

UNIVERZITET U BEOGRADU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
ODSEK ZA KONSTRUKCIJE

Anna Ingaitsa Muganda

ANALIZA OPŠTE STABILNOSTI I  
SEIZMIČKI PRORAČUN PRELIVNE  
BRANE TARZOUT

master rad

Beograd, 2017.

---

UNIVERZITET U BEOGRADU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
ODSEK ZA KONSTRUKCIJE

Anna Ingaitsa Muganda

**ANALIZA OPŠTE STABILNOSTI I  
SEIZMIČKI PRORAČUN PRELIVNE  
BRANE TARZOUT**

master rad

Beograd, 2017

---



ПРЕДМЕТ: ХИДРОТЕХНИЧКЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

### ЗАДАТАК ЗА МАСТЕР РАД

Кандидат: ANNA MUGANDA

Број индекса: 524/16

Тема: **АНАЛИЗА ОПШТЕ СТАБИЛНОСТИ И СЕИЗМИЧКИ  
ПРОРАЧУНИ ПРЕЛИВНЕ БРАНЕ „ТАРЗУТ“**

САДРЖАЈ: На реци Тарзут у Алжиру, пројектује се насута брана "Тарзут" са преливом од класичног хидротехничког бетона. На нивоу генералног пројекта, за преливни део бране, са преливом типа „Piano Key“, урадити прорачун опште стабилности. Одредити стање напона у телу бране. Урадити прорачун и димензионисање зида слапишта, узимајући у обзир утицај земљотреса и динамички притисак воде. Користити метод коначних елемената и програмски пакет „Tower“.

Рад треба да садржи:

- технички извештај;
- прорачун опште стабилности;
- сеизмичке прорачуне;
- прорачун стања напона;
- поређење резултата прорачуна;
- прорачун и димензионисање зида слапишта;
- диспозицију и карактеристичне пресеке;
- оријентациони предмер и предрачун радова.

Кандидат ће користити стварне топографске, геолошко-геомеханичке и хидролошке подлоге, урађене за потребе пројекта бране "Тарзут", "Енегопројект-Хидроинжењеринг".

Рок израде: 15 недеља од дана пријема задатка.

Датум издавања: 28. 6. 2017.

Рок за предају: 6. 10. 2017.

КАНДИДАТ

ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК

ШЕФ ОДСЕКА ЗА КОНСТРУКЦИЈЕ

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
1.1	PODLOGE ZA PROJEKTOVANJE .....	1
1.1.1	Hidrološke karakteristike sliva reke Tarzout .....	1
1.1.2	Topografske podloge .....	2
1.1.3	Geomorfologija .....	2
1.1.4	Geomehaničke karakteristike stene .....	2
2	TEHNIČKI IZVEŠTAJ .....	3
2.2	OSNOVNI PODACI O BRANI I AKUMULACIJI .....	3
2.2	OPIS BRANE .....	5
2.2.1	Telo brane .....	5
2.2.2	Injekcioni radovi .....	5
2.3	EVAKUACIJA VODE TOKOM GRAĐENJA .....	6
2.4	EVAKUACIJA VODE TOKOM EKSPLOATACIJE .....	7
2.5	OPŠTA STABILNOST .....	10
2.5.1	Opšta stabilnost prelivne lamele .....	10
2.5.2	Opšta stabilnost umirujućeg bazena .....	16
2.6	POMERANJA .....	17
2.7	PRORAČUN ZIDA SLAPIŠTA .....	19
2.8	PREDMER I PREDRAČUN ZA PRELIV I SLAPIŠTE .....	19
3	PRORAČUN OPŠTE STABILNOSTI PRELIVA .....	20
3.1	SADRŽAJ PRORAČUNA .....	20
3.1.1	Analiza opterećenja .....	20
3.1.2	Proračun sigurnosti protiv klizanja .....	21
3.1.3	Proračun sigurnosti protiv isplivavanja .....	23

---

3.1.4	Proračun sigurnosti protiv prevrtanja .....	24
3.1.5	Proračun napona u temeljnoj spojnici .....	25
3.2	REZULTATI PRORAČUNA .....	26
3.2.1.	Prva kombinacija opterećenja .....	27
3.2.2.	Druga kombinacija opterećenja .....	29
3.2.3.	Treća kombinacija opterećenja .....	43
3.2.3.	Četvrta kombinacija opterećenja .....	56
3.2.4.	Analiza dobijenih parametara opšte stabilnosti .....	88
4	OPŠTA STABILNOSTI SLAPIŠTA .....	91
5	POMERANJA TAČAKA NA PRELIVU .....	93
5.1	FOKTOV POSTUPAK .....	93
5.2	PRORAČUN POMERANJA .....	96
5.2.1.	Prva kombinacija opterećenja .....	97
5.2.2.	Druga kombinacija opterećenja .....	98
5.2.3.	Treća kombinacija opterećenja .....	101
5.2.3.	Četvrta kombinacija opterećenja .....	103
6	ZID SLAPIŠTA .....	111
6.1	PRORAČUN ARMATURE ZIDA SLAPIŠTA .....	111
6.1.1.	Prva kombinacija opterećenja .....	111
6.1.2.	Druga kombinacija opterećenja .....	112
7	PREDMER I PREDRAČUN.....	121
7.1	ZEMLJANI RADOVI .....	121
7.2	BETONSKI RADOVI .....	122
7.3	ARMIRAČKI RADOVI .....	122
8	LITERATURA .....	125
9	PRILOZI .....	126

---

---

## SPISAK SLIKA

Slika 1.1 : Sliv reke Tarzut sa mestima hidroloških i meteoroloških stanica .....	4
Slika 3.1 : Kontrola sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni...	21
Slika 3.2 : Kontrola sigurnosti protiv klizanja po kosoj kliznoj ravni .....	22
Slika 3.3: Kontrola sigurnosti protiv isplivavanja .....	23
Slika 3.4: Kontrola sigurnosti protiv prevrtanja .....	24
Slika 3.5: Kontrola napona u temeljnoj spojnici .....	25
Slika 3.6: Poprečni presek prelivne lamele .....	27
Slika 3.7: Geometrijski parametri prelivne lamele .....	28
Slika 3.8: Naponi u temeljnoj spojnici pri I kombinaciji opterećenja .....	29
Slika 3.9: Šema za II K.O. horizontalna klizna ravan - horizontalna filtracija ...	30
Slika 3.10: Šema za II K.O. horizontalna klizna ravan - kontaktna filtracija .....	32
Slika 3.11: Šema za II K.O. kosa klizna ravan - horizontalna filtracija .....	34
Slika 3.12: Šema za II K.O. kosa klizna ravan - kontaktna filtracija .....	35
Slika 3.13: Šema za II K.O. horizontalna temeljna ravan - horizontalna filtracija.....	40
Slika 3.14: Naponi u temeljnoj spojnici pri II kombinaciji opterećenja za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	41
Slika 3.15: Šema za II K.O. horizontalna temeljna ravan - kontaktna filtracija.....	42
Slika 3.16: Naponi u temeljnoj spojnici pri II kombinaciji opterećenja za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	43
Slika 3.17: Šema za III K.O. horizontalna klizna ravan - horizontalna filtracija .....	44
Slika 3.18: Šema za III K.O. horizontalna klizna ravan - kontaktna filtracija .....	46
Slika 3.19: Šema za III K.O. kosa klizna ravan - horizontalna filtracija .....	48
Slika 3.20: Šema za III K.O. kosa klizna ravan - kontaktna filtracija .....	49

