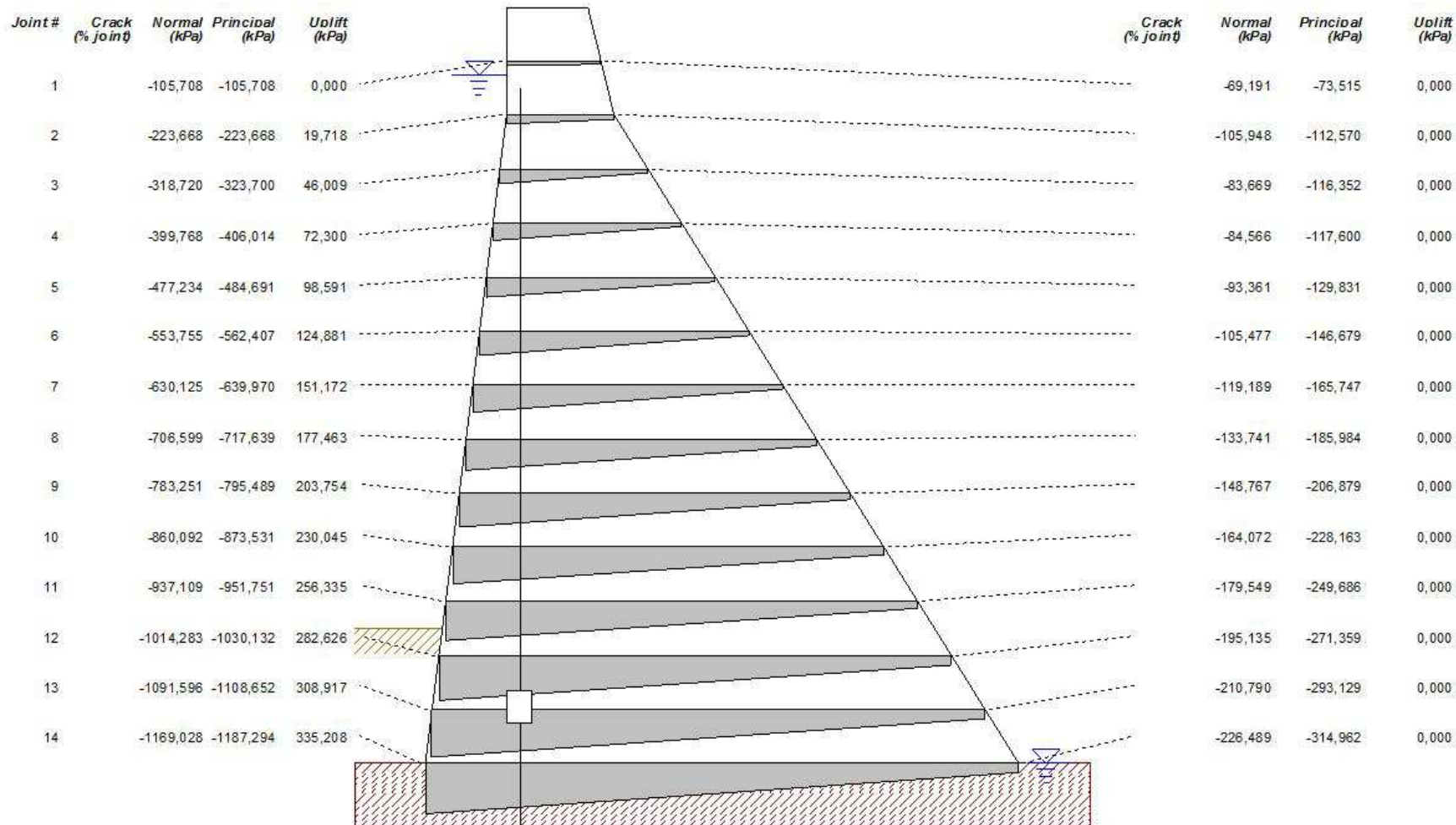


| Joint # | SSF (peak)   | SSF (residual) | OSF (U/S <-) | OSF (-> D/S) | USF          | Normal (kN) | Shear (kN) | Moment (kN·m) | Res. Pos. (% joint) |
|---------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------|---------------------|
| 1       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -612,1      | 0,0        | -149,1        | 46,520              |
| 2       | > 100        | 28,080         | 22,299       | 12,697       | 16,716       | -1239,6     | 44,1       | -478,5        | 45,175              |
| 3       | 35,718       | 8,257          | 11,175       | 6,127        | 8,843        | -1984,6     | 240,3      | -1474,9       | 43,244              |
| 4       | 19,129       | 4,975          | 8,802        | 4,321        | 6,835        | -2952,9     | 593,5      | -2244,1       | 44,572              |
| 5       | 12,998       | 3,755          | 7,913        | 3,506        | 5,946        | -4144,5     | 1103,6     | -2400,9       | 46,592              |
| 6       | 9,917        | 3,140          | 7,490        | 3,051        | 5,452        | -5559,3     | 1770,7     | -1560,1       | 48,597              |
| 7       | 8,092        | 2,774          | 7,260        | 2,764        | 5,140        | -7197,4     | 2594,7     | 663,3         | 50,401              |
| 8       | 6,896        | 2,533          | 7,123        | 2,567        | 4,927        | -9058,8     | 3575,7     | 4654,6        | 51,976              |
| 9       | 6,055        | 2,364          | 7,036        | 2,425        | 4,772        | -11143,5    | 4713,7     | 10798,7       | 53,342              |
| 10      | 5,434        | 2,239          | 6,978        | 2,317        | 4,655        | -13451,5    | 6008,6     | 19481,0       | 54,526              |
| 11      | 4,957        | 2,142          | 6,938        | 2,233        | 4,563        | -15982,7    | 7460,5     | 31086,5       | 55,557              |
| 12      | 4,577        | 2,065          | 6,910        | 2,166        | 4,490        | -18738,9    | 9076,2     | 45971,9       | 56,456              |
| 13      | 4,252        | 1,994          | 6,891        | 2,111        | 4,431        | -21730,7    | 10896,9    | 64412,5       | 57,230              |
| 14      | 3,846        | 1,930          | 6,880        | 2,066        | 4,385        | -24959,8    | 12929,5    | 86921,6       | 57,915              |
|         | <b>3,000</b> | <b>1,500</b>   | <b>1,200</b> | <b>1,200</b> | <b>1,200</b> |             |            |               |                     |



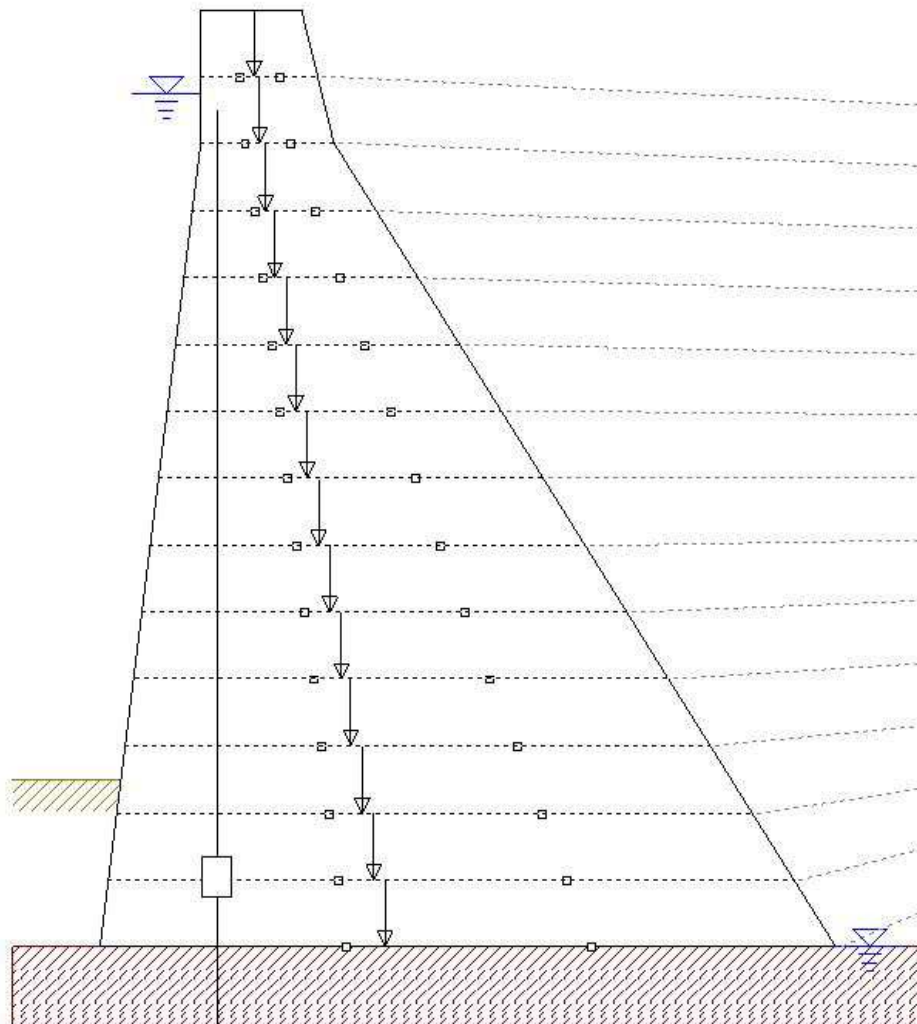
A.3 Običajna obtežna kombinacija (lastna teža): napetostna analiza

*Usual combination (effective stress analysis)*



A.4 Običajna obtežna kombinacija (lastna teža): stabilnostna analiza

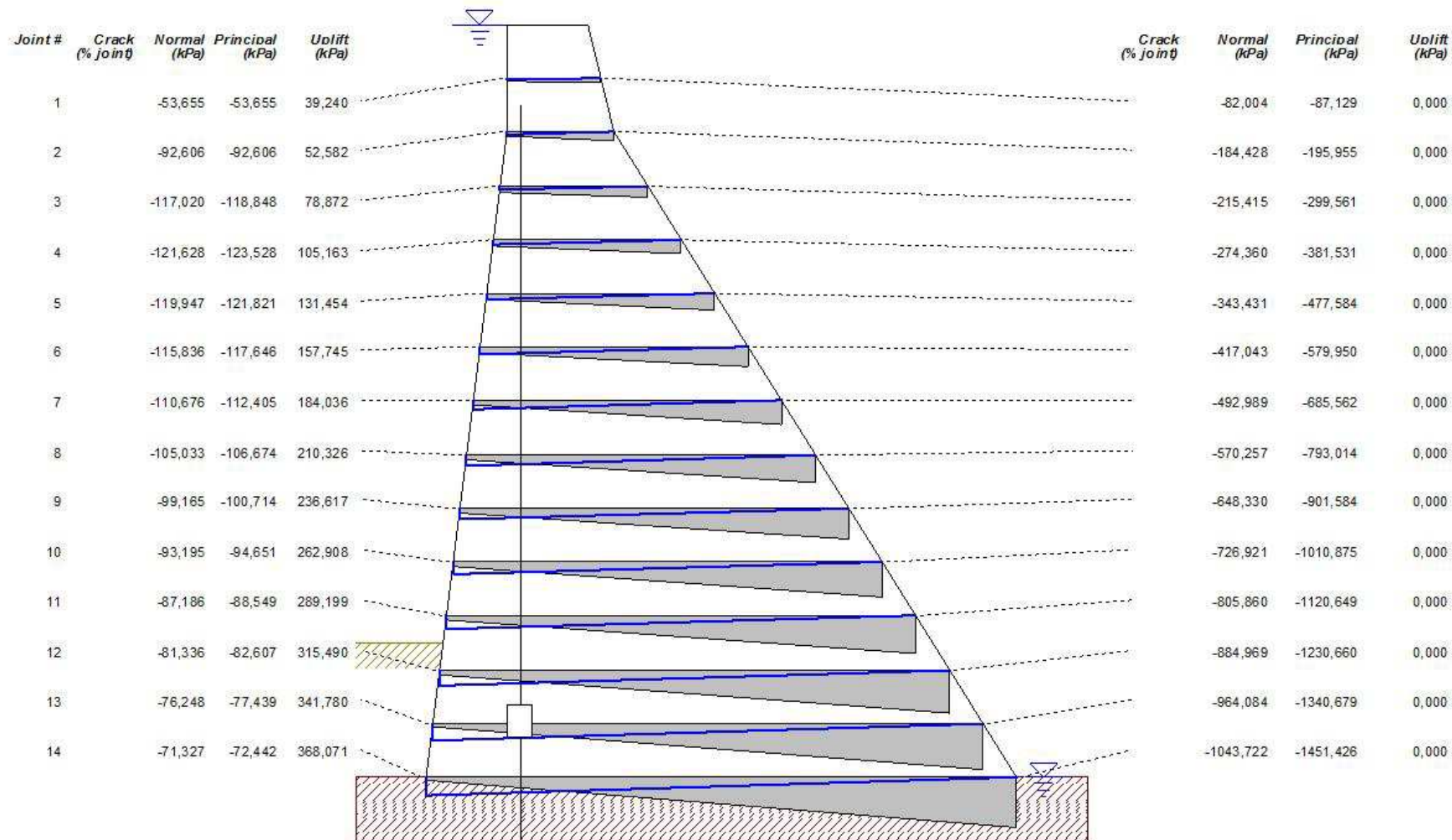
*Usual combination (stability analysis)*



| Joint # | SSF (peak)   | SSF (residual) | OSF (U/S <-) | OSF (-> D/S) | USF          | Normal (kN) | Shear (kN) | Moment (kN·m) | Res. Pos. (% joint) |
|---------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------|---------------------|
| 1       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -612,1      | 0,0        | -149,1        | 46,520              |
| 2       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -1318,5     | 0,0        | -627,8        | 44,048              |
| 3       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -2213,1     | 0,0        | -2370,1       | 40,264              |
| 4       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -3390,3     | 0,0        | -5148,3       | 39,153              |
| 5       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -4850,1     | 0,0        | -9244,9       | 38,787              |
| 6       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -6592,3     | 0,0        | -14942,6      | 38,667              |
| 7       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -8617,1     | 0,0        | -22523,8      | 38,635              |
| 8       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -10924,4    | 0,0        | -32271,0      | 38,638              |
| 9       | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -13514,3    | 0,0        | -44466,8      | 38,654              |
| 10      | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -16386,6    | 0,0        | -59393,7      | 38,673              |
| 11      | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -19541,5    | 0,0        | -77334,2      | 38,693              |
| 12      | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -22978,9    | 0,0        | -98570,9      | 38,712              |
| 13      | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -26698,9    | 0,0        | -123386,3     | 38,728              |
| 14      | > 100        | > 100          | > 100        | > 100        | > 100        | -30701,4    | 0,0        | -152062,8     | 38,743              |
|         | <b>3,000</b> | <b>1,500</b>   | <b>1,200</b> | <b>1,200</b> | <b>1,200</b> |             |            |               |                     |