Slika 3.21: Šema za III K.O. horizontalna temeljna ravan - horizontalna filtracija.....	53
Slika 3.22: Naponi u temeljnoj spojnici pri III kombinaciji opterećenja za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	54
Slika 3.23: Šema za III K.O. horizontalna temeljna ravan - kontaktna filtracija.....	55
Slika 3.24: Naponi u temeljnoj spojnici pri III kombinaciji opterećenja za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	56
Slika 3.25: Oznake veličina kod metode koeficijenata .....	58
Slika 3.26: Oznake veličina kod Zangarovog postupka .....	58
Slika 3.27: Seizmički uticaji u metodi 1 .....	62
Slika 3.28: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 1. metodi), za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	66
Slika 3.29: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 1. metodi), za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	67
Slika 3.30: Seizmički uticaji u metodi 2 .....	68
Slika 3.31: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 1. metodi), za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	72
Slika 3.32: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 1. metodi), za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	73
Slika 3.33: Seizmički uticaji u metodi 3 .....	75
Slika 3.34: Šema za IV K.O. (metoda 3) horizontalna klizna ravan - horizontalna filtracija .....	76
Slika 3.35: Šema za IV K.O. (metoda 3) horizontalna klizna ravan - kontaktna filtracija .....	78
Slika 3.36: Šema za IV K.O. (metoda 3) kosa klizna ravan - horizontalna filtracija .....	79
Slika 3.37: Šema za IV K.O. (metoda 3) kosa klizna ravan - kontaktna filtracija .....	82
Slika 3.38: Šema za IV K.O. (metoda 3) horizontalna temeljna ravan - horizontalna filtracija .....	85
Slika 3.39: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV K.O. (metoda 3) kombinaciji opterećenja za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	86
Slika 3.40: Šema za IV K.O. (metoda 3) horizontalna temeljna ravan - kontaktna filtracija.....	87
Slika 3.41: Naponi u temeljnoj spojnici pri I IV K.O. (metoda 3) za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	88

Slika 3.42: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni za različite pretpostavke filtracije. ....	89
Slika 3.43: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv klizanja po kosoj kliznoj ravni za različite pretpostavke filtracije. ....	89
Slika 3.44: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv prevrtanja za različite pretpostavke filtracije. ....	89
Slika 3.45: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv isplivavanja za različite pretpostavke filtracije. ....	89
Slika 4.1: Šema za dispoziciju opterećenja a) .....	91
Slika 4.2: Šema za dispoziciju opterećenja b) .....	91
Slika 4.3: Šema za dispoziciju opterećenja c) .....	92
Slika 5.1: Konvencija znakova za presečne sile i pomeranja .....	93
Slika 5.2: Određivanje ooblika temeljne površine $b/a$ .....	96
Slika 5.3: Tačke u kojima su kontrolisana pomeranja .....	98
Slika 5.4: Pomeranja tačaka preliva pri II kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija) .....	99
Slika 5.5: Pomeranja tačaka preliva pri II kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija) .....	100
Slika 5.6: Pomeranja tačaka preliva pri III kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija) .....	102
Slika 5.7: Pomeranja tačaka preliva pri III kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija) .....	103
Slika 5.8: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija, I metoda) .....	104
Slika 5.9: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija, I metoda) .....	105
Slika 5.10: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija, II metoda) .....	107
Slika 5.11: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija, II metoda) .....	108
Slika 5.12: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija, III metoda) .....	109
Slika 5.13: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija, III metoda) .....	110
Slika 6.1: Šema za prvu kombinaciju opterećenja.....	111
Slika 6.2: Šema za drugu kombinaciju opterećenja.....	113



---

## SPISAK TABELA

Tabela 2.1 Pomeranja tačke T za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	17
Tabela 2.2 Pomeranja tačke T za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	17
Tabela 2.3 Pomeranja tačke K za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	18
Tabela 2.4 Pomeranja tačke K za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	18
Tabela 2.5 Pomeranja tačke A za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	18
Tabela 2.6 Pomeranja tačke A za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	18
Tabela 2.7 Pomeranja tačke P za usvojenu kontaktnu filtraciju .....	18
Tabela 2.8 Pomeranja tačke P za usvojenu horizontalnu filtraciju .....	18
Tabela 3.1 Zahtevani koeficijenata sigurnosti protiv klizanja za $c \neq 0$ , po USBR-u .....	26
Tabela 3.2 Zahtevani koeficijenata sigurnosti protiv klizanja za $c = 0$ , po USBR-u .....	26
Tabela 3.3 Zahtevani koeficijenati sigurnosti protiv isplivavanja po USBR-u .....	27
Tabela 3.4 Zahtevani koeficijenati sigurnosti protiv prevrtanja po USBR-u .....	28
Tabela 3.5 Zavisnost koeficijenta $C_m$ od nagiba uzvodne konture .....	59
Tabela 6.1: Specifikacija armature zida slapišta .....	115
Tabela 6.2: Rekapitulacija armature zida slapišta .....	116