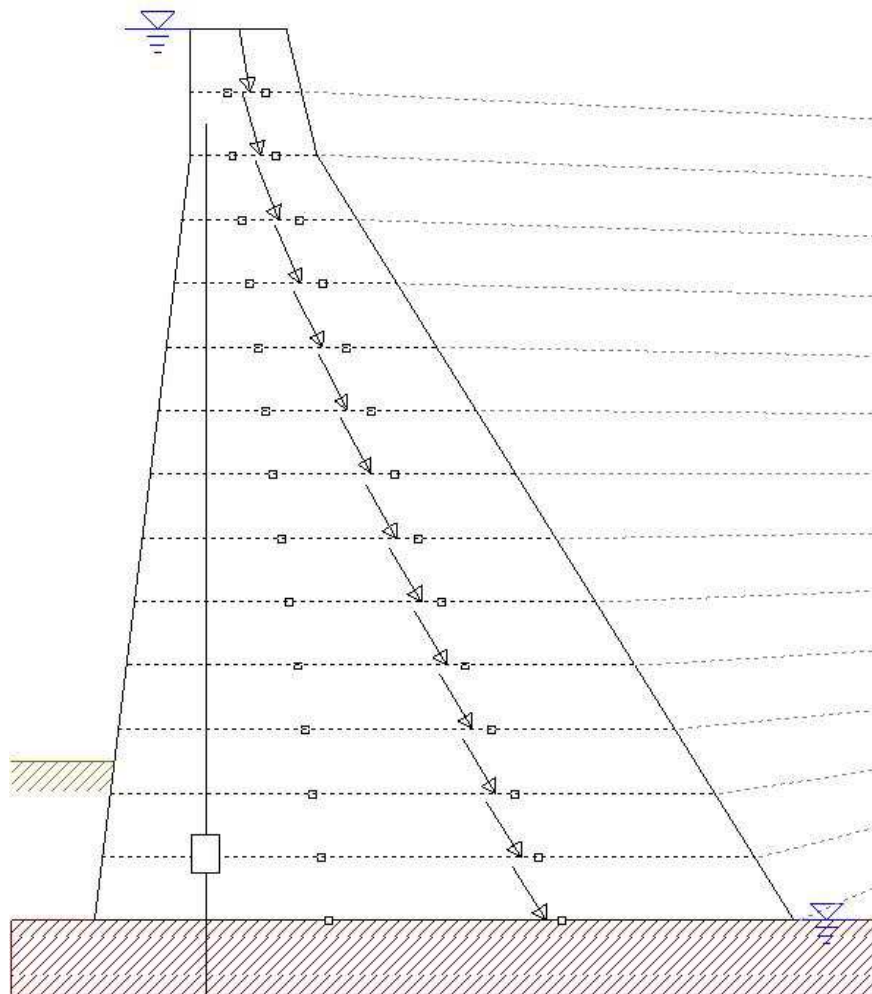
A.5 Izjemna obtežba v primeru poplave (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj): napetostna analiza

***Flood combination (effective stress analysis)***



A.6 Izjemna obtežba v primeru poplave (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj): stabilnostna analiza

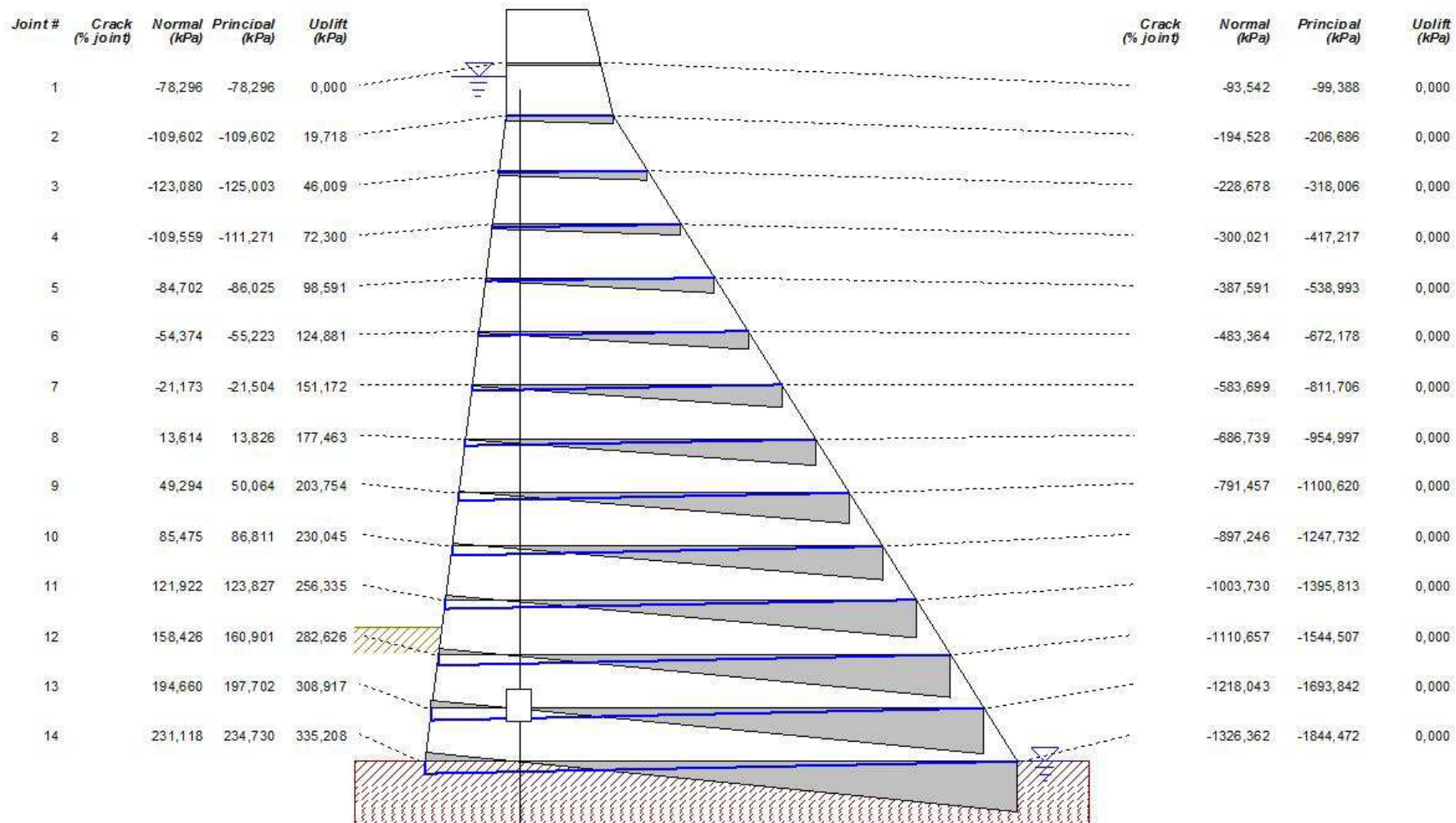
*Flood combination (stability analysis)*