## 1 UVOD

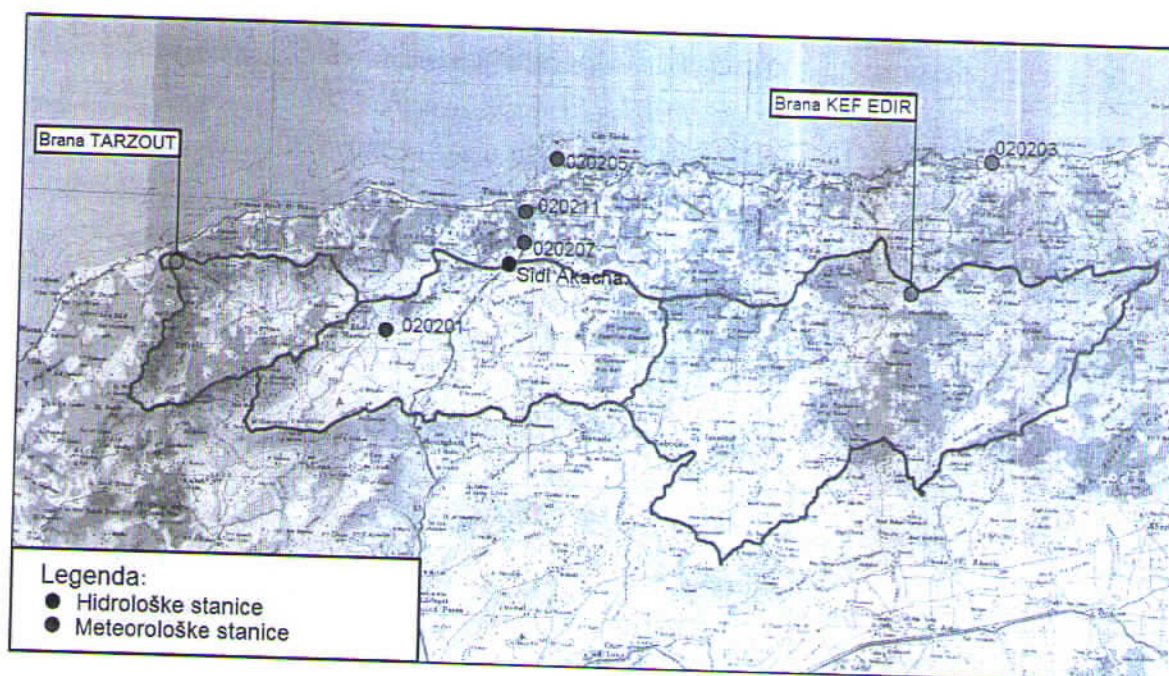
Osnovni cilj izgradnje brane Tarzout jeste regulisanje dotoka reke Tarzout kako bi se obezbedila voda za zadovoljenje potreba navodnjavanja.

### 1.1 PODLOGE ZA PROJEKTOVANJE

#### 1.1.1 Hidrološke karakteristike sliva reke Tarzout

Sliv reke Tarzout se nalazi u oblasti Chelf, na oko 180 km zapadno od grada Alžira tj. oko 25 km zapadno od mesta Tenes. Projektovana brana će biti izgrađena na nizvodnom delu vodotoka i locirana je na oko 2 km uzvodno od ušća reke Tarzout u Sredozemno more. Privredna aktivnost lokalnog stanovništva je ograničena uglavnom na poljoprivredu i stočarstvo, pa je i namena akumulacije prvenstveno za navodnjavanje.

Reka Tarzout nastaje spajanjem reka Bou Khandek i Bou Dada na oko 10 km od njenog ušća u Sredozemno more. Sliv kome pripada reka Tarzout sa rekama Bou Khandek i Bou Dada je u obliku lepeze i nakon prolaska kroz klisuru sužavajući se ide prema Sredozemnom moru. Okružena je uzvišenjima visine od 350 m do 850 m.



Slika 1.1 : Sliv reke Tarzout sa mestima hidroloških i meteoroloških stanica

### 1.1.2 Topografske podloge

Pri projektovanju korišćene su sledeće podloge koje je za potrebe projekta obezbedio „Energoprojekt Hidroinženjering“:

- Topografske podloge mesta brane i akumulacionog prostora dobijene terenskim snimanjima koja su realizovana u prvoj polovini 2013. godine,
- Satelitski snimak slivnog područja u visokoj rezoluciji "World View2" (prostorne rezolucije 0.5 m snimljen maja 2012)

### 1.1.3 Geomorfologija

Konačna lokacija ose brane definisana je tako da se dobije najbolje uklapanje u profil terena. Osa brane sadrži prelom između dva pravolinijska dela, koji je usvojen optimizacijom funkcionalnosti i gabarita brane sa pratećim objektima. Ugao koji zaklapaju ova dva dela ose iznosi  $159.00^\circ$ .

Mesto brane Tarzout odlikuje izvesna nesimetričnost obala, odnosno padina leve obale je blaža, sa padom od oko  $20-30^\circ$ , dok je desna obala strmija, sa prosečnim padom od  $40^\circ$ . Kota dna rečnog korita na mestu ose brane Tarzout iznosi približno 24,00 mnm.

Rečno korito i desna obala terena, na koji će se nalaziti brana, izgrađeni su mahom od slojevitih do bankovitih peščara debljine do 1 m, sa tankim proslojcima i slojevima lapora. U samom koritu se nalazi aluvijalni, peskovito-šljunkoviti nanos, debljine do 5 m. Na levom boku pregradnog profila brane nema izdanaka stene na površini terena, a pokrivač je izgrađen od aluvijona u nižim delovima, dok se u višim nalazi koluvijalni pokrivač odnosno glinovito-laporovita drobina peščara.

### 1.1.4 Geomehaničke karakteristike stene

Ugao smicanja na kontaktu beton-stena: .....	$\varphi = 30^\circ$ ,
Kohezija: .....	$c = 0 \text{ kN/m}^2$ ,
Jednoaksijalna čvrstoća na pritisak: .....	$\sigma_s = 30 \text{ MPa}$ ,
Maksimalno seizmičko ubrzanje tla .....	$K_s = 0,425 \cdot g$

## 2 TEHNIČKI IZVEŠTAJ

### 2.1 OSNOVNI PODACI O BRANI I AKUMULACIJI

- **SLIV**

Površina sliva: .....	$S = 112 \text{ km}^2$
Obim sliva: .....	$P = 59 \text{ km}$
Dužina reke (glavno korito): .....	$L = 20,3 \text{ km}$
Udaljenost između centra sliva i lokacije brane: .....	$L_c = 8,9 \text{ km}$
Maksimalna nadmorska visina glavnog toka: .....	$Z_{\max} = 575 \text{ mnm}$
Prosečna visina obala: .....	$H_o = 25 \text{ m}$
Prosečna nadmorska visina glavnog toka: .....	$Z_u = 371 \text{ mnm}$
Prosečna nadmorska visina sliva: .....	$Z_{\text{moy}} = 390 \text{ mnm}$
Nagib ispravljenog toka: .....	$S_1 = 1,80^\circ$
Maksimalni nagib toka: .....	$S_2 = 2,71^\circ$

- **AKUMULACIJA**

Kota normalnog uspora: .....	80,60 mnm
Kota maksimalnog uspora: .....	84,00 mnm
Kota najnižeg nivoa vode: .....	59,00 mnm
Korisna zapremina akumulacije: .....	$V_c = 7,70 \text{ hm}^3$
Ukupna zapremina akumulacije sa nanosom: .....	$V_{c'} = 11,20 \text{ hm}^3$

- **BRANA**

Tip: nasuta gravitaciona brana sa centralnim glinenim jezgrom.