| Joint # | SSF (peak)   | SSF (residual) | OSF (U/S <-) | OSF (-> D/S) | USF          | Normal (kN) | Shear (kN) | Moment (kN·m) | Res. Pos. (% joint) |
|---------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------|---------------------|
| 1       | 59,567       | 6,050          | 6,547        | 3,074        | 4,457        | -474,8      | 78,5       | 115,8         | 53,483              |
| 2       | 18,821       | 3,530          | 9,776        | 3,013        | 6,269        | -1108,1     | 313,9      | 489,7         | 55,524              |
| 3       | 11,933       | 2,589          | 7,946        | 2,509        | 5,215        | -1828,4     | 706,3      | 992,2         | 54,933              |
| 4       | 8,897        | 2,207          | 7,374        | 2,246        | 4,765        | -2771,9     | 1255,7     | 2494,6        | 56,428              |
| 5       | 7,206        | 2,008          | 7,138        | 2,091        | 4,525        | -3938,7     | 1962,0     | 5382,3        | 58,038              |
| 6       | 6,133        | 1,886          | 7,022        | 1,991        | 4,378        | -5328,8     | 2825,3     | 10040,2       | 59,421              |
| 7       | 5,394        | 1,805          | 6,959        | 1,922        | 4,280        | -6942,1     | 3845,5     | 16853,6       | 60,555              |
| 8       | 4,854        | 1,748          | 6,922        | 1,871        | 4,211        | -8778,8     | 5022,7     | 26207,6       | 61,482              |
| 9       | 4,442        | 1,705          | 6,899        | 1,832        | 4,159        | -10838,7    | 6356,9     | 38487,3       | 62,245              |
| 10      | 4,118        | 1,672          | 6,884        | 1,802        | 4,119        | -13121,9    | 7848,0     | 54078,0       | 62,879              |
| 11      | 3,857        | 1,646          | 6,875        | 1,778        | 4,088        | -15628,3    | 9496,1     | 73364,6       | 63,412              |
| 12      | 3,640        | 1,624          | 6,868        | 1,758        | 4,063        | -18359,8    | 11308,0    | 96703,8       | 63,861              |
| 13      | 3,447        | 1,601          | 6,865        | 1,742        | 4,044        | -21326,8    | 13324,9    | 124371,0      | 64,224              |
| 14      | 3,151        | 1,577          | 6,865        | 1,729        | 4,029        | -24531,1    | 15553,7    | 156879,7      | 64,534              |
|         | <b>2,000</b> | <b>1,300</b>   | <b>1,100</b> | <b>1,100</b> | <b>1,100</b> |             |            |               |                     |

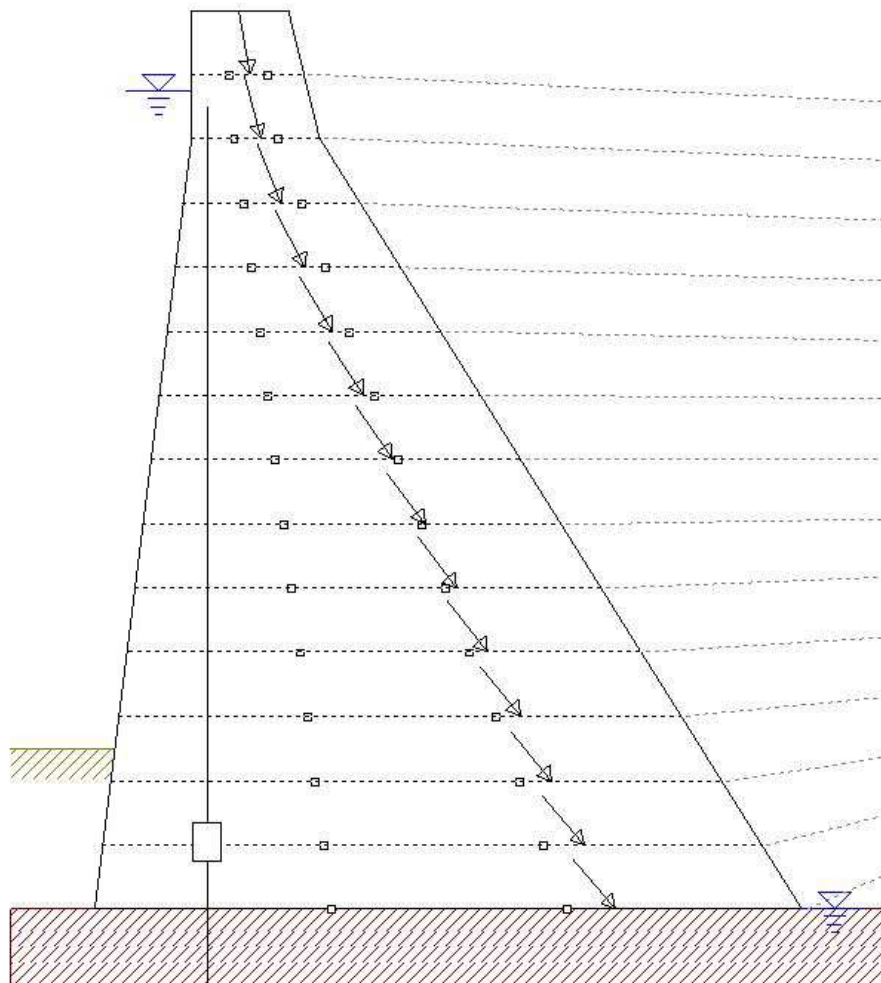
A.7 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj + vertikalna potresna obtežb + horizontalna potresna obtežba): napetostna analiza

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



A.8 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj + vertikalna potresna obtežb + horizontalna potresna obtežba): stabilnostna analiza

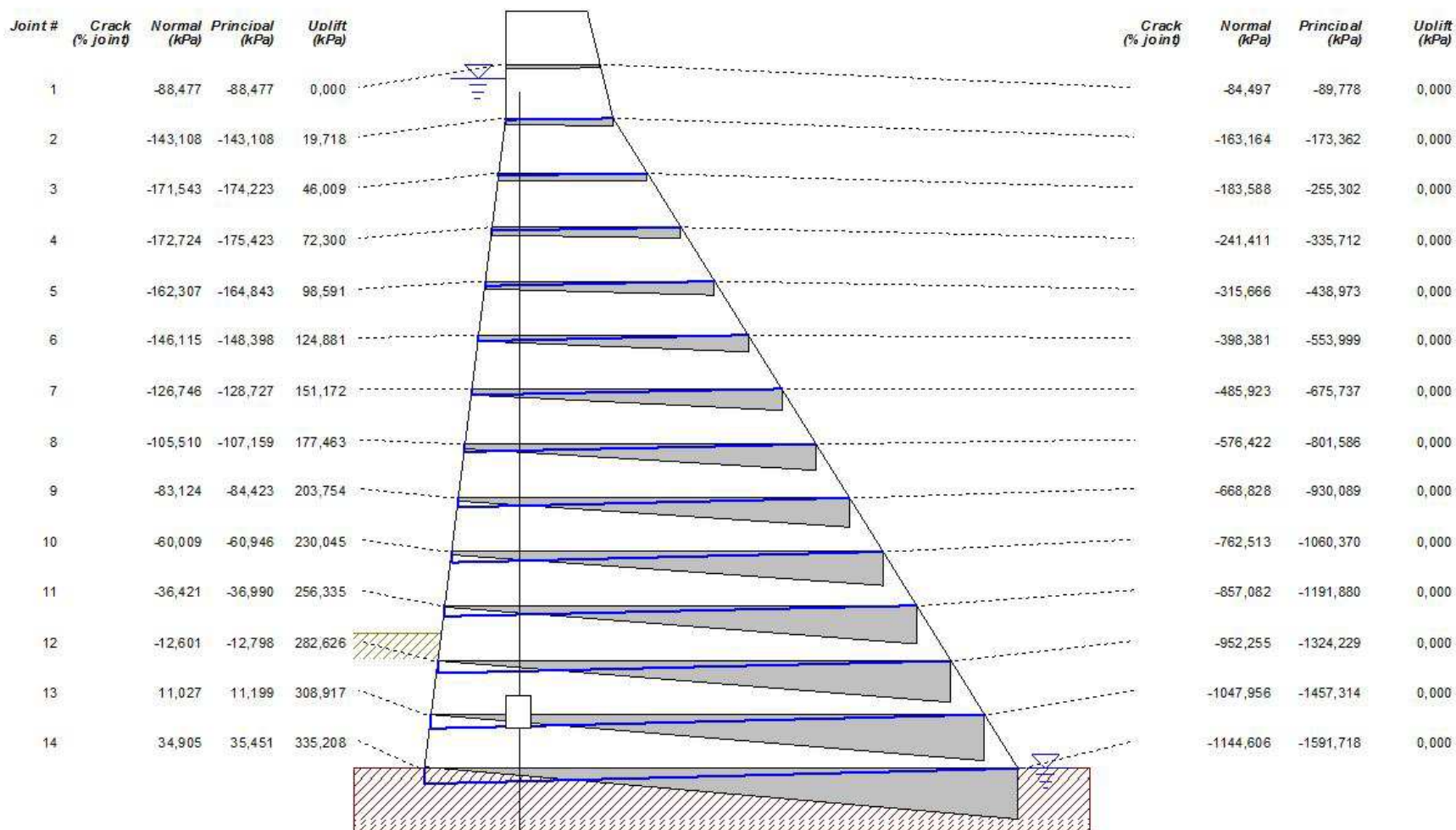
***Seismic #1 combination - Peak accelerations (stress analysis) (stability analysis)***