Kota krune: .....	86,00 mnm
Širina brane u kruni: .....	11,00 m
Dužina brane u kruni: .....	483,00 m
Građevinska visina: .....	79,80 m
Prosečni nagib uzvodnog lica: .....	1,8H/1V
Prosečni nagib nizvodnog lica: .....	2H/1V
Ukupna zapremina tela brane: .....	$1\ 813\ 000 \text{ m}^3$

- **PRELIV**

Tip: PKW preliv sa stepenastim brzotokom i slapištem.

Položaj : U levom boku, u sastavu brane.

Kota krune preлива: ..... 80,60 mnm

Dužina prelivnog dela brane: ..... 37,80 m

Maksimalni protok ( $Q_{0.01\%}$ ): ..... 965,00 m<sup>3</sup>/s

Visina prelivnog mlaza: ..... 3,40 m

- **UMIRIVAČ**

Tip: Umirujući bazen modifikovani USBR II.

Dužina: ..... 36,50 m

Širina: ..... 37,80 m

Debljina ploče dna: ..... 2,00 m

Kota dna: ..... 17,00 mnm

Kota krune bočnih zidova: ..... 28,40 mnm

Kota donje vode (za merodavni proticaj): ..... 25,70 mnm

Protok po m širine: ..... 740,00 m<sup>3</sup>/s

- **TEMELJNI ISPUST**

Tip: Tunel i galerija u desnom boku

Broj zatvarača: 5

Zatvarači:

1. remontni tablasti zatvarač 3,20 m × 3,80 m, kojim se upravlja dizalicom iz vodozahvatne kule,

2. havarijska tablasta zatvarača 1,00 m × 1,50 m, kojima se upravlja dizalicom iz nizvodne zatvaračnice,

2. regulaciona tablasta zatvarača 1,00 m × 1,50 m, kojima se upravlja dizalicom iz nizvodne zatvaračnice.

Maksimalni protok: ..... 84,50 m<sup>3</sup>/s

- **VODOZAHVAT**

Broj nivoa na kojim se zahvata voda: .....	2
Prečnik cevi: .....	Ø 600
Protok: .....	0,50 m <sup>3</sup> /s
Broj zatvarača: .....	4

Zatvarači:

- 2. leptirasta zatvarača Ø600 na električni pogon,
- 2. sigurnosna leptirasta zatvarača Ø600 na električni pogon.

## 2.2 OPIS BRANE

### 2.2.1 Telo brane

Brana Tarzout je nasuta gravitaciona brana sa centralnim glinenim jezgrom. Kota krune brane je 86,00 mnm. Brana formira akumulaciju ukupne zapremine 11,2 hm<sup>3</sup> pri koti normalnog uspora na 80,60 mnm.

Predviđena građevinska visina brane je 79,80 m na neprelivnom delu, a širina brane u kruni je 11,00 m. Usvojeni nagib uzvodnog lica je 1V:2.1H, osim u delu brane ispod kote 38,00 mnm (kota krune predbrane) gde iznosi 1V:3H. Nizvodno lice brane ima nagib 1V:1,65H, sa dve berme širine 3,00 m na kotama 65,00 mnm i 44,00 mnm. Dužina krune brane iznosi oko 482 m.

Nagibi kosina centralnog glinenog jezgra su 4V:1H, sa krunom na 85,00 mnm, a širina u tom delu jezgra iznosi 6,00 m. Uzvodno i nizvodo od jezgra predviđena je ugradnja filtera koji bi sprečili sufoziju materijala iz jezgra. Predviđena je ugradnja po dva sloja filtera, šljunčanog i peščanog, oba debljine po 2,50 m u horizontalnoj ravni.

### 2.2.2 Injekcioni radovi

Od injekcionih radova, predviđeno je izvođenje toredne injekcione zavese ispod brane i u desnom boku brane, konsolidaciono injektiranje stene na kontaktu sa betonom prelivnog bloka i injekcione galerije, ispod jezgra predbrane i mestimično po potrebi.

U okviru injekcione galerije je predviđeno i sakupljanje drenažne vode iz tela brane koja bi se pumpama prebacivala iza nizvodne nožice brane.

### 2.3 EVAKUACIJA VODE TOKOM GRAĐENJA

Za evakuacije vode u toku građenja projektovane su:

- Uzvodni zagat
- Optočna galerija
- Nizvodni zagat

- **Uzvodni zagat**

Projektovan je od nasutog materijala sa glinenim jezgrom. Ovaj objekat će u konačnoj fazi izgradnje predstavljati uzvodnu nožicu glavne brane. Skretanje reke u optočnu galeriju i omogućavanje izgradnje uzvodne predbrane predviđeno je pomoću manjeg zagata od grubo kompaktiranog nasutog materijala. Kota krune uzvodne predbrane je 37,00 mnm.

- **Optočna galerija**

Kao objekat za skretanje reke predviđa se betonska galerija u desnom boku. Prostor za njenu izgradnju se dobija zasecanjem desne obale.

Ukupna dužina optočne galerije je 416,65 m i sastavljena je iz tri deonice. Najuzvodnija deonica počinje od zahvatne građevine sa kotom dna 24,50 mnm, pruža se dužinom od 100,00 m, sve do kote 21,00 mnm. Podužni pad joj je 3,5%, a na nju se nadovezuje horizontalna deonica na koti 21,00 mnm, dužine 56,65 m. Ostatak galerije od 260,00 m je u padu od 1,154%, sa kotom dna na izlazu od 18,00 mnm. Optočna galerija ima tri karakteristična poprečna preseka koja su prilagođena fazama izgradnje brane i kasnijoj eksploataciji objekta.

Za računski protok od oko 310 m<sup>3</sup>/s, tečenje u optočnoj galeriji je pod pritiskom, a kota vode ispred ulaza u galeriju iznosi 35,85 mnm. Za protoke do 230 m<sup>3</sup>/s tečenje u galeriji je sa slobodnom površinom. Za protoke u opsegu od 230 do 300 m<sup>3</sup>/s, tečenje je u prelaznom režimu, dok za protoke preko 300 m<sup>3</sup>/s tečenje u galeriji je pod pritiskom.

Puštanje galerije u rad, tj. skretanje reke, predviđeno je za suvi deo godine kada je vodostaj reke najniži.

- **Nizvodni zagat**

Nizvodni zagat, koji sprečava plavljenje zone gradilišta sa nizvodne strane, biće izgrađen od relativno nepropusnog kompaktiranog nasutog materijala. Kota krune nizvodnog zagata je 24,00 mnm.

## 2.4 EVAKUACIJA VODE TOKOM EKSPLOATACIJE

- **Preliv**

Preliv predstavlja verziju lavirint preliva u obliku klavirskih dirki i popularno se naziva PKW preliv (Piano Key Weir). Kruna mu je na koti 80,60 mnm. Oblik prelivne ivice je polukružan, a debljina zidova preko kojih preliva voda iznosi 0,60 m. Visina prelivnog mlaza na koji je dimenzionisan preliv je 3,4 m, odnosno računaska kota vode u akumulaciji je 84,00 mnm.

Širina preliva iznosi 37,8 m, dok mu je razvijena dužina ivice preko koje voda preliva jednaka 189,00 m. Dužina prelivne kade (sabirnog kanala) je 19,50 m, od čega su uzvodni i nizvodni bazeni dugački po 4,50 m. Visina prelivnog praga, kako sa uzvodne, tako i sa nizvodne strane, iznosi 7,50 m.

Ispred preliva se nalaze krilni zidovi koji su upravni na osu preliva, a kruna im prati pad kosina susednih nasutih delova brane. Plato ispred preliva je na koti 65,00 mnm.

Na nizvodnoj kosini preliva predviđa se izgradnja stepenika koji bi ostvarili spoj sa stepenastom konturom brzotoka. Prvih 10 stepenika pripadaju izlaznom bazenu preliva i imaju polovinu usvojene visine stepenika brzotoka, odnosno visoki su po 0,50 m. Njihovom izgradnjom se postiže hidraulički povoljan prelaz na stepenike brzotoka.

- **Brzotok**

S obzirom na veliku denivelaciju između vode u akumulaciji i nivoa prirodnog toka u nizvodnom koritu, predviđena je izgradnja stepenastog brzotoka na kome bi nastala značajna disipacija energije vode koja preliva. Na taj način bi se dobila značajno manja energija vode koju treba umiriti pre upuštanja u nizvodno korito, odnosno izvršila bi se racionalizacija dimenzija umirujućeg bazena.



Predviđeni brzotok ima vertikalni prelom duž trase, kao posledica prostiranja brzotoka na dva nezavisna betonska objekta. Uzvodni deo trase, odnosno prvih 45,00 m, nalaze se na masivnom betonskom bloku koji predstavlja deo gravitacione brane. Pošto je nagib njegove nizvodne kosine 1V:1,8H, a visina stepenika je usvojena na 1,0 m, sledi da je širina istih jednaka 1,8 m. Izuzetak čine prva četiri stepenika koja predstavljaju prelaznu zonu između stepenika na nizvodnoj kosini preliva stepenika u brzotoku. Njihova visina je 0,60 m, a širina je 1,00 m. Drugi deo trase, dužine oko 114,5 m, ima usvojenu visinu 1,00 m i širinu stepenika od 3,30 m. Nagib brzotoka od  $16,858^\circ$  je uslovljen topografskim i geološkim uslovima duž trase.

Širina brzotoka je 37,80 m, a visina zidova je većim delom diktirana nizvodnom kosinom okolnih delova nasute brane i nigde nije manja od 2,80 m.

- **Slapiste**

Za umirenje prelivnih voda na brani Tarzout se predviđa betonsko slapište koje se direktno nastavlja na brzotok i završava se u koritu reke Tarzout. Umirujući bazen je projektovan kao bazen tipa USBR II, sa izuzetkom uzvodnih zuba zbog nemogućnosti pravilnog uklapanja istih sa zubima brzotoka.

Slapište je dimenzionisano na 1000-godišnju veliku vodu, tj. na merodavni protok od  $740 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok kota donje vode za ovaj protok iznosi 25,70 mnm.

Uvojena kota dna umirujućeg bazena je 17,00 mnm, a kota krune zidova umirujućeg bazena je na 28,40 mnm. Širina slapišta je 37,8 m, dužina je 36,5 m, a iza slapišta je projektovana kamena zaštita na dužini od 30,0 m. Slapište ima nizvodni odbojni zid sa zubima visne 1,65 m. Ukupni broj zuba je 16.

- **Temeljni ispust**

Sistem temeljnog ispusta predviđa i izgradnju objekata uzvodno od adaptirane optočne galerije. Sistem počinje zahvatnom građevinom u desnom boku akumulacije, sa kotom dna 35,00 mnm. Na nju se nastavljaju galerija i tunel, ukupne dužine 49,00 m, koji vode do vodozahvatne kule. Najniži deo kule predstavlja deo temeljnog ispusta iz koga se zahvaćena voda prosleđuje nizvodno u tunel temeljnog ispusta. Ovaj tunel je dužine 52,00 m i donjim delom svoga poprečnog preseka sprovodi vodu do adaptirane galerije. Gornji

deo tunela, kao i kod adaptiranog dela optočne galerije, služi za komunikaciju i sprovođenje cevi od vodozahvata do korisnika.

Na kraju adaptiranog dela optočne galerije projektovana je nizvodna zatvaračnica unutar koje se provodnici optočne galerije dodatno redukuju na presek zatvarača širine 1,00 m i visine 1,50 m. Ovim se postižu racionalnije dimenzije zatvarača i lakše kontrolisanje pražnjenja akumulacije preko temeljnog ispusta. Oba izlazna otvora su opremljena sa po jednim havarijskim i jednim regulacionim tablastim zatvaračem.

Najnižvodniji deo sistema čine prelazna deonica i slapište. Prelazna deonica dužine 40,00 m, omogućava hidraulički bezbedno širenje i spuštanje mlaza od izlaza iz zatvaračnice do slapišta. Slapište je tipa USBR II, širine 8,50 m i dužine 32,00 m. Slapište se ankeruje za stenu, a nizvodno od njega je predviđena kamena zaštita korita.

Tečenje kroz ispušt je pod pritiskom. Pri koti normalnog uspora u akumulaciji i za potpuno otvorene zatvare, protok kroz temeljni ispušt iznosi  $84,50 \text{ m}^3/\text{s}$

- **Vodozahvatna građevina**

Ispuštanje vode za navodnjavanje iz akumulacije Tarzout predviđeno je da se vrši posebnim ispuštom. Taj ispušt bi bio u vidu čelične cevi koja bi se od vodozahvatne građevine vodila kroz gornji suvi deo objekata temeljnog ispusta do nizvodnog lica brane. Prečnik čelične cevi je  $\text{Ø}600 \text{ mm}$  i proračunat je za protok od  $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Vodozahvatna građevina je projektovana u vidu zahvatne kule koja je smeštena u desnom boku neposredno ispred tela brane. Deo kule do kote 55,00 mnm je uklješten u stensku masu, dok je deo iznad te kote nadzeman. Predviđeno je da vodozahvatna kula ima dva nivoa zahvatanja vode, sa leptirastim zatvaračima i rešetkom na svakom ulazu. Nivoi zahvata su 50,00 i 65,00 mnm.