| Joint # | SSF<br>(peak) | SSF<br>(residual) | OSF<br>(U/S ←) | OSF<br>(→ D/S) | USF          | Normal<br>(kN) | Shear<br>(kN) | Moment<br>(kN·m) | Res. Pos.<br>(% joint) |
|---------|---------------|-------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|------------------|------------------------|
| 1       | 44,821        | 5,614             | 63,127         | 9,208          | 57,143       | -601,4         | 107,1         | 62,3             | 51,479                 |
| 2       | 19,441        | 3,931             | 19,239         | 3,965          | 12,933       | -1216,5        | 309,5         | 452,9            | 54,654                 |
| 3       | 11,403        | 2,585             | 11,622         | 2,831          | 7,385        | -1934,7        | 748,5         | 1064,8           | 55,003                 |
| 4       | 7,913         | 2,013             | 9,589          | 2,319          | 5,843        | -2867,1        | 1423,9        | 3110,9           | 57,750                 |
| 5       | 6,102         | 1,723             | 8,759          | 2,039          | 5,147        | -4014,5        | 2329,4        | 7294,6           | 60,689                 |
| 6       | 5,020         | 1,554             | 8,339          | 1,867          | 4,758        | -5377,4        | 3461,4        | 14299,7          | 63,296                 |
| 7       | 4,308         | 1,444             | 8,097          | 1,751          | 4,513        | -6956,0        | 4817,7        | 24798,0          | 65,500                 |
| 8       | 3,759         | 1,368             | 7,944          | 1,670          | 4,346        | -8750,6        | 6396,6        | 39453,2          | 67,341                 |
| 9       | 3,311         | 1,313             | 7,841          | 1,609          | 4,225        | -10761,4       | 8196,9        | 58922,6          | 68,881                 |
| 10      | 2,987         | 1,271             | 7,767          | 1,562          | 4,134        | -12988,3       | 10217,5       | 83858,8          | 70,176                 |
| 11      | 2,742         | 1,239             | 7,712          | 1,526          | 4,064        | -15431,6       | 12457,7       | 114910,4         | 71,275                 |
| 12      | 2,548         | 1,212             | 7,670          | 1,496          | 4,007        | -18092,4       | 14929,4       | 152713,0         | 72,212                 |
| 13      | 2,385         | 1,186             | 7,638          | 1,472          | 3,961        | -20979,4       | 17685,9       | 197896,2         | 73,007                 |
| 14      | 2,271         | 1,163             | 7,616          | 1,452          | 3,925        | -24095,4       | 20725,4       | 251273,5         | 73,701                 |
|         | <b>1,300</b>  | <b>1,000</b>      | <b>1,100</b>   | <b>1,100</b>   | <b>1,100</b> |                |               |                  |                        |

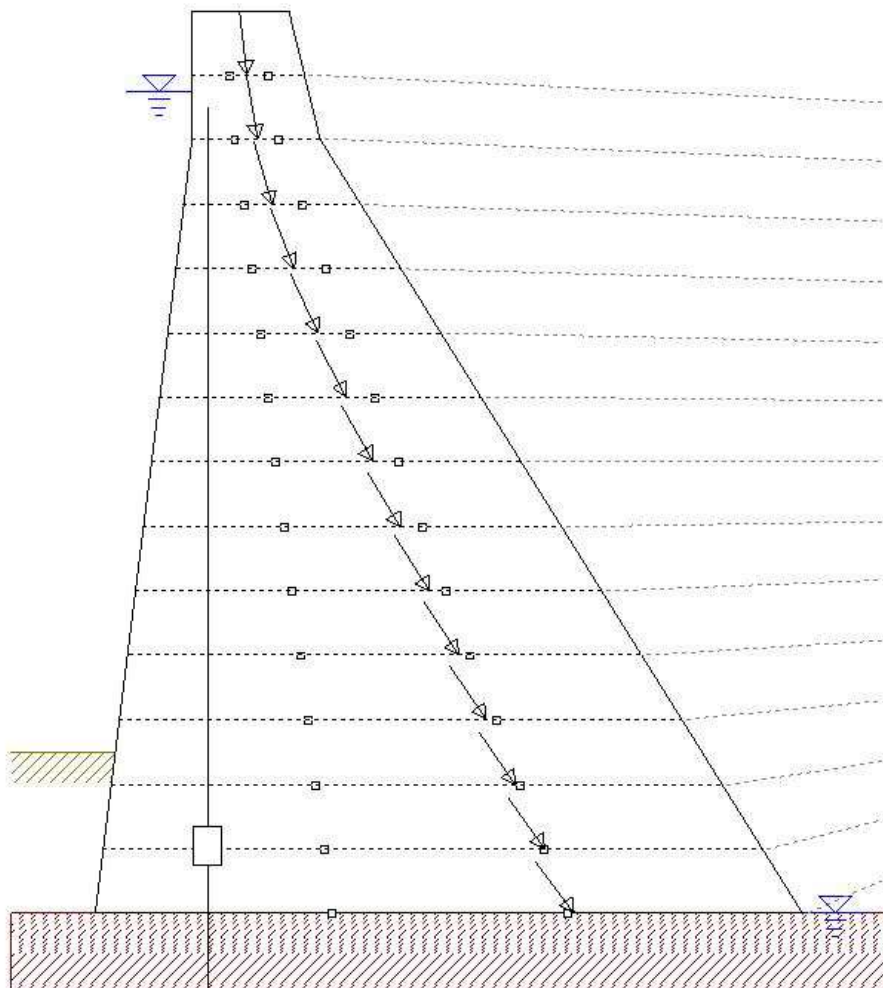
A.9 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj + vertikalna potresna obtežb + horizontalna potresna obtežba): napetostna analiza