Oba zahvata sprovode vodu do vertikalne čelične cevi koja predstavlja ispušt kroz koji se ta zahvaćena voda transportuje nizvodno od brane. Zahvatna cev je vertikalna u kuli da bi se posle vodila sa malim padom kroz suve delove objekata temeljnog ispusta do nizvodne zatvaračnice. Kota ose cevi na kojoj se cev izvodi na nizvodno lice brane iznosi 23,35 mnm.

## 2.5 OPŠTA STABILNOST

### 2.5.1 Opšta stabilnost prelivne lamele

Proračun opšte stabilnosti rađen je za prelivnu lamelu pri sve četiri glavne kombinacije opterećenja.

**Prva kombinacija opterećenja** obuhvata uticaje od:

- sopstvene težine brane,
- težina stene iznad posmatrane ravni.

**Druga kombinacija opterećenja** obuhvata uticaje od:

- sopstvene težine brane,
- težine stene iznad posmatrane ravni,
- hidrostatičkog pritisaka pri gornjoj vodi na koti normalnog uspora,
- uzgona pri gornjoj vodi na koti normalnog uspora,
- težine kamenog nabačaja sa uzvodne strane.

**Treća kombinacija opterećenja** obuhvata uticaje od:

- sopstvene težine brane,
- težine stene iznad posmatrane ravni,
- hidrostatičkog pritisaka pri gornjoj vodi na koti maksimalnog uspora,
- uzgona pri gornjoj vodi na koti maksimalnog uspora,
- težine kamenog nabačaja sa uzvodne strane.

**Četvrta kombinacija opterećenja** obuhvata uticaje od:

- svih opterećenja iz druge kombinacije,
- inercijalne sile od sopstvene težine usled zemljotresa,
- hidrodinamičkog pritisaka vode,
- inercijalne sile od kamenog nabačaja usled zemljotresa.

Kontrolisana je i kontaktna i horizontalna filtracija. Usvaja se kriterijum USBR-a da injekciona zavesa smanjuje filtracioni deo uzgona na  $1/3 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$  u osi injeksione zavesa. Pretpostavlja se da zemljotres deluje od nizvodne ka uzvodnoj strani, što je najnepovoljniji slučaj jer dolazi do superpozicije

hidrostatičkih i seizmičkih uticaja. Hidrodinamički pritisak računat je primenom Zangarovog postupka.

Seizmički uticaji su računati za maksimalno seizmičko ubrzanje:  $\alpha = 0,425 \cdot g$ , na tri različita načina:

1. po kriterijumu Energoprojekta: Koeficijent seizmičnosti se usvaja kao  $K_{sh} = 3/2 \cdot \alpha / g = 0,283$  u horizontalnom pravcu, a dinamički koeficijent je  $\alpha_s = 1$ . Uticaji od vertikalne komponente se u ovom postupku zanemaruju. Dinamički koeficijent se usvaja 1, umesto 1,5.
2. po „Pravilniku o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seimičkim područjima“ (1987) [1], usvajaju se koeficijent seizmičnosti:  $K_s = 0,425/4$  (gde se usvaja preporučeni koeficijent duktilnosti  $k_d = 4$ ) i dinamički koeficijent  $\alpha_s = 1,5$ .
3. po modifikovanom kriterijumu Energoprojekta: Koeficijent seizmičnosti se usvaja  $K_s = 0,425/2$  (ekvivalentno usvajanju koeficijenta duktilnosti  $k_d = 2$ ), i deli se na komponente u horizontalnom pravcu  $K_{sh} = 0,190$  i vertikalnom pravcu  $K_{sv} = 0,095$  (u odnosu 2:1). Dinamički koeficijent se usvaja po „Pravilniku o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seimičkim područjima“ (1987) [1]:  $\alpha_s = 1,5$ .

Za drugu, treću i četvrtu kombinaciju opterećenja izvršena je kontrola napona u temeljnoj spojnici i koeficijenata sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj i kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni, koeficijenata sigurnosti protiv prevrtanja i isplivavanja. Vrednosti dobijenih koeficijenata sigurnosti su veće od minimalnih propisanih, osim u slučaju koeficijenta sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni pri IV kombinaciji opterećenja kada su primenjeni standardni i modifikovani kriterijum Energoprojekta, a kada su dobijeni koeficijenti  $1 < C_{kh} < 1,05$  što se može smatrati prihvatljivim s obzirom na atipičnost proračuna. Naponi u svim kombinacijama opterećenja su naponi pritiska koji ne prelaze dozvoljene napone za stenu  $\sigma_{doz} = 2,0$  MPa.

#### Dobijeni parametri stabilnosti

Dobijeni naponi u temeljnoj spojnici za prvu kombinaciju opterećenja:

$$0 < \sigma_v^u = 1200,79 \text{ kN/m}^2 < 2 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 464,38 \text{ kN/m}^2 < 2 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za **drugu kombinaciju opterećenja** (usvojena kontaktna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 3,40 > C_{k,k}^{\min} = 1,30$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 5,15 > C_{k,k}^{\min} = 1,30$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 3,76 > C_p^{\min} = 1,50$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 6,15 > C_i^{\min} = 1,50$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 693,12 \text{ kN/m}^2 < 2,0 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 676,55 \text{ kN/m}^2 < 2,0 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za **drugu kombinaciju opterećenja** (usvojena horizontalna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 3,40 > C_{k,k}^{\min} = 1,30$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 5,12 > C_{k,k}^{\min} = 1,30$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 3,74 > C_p^{\min} = 1,50$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 6,07 > C_i^{\min} = 1,50$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 666,22 \text{ kN/m}^2 < 2,0 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 705,55 \text{ kN/m}^2 < 2,0 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za **treću kombinaciju opterećenja** (usvojena kontaktna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,44 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 2,19 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 1,91 > C_p^{\min} = 1,30$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 2,50 > C_i^{\min} = 1,10$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 295,74 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 614,74 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za **treću kombinaciju opterećenja** (usvojena horizontalna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,50 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 2,17 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 1,90 > C_p^{\min} = 1,30$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 2,47 > C_i^{\min} = 1,10$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 253,03 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 658,20 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za **četvrtu kombinaciju opterećenja** po prvom kriterijumu (usvojena kontaktna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,022 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 1,222 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 2,44 > C_p^{\min} = 1,10$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 6,22 > C_i^{\min} = 1,30$

## 4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 154.82 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 1232.16 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za četvrtu kombinaciju opterećenja po prvom kriterijumu (usvojena horizontalna filtracija):

## 1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,028 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 1,219 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 2,43 > C_p^{\min} = 1,10$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 6,14 > C_i^{\min} = 1,30$

## 4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 127,92 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 1261,17 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za četvrtu kombinaciju opterećenja po drugom kriterijumu (usvojena kontaktna filtracija):