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



A.10 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + hidrostatični pritisk + vzgonski pritisk + mulj + vertikalna potresna obtežb + horizontalna potresna obtežba): stabilnostna analiza

***Seismic #1 combination - Sustained accelerations (stability analysis) (stability analysis)***

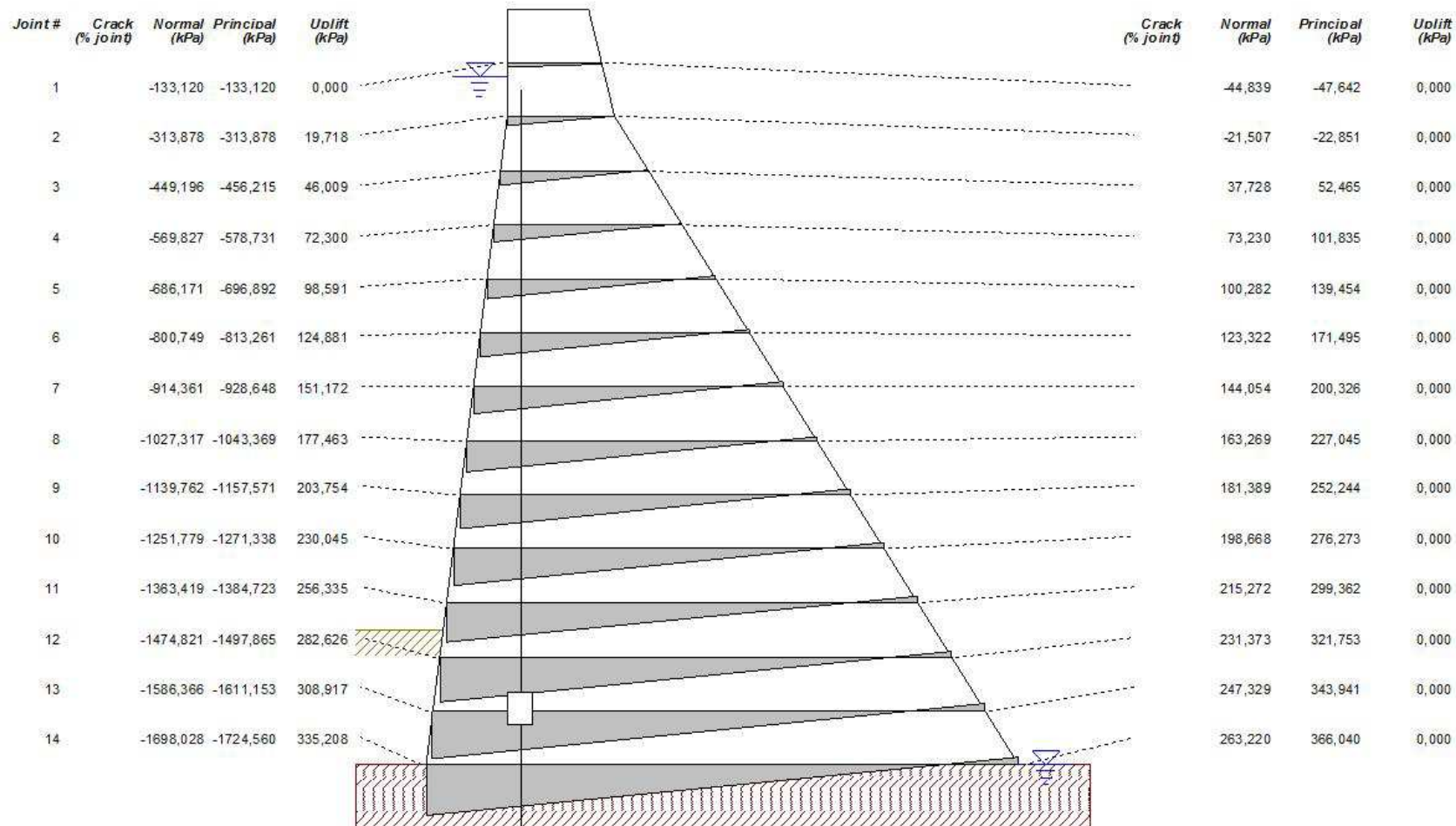


| Joint # | SSF (peak)   | SSF (residual) | OSF (U/S <-) | OSF (<- D/S) | USF          | Normal (kN) | Shear (kN) | Moment (kN·m) | Res. Pos. (% joint) |
|---------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------|---------------------|
| 1       | 71,365       | 8,991          | 96,893       | 14,650       | 90,909       | -605,4      | 67,3       | -16,3         | 49,616              |
| 2       | 28,566       | 5,808          | 20,153       | 5,325        | 14,120       | -1225,1     | 210,9      | 107,0         | 51,091              |
| 3       | 15,281       | 3,489          | 11,473       | 3,538        | 7,867        | -1953,2     | 559,7      | 121,5         | 50,565              |
| 4       | 10,129       | 2,599          | 9,321        | 2,801        | 6,176        | -2898,9     | 1115,5     | 1121,9        | 52,764              |
| 5       | 7,610        | 2,168          | 8,467        | 2,414        | 5,417        | -4062,8     | 1874,1     | 3693,4        | 55,348              |
| 6       | 6,157        | 1,922          | 8,045        | 2,181        | 4,994        | -5445,0     | 2833,4     | 8408,9        | 57,722              |
| 7       | 5,222        | 1,765          | 7,806        | 2,027        | 4,727        | -7045,7     | 3992,0     | 15833,7       | 59,771              |
| 8       | 4,574        | 1,657          | 7,658        | 1,919        | 4,545        | -8865,1     | 5348,8     | 26528,0       | 61,509              |
| 9       | 4,100        | 1,579          | 7,559        | 1,839        | 4,413        | -10903,3    | 6903,1     | 41048,1       | 62,982              |
| 10      | 3,739        | 1,521          | 7,491        | 1,777        | 4,313        | -13160,4    | 8654,2     | 59947,1       | 64,235              |
| 11      | 3,456        | 1,475          | 7,441        | 1,729        | 4,236        | -15636,3    | 10601,6    | 83775,8       | 65,308              |
| 12      | 3,225        | 1,437          | 7,403        | 1,690        | 4,174        | -18332,3    | 12755,4    | 113071,7      | 66,231              |
| 13      | 3,007        | 1,402          | 7,376        | 1,658        | 4,123        | -21257,0    | 15164,3    | 148345,9      | 67,021              |
| 14      | 2,724        | 1,369          | 7,358        | 1,632        | 4,082        | -24413,4    | 17829,8    | 190294,6      | 67,715              |
|         | <b>1,300</b> | <b>1,000</b>   | <b>1,100</b> | <b>1,100</b> | <b>1,100</b> |             |            |               |                     |



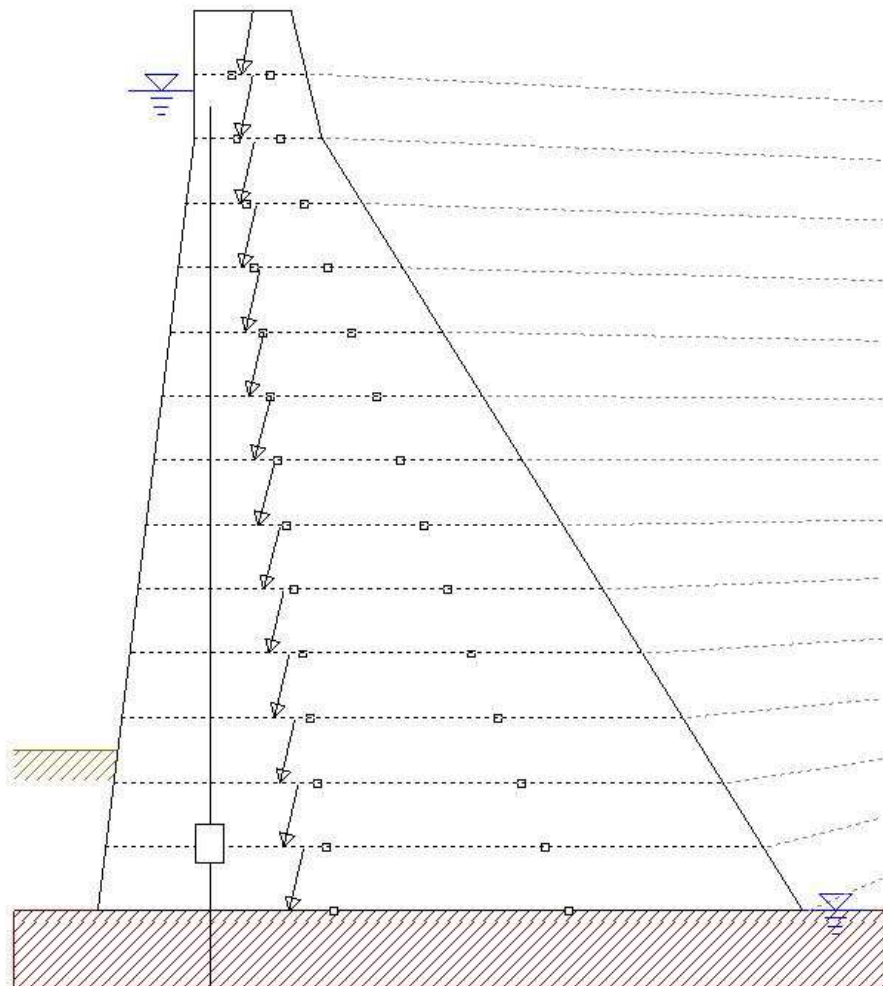
A.11 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + vertikalna potresna obtežba + horizontalna potresna obtežba): napetostna analiza

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



A.12 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + vertikalna potresna obtežb + horizontalna potresna obtežba): stabilnostna analiza

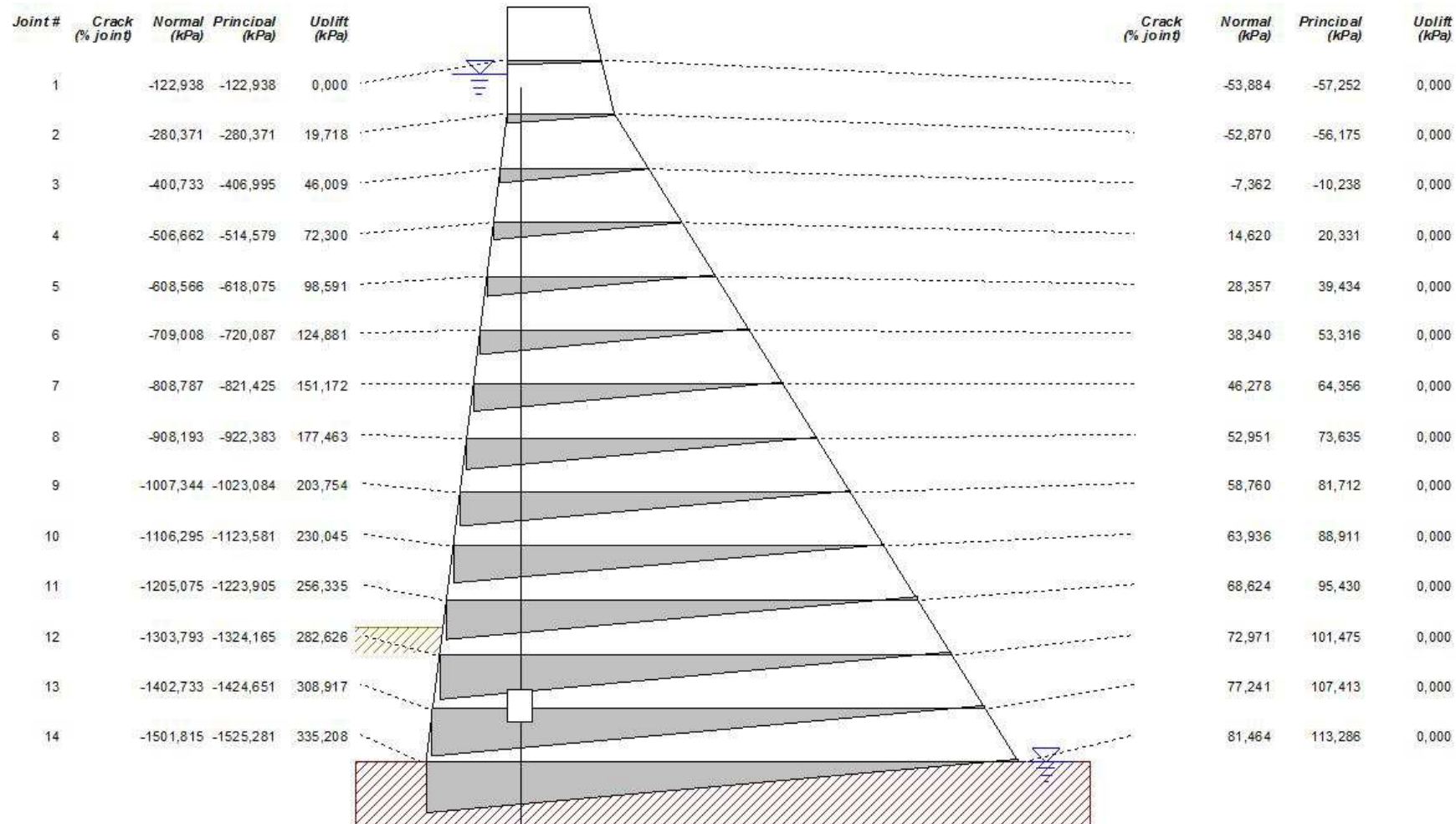
***Seismic #1 combination - Peak accelerations (stress analysis) (stability analysis)***