## 1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,35 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 1,64 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 2,77 > C_p^{\min} = 1,10$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 6,22 > C_i^{\min} = 1,30$

## 4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 344,23 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 1042.75 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za četvrtu kombinaciju opterećenja po drugom kriterijumu (usvojena horizontalna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,34 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 1,61 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 2,75 > C_p^{\min} = 1,10$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 6,14 > C_i^{\min} = 1,30$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 317.33 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 1071.76 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za četvrtu kombinaciju opterećenja po trećem kriterijumu (usvojena kontaktna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,002 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 1,20 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 2,34 > C_p^{\min} = 1,10$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 5,64 > C_i^{\min} = 1,30$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 117.40 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 1106.15 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$



Dobijeni koeficijent sigurnosti i naponi za četvrtu kombinaciju opterećenja po trećem kriterijumu (usvojena horizontalna filtracija):

1. Koeficijenti sigurnosti protiv klizanja

- po horizontalnoj kliznoj ravni:  $C_{k,hkf} = 1,009 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$

- po kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni:  $C_{k,kkf} = 1,20 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$

2. Koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja  $C_{p,kf} = 2,33 > C_p^{\min} = 1,10$

3. Koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja:  $C_{i,kf} = 5,56 > C_i^{\min} = 1,30$

4. Naponi u temeljnoj spojnici:

$$0 < \sigma_v^u = 90,96 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

$$0 < \sigma_v^n = 1135,16 \text{ kN/m}^2 < 2,5 \text{ MPa}$$

### 2.5.2 Opšta stabilnost umirujućeg bazena (ploče slapišta)

Proverava se sigurnost na isplivavanje ploče slapišta u tri kombinacije opterećenja:

(1) za slučaj potpuno praznog bazena i punog uzgona od donje vode pri srednjem proticaju (kota gornje vode je na koti normalnog uspora i nema preliivanja);

(2) za slučaj potpuno punog bazena, sa punim uzgonom pri velikoj vodi (kota gornje vode je na koti maksimalnog uspora) i merodavnim pulzacionim pritiskom;

(3) za slučaj delimično praznog bazena - mlaz je izbacio deo vode iz bazena i unutar bazena ostaje samo hidraulički skok, pri punom uzgonu od donje velike vode.

- Dobijeni parametri stabilnosti

1 kombinacija: koeficijent isplivavanja  $C_i = 0,47 < 1,3$

2 kombinacija: koeficijent isplivavanja  $C_i = 1,021 < 1,1$

3 kombinacija: koeficijent isplivavanja  $C_i = 1,14 > 1,1$

Dobijeni koeficijenti sigurnosti za prve dve kombinacije manji su od minimalnih, zbog čega je neophodno dodatno osigurati ploču ankerisanjem u beton kojim se vrši zamena tla ispod slapišta.

## 2.6 POMERANJE

U cilju sagledavanja stanja upotrebljivosti, izvršen je proračun pomeranja temeljne spojnice i karakterističnih tačaka konstrukcije, koji je obavezan za sve hidrotehničke konstrukcije, naročito one koje sadrže energetska i mašinska opremu. Pomeranja su određena pri svim kombinacijama optereženja za:

- težište temeljne spojnice (tačka T),
- krunu preлива (tačka K),
- uzvodnu ivicu temelja (tačka A),
- nizvodnu ivicu temelja (tačka P).

Dobijena pomeranja prikazana su u tabelama 2.1 do 2.8 i u mogu se smatrati očekivanim za ovaj tip konstrukcije.

Težište temeljne spojnice (T):

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\theta_T$ [mrad]	-0,015	0,005	0,013	0,030	0,021	0,027
$\Delta z_T$ [mm]	4,868	4,004	2,662	4,055	4,055	3,578
$\Delta x_T$ [mm]	0,158	1,377	1,542	3,200	2,593	2,905

Tabela 2.1 Pomeranja tačke T za usvojenu kontaktnu filtraciju

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\theta_T$ [mrad]	-0,015	0,007	0,015	0,031	0,022	0,029
$\Delta z_T$ [mm]	4,868	4,010	2,664	4,061	4,061	3,584
$\Delta x_T$ [mm]	0,158	1,437	1,583	3,260	2,653	2,965

Tabela 2.1 Pomeranja tačke T za usvojenu horizontalnu filtraciju

Kruna preliva (K):

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\Delta z_T$ [mm]	5,313	3,846	2,286	3,163	3,424	2,754
$\Delta x_T$ [mm]	-0,585	1,641	2,169	4,687	3,645	4,279

Tabela 2.3 Pomeranja tačke K za usvojenu kontaktnu filtraciju

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\Delta z_T$ [mm]	5,313	3,809	2,226	3,127	3,387	2,718
$\Delta x_T$ [mm]	-0,585	1,772	2,313	4,818	3,776	4,410

Tabela 2.4 Pomeranja tačke K za usvojenu horizontalnu filtraciju

Uzvodna ivica temelja (A):

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\Delta z_T$ [mm]	5,324	3,842	2,277	3,142	3,409	2,735
$\Delta x_T$ [mm]	0,054	1,414	1,630	3,408	2,740	3,097

Tabela 2.5 Pomeranja tačke A za usvojenu kontaktnu filtraciju

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\Delta z_T$ [mm]	5,324	3,805	2,216	3,105	3,372	2,697
$\Delta x_T$ [mm]	0,054	1,484	1,685	3,478	2,810	3,167

Tabela 2.6 Pomeranja tačke A za usvojenu horizontalnu filtraciju

Nizvodna ivica temelja (P):

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\Delta z_T$ [mm]	4,412	4,166	3,046	4,967	4,700	4,422
$\Delta x_T$ [mm]	0,054	1,414	1,630	3,408	2,740	3,097

Tabela 2.7 Pomeranja tačke P za usvojenu kontaktnu filtraciju

K.O.	I	II	III	IVa	IVb	IVc
$\Delta z_T$ [mm]	4,412	4,216	3,112	5,017	4,750	4,471
$\Delta x_T$ [mm]	0,054	1,484	1,685	3,478	2,810	3,167

Tabela 2.8 Pomeranja tačke P za usvojenu horizontalnu filtraciju

Može se uočiti da ne postoji značajna razlika između pomeranja sračunatih uz pretpostavku kontaktne, odnosno horizontalne, filtracije.

## 2.7 PRORAČUN ZIDA SLAPIŠTA

Izvršen je proračun potrebne armature za dve kombinacije opterećenja:

1. Za slučaj potpuno praznog bazena sa vodom sa spoljne strane zida na koti maksimalnog uspora,
2. Za slučaj bazena sa vodom na koti normalnog uspora i zemljotres.