| Joint # | SSF<br>(peak) | SSF<br>(residual) | OSF<br>(U/S <-) | OSF<br>(-> D/S) | USF          | Normal<br>(kN) | Shear<br>(kN) | Moment<br>(kN m) | Res. Pos.<br>(% joint) |
|---------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|---------------|------------------|------------------------|
| 1       | 45,021        | 5,814             | 9,716           | > 100           | > 100        | -622,9         | -107,1        | -360,5           | 41,732                 |
| 2       | 23,147        | 5,056             | 5,136           | > 100           | > 100        | -1341,5        | -265,3        | -1559,3          | 35,471                 |
| 3       | 16,436        | 4,454             | 4,090           | > 100           | > 100        | -2263,1        | -508,1        | -4909,8          | 30,277                 |
| 4       | 13,150        | 4,186             | 3,716           | > 100           | > 100        | -3476,2        | -830,4        | -10503,3         | 28,418                 |
| 5       | 11,323        | 4,063             | 3,548           | > 100           | > 100        | -4980,1        | -1225,8       | -18940,4         | 27,628                 |
| 6       | 10,157        | 4,007             | 3,464           | > 100           | > 100        | -6774,3        | -1690,7       | -30802,4         | 27,265                 |
| 7       | 9,348         | 3,985             | 3,422           | > 100           | > 100        | -8858,5        | -2222,9       | -46658,5         | 27,100                 |
| 8       | 8,754         | 3,982             | 3,403           | > 100           | > 100        | -11232,6       | -2820,8       | -67069,6         | 27,035                 |
| 9       | 8,299         | 3,990             | 3,396           | > 100           | > 100        | -13896,4       | -3483,2       | -92590,7         | 27,024                 |
| 10      | 7,940         | 4,003             | 3,398           | > 100           | > 100        | -16849,8       | -4208,9       | -123771,5        | 27,045                 |
| 11      | 7,650         | 4,021             | 3,405           | > 100           | > 100        | -20092,6       | -4997,2       | -161158,0        | 27,084                 |
| 12      | 7,403         | 4,036             | 3,415           | > 100           | > 100        | -23625,5       | -5853,2       | -205311,9        | 27,131                 |
| 13      | 7,178         | 4,043             | 3,425           | > 100           | > 100        | -27450,3       | -6789,0       | -256870,0        | 27,176                 |
| 14      | 7,648         | 4,049             | 3,434           | > 100           | > 100        | -31565,8       | -7795,9       | -316414,7        | 27,218                 |
|         | <b>1,300</b>  | <b>1,000</b>      | <b>1,100</b>    | <b>1,100</b>    | <b>1,100</b> |                |               |                  |                        |

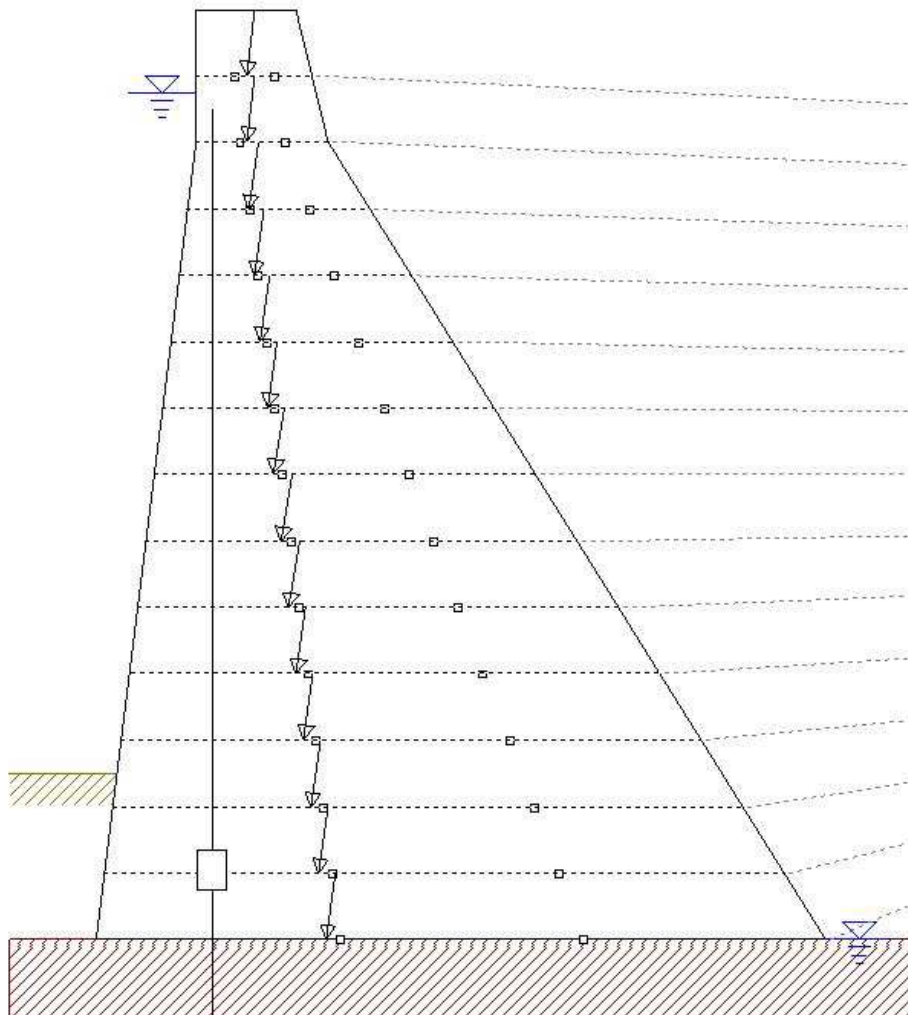
A.13 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + vertikalna potresna obtežba + horizontalna potresna obtežba): napetostna analiza

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



A.14 Izjemna obtežba v primeru potresa (lastna teža + vertikalna potresna obtežb + horizontalna potresna obtežba): stabilnostna analiza

***Seismic #1 combination - Sustained accelerations (stability analysis) (stability analysis)***



| Joint # | SSF<br>(peak) | SSF<br>(residual) | OSF<br>(U/S ←) | OSF<br>(→ D/S) | USF          | Normal<br>(kN) | Shear<br>(kN) | Moment<br>(kN·m) | Res. Pos.<br>(% joint) |
|---------|---------------|-------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|------------------|------------------------|
| 1       | 71,565        | 9,191             | 15,358         | > 100          | > 100        | -618,9         | -67,3         | -282,0           | 43,491                 |
| 2       | 36,774        | 7,993             | 8,118          | > 100          | > 100        | -1333,0        | -166,8        | -1213,3          | 38,622                 |
| 3       | 27,691        | 7,027             | 6,465          | > 100          | > 100        | -2244,5        | -319,4        | -3966,5          | 33,935                 |
| 4       | 22,240        | 6,599             | 5,873          | > 100          | > 100        | -3444,3        | -522,0        | -8514,3          | 32,343                 |
| 5       | 19,050        | 6,401             | 5,607          | > 100          | > 100        | -4931,8        | -770,5        | -15339,2         | 31,704                 |
| 6       | 17,023        | 6,311             | 5,474          | > 100          | > 100        | -6706,7        | -1062,7       | -24911,6         | 31,428                 |
| 7       | 15,618        | 6,276             | 5,407          | > 100          | > 100        | -8768,9        | -1397,3       | -37694,2         | 31,310                 |
| 8       | 14,584        | 6,270             | 5,376          | > 100          | > 100        | -11118,1       | -1773,1       | -54144,4         | 31,270                 |
| 9       | 13,792        | 6,282             | 5,366          | > 100          | > 100        | -13754,5       | -2189,4       | -74716,1         | 31,269                 |
| 10      | 13,165        | 6,304             | 5,369          | > 100          | > 100        | -16677,7       | -2645,6       | -99859,7         | 31,289                 |
| 11      | 12,657        | 6,331             | 5,379          | > 100          | > 100        | -19887,9       | -3141,1       | -130023,5        | 31,321                 |
| 12      | 12,225        | 6,356             | 5,395          | > 100          | > 100        | -23385,6       | -3679,2       | -165670,6        | 31,357                 |
| 13      | 11,831        | 6,368             | 5,411          | > 100          | > 100        | -27172,6       | -4267,4       | -207319,7        | 31,391                 |
| 14      | 12,197        | 6,377             | 5,426          | > 100          | > 100        | -31247,7       | -4900,3       | -255435,8        | 31,422                 |
|         | <b>1,300</b>  | <b>1,000</b>      | <b>1,100</b>   | <b>1,100</b>   | <b>1,100</b> |                |               |                  |                        |