Proračun armature je izvršen prema odredbama Pravilnika BAB'87. Za dimenzionisanje unutrašnje i spojasnje armature merodavna kombinacija opterećenja je sa seizmickim uticajima. U oba slučaja potrebna količina armature je manja od minimalne potrebne  $\mu_{min} = 0,15\%$ . Usvojena je minimalna potrebna armatura RA400/500, RØ25/10.

Za betoniranje se koristi hidrotehnički beton HAB MB30 V6 M100.

## 2.8 PREDMER I PREDRAČUN ZA PRELIV I SLAPIŠTE

Zemljani radovi	160.102.190	rsd
Betonski radovi	1.411.275.638	rsd
Armatura	193.560.353	rsd
<b>Ukupno:</b>	<b>1.764.938.181</b>	<b>rsd</b>

Nepredviđeni radovi (20%A)	352.987.636	rsd
Mašinska oprema	1.027.862.498	rsd
Građevinski radovi	1.764.938.181	rsd
<b>UKUPNO</b>	<b>3.145.758.315</b>	<b>rsd =26.214.652 €</b>

### 3. PRORAČUN OPŠTE STABILNOSTI PRELIVA

#### 3.1. SADRŽAJ PRORAČUNA

Proračun opšte stabilnosti brane radi se na svim nivoima projektovanja. Ovim proračunom se dokazuje da je veza između konstrukcije i sredine u kojoj se ona nalazi, takva da se sva opterećenja predaju toj sredini bez opasnosti po sračunati, ili susedni objekat. Proračun opšte stabilnosti obuhvata:

- proračun sigurnosti protiv klizanja,
- proračun sigurnosti protiv prevrtanja,
- proračun sigurnosti protiv isplivavanja,
- proračun naprezanja u temeljnoj spojnici,

##### 3.1.1. Analiza opterećenja

Opterećenja koja deluju na betonsku gravitacionu branu i koja se uzimaju u analizi su sledeća:

- osnovna opterećenja
  - sopstvena težina konstrukcije,
  - hidrostatički pritisak pri gornjoj vodi na koti normalnog uspora,
  - uzgon pri gornjoj vodi na koti normalnog uspora,
  - težina kamenog nabačaja sa uzvodne strane.
- Izuzetna opterećenja:
  - hidrostatički pri gornjoj vodi na koti maksimalnog uspora,
  - uzgon pri gornjoj vodi na koti maksimalnog uspora,
  - seizmički uticaji.

Kako ova opterećenja ne mogu da deluju istovremeno, ona se grupišu u četiri glavne kombinacije i za svaku kombinaciju vrši se proračun opšte stabilnosti.

**Prva kombinacija opterećenja** obuhvata samo sopstvenu težinu konstrukcije zajedno sa opremom koja je u nju ugrađena. Ova kombinacija služi za proveru ponašanja konstrukcije neposredno posle izgradnje, a pre punjenja akumulacije.

**Druga kombinacija opterećenja** obuhvata sva osnovna opterećenja, tj. opterećenja brane u toku normalnog rada konstrukcije: sopstvena težina konstrukcije zajedno sa opremom, težina tla iznad posmatrane ravni, pritisak vode na koti normalnog uspora, uzgon za vodu na koti normalnog uspora pri normalnom funkcionisanju injekcione zavese, pritisak kamenog nabačaja aktivni pritisak tla, pasivan pritisak tla i dodatno trenje nizvodnog betonskog bloka.

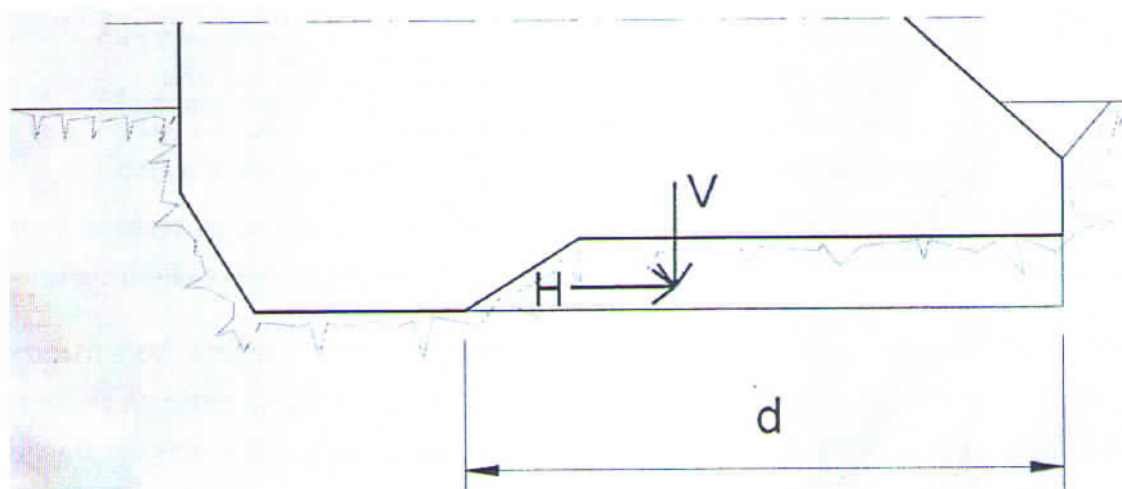
**Treća kombinacija opterećenja** obuhvata sva opterećenja koja postoje pri nailasku velike vode: sopstvenu težinu konstrukcije zajedno sa opremom koja je u nju ugrađena, težinu tla iznad posmatrane ravni, pritisak vode na koti maksimalnog uspora, uzgon za vodu na koti maksimalnog uspora (po kriterijumu USBR-a smatra se da ne funkcionišu primenjene antifiltracione mere) i takođe pritisak kamenog nabacaja.

**Četvrta kombinacija opterećenja** uzima u obzir uticaje koji potiču od delovanja zemljotresa: sva opterećenja koja postoje pri postojanju vode na koti normalnog uspora (druga kombinacija opterećenja) i seizmičke uticaje.

### 3.1.2. Proračun stabilnosti protiv klizanja

Proračun treba da pokaže da se horizontalne i vertikalne sile koje deluju na konstrukciju prenose na temeljnu spojnicu tako da ne doći do smicanja po kontaktu konstrukcija – tlo, kao ni kroz samu temeljnu sredinu.

Proračun se radi po horizontalnoj i kosoj (najverovatnijoj) kliznoj ravni.



Slika 3.1 : Kontrola sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni

Koeficijent sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni se računa po izrazu:

$$C_K^H = \frac{f \cdot V + c \cdot d}{H} \quad , \quad (3.1)$$

U slučaju da se kohezija može zanemariti dobija se koeficijent sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni bez kohezije:

$$C_{K,c=0}^H = \frac{f \cdot V}{H} \quad , \quad (3.2)$$

gde je:

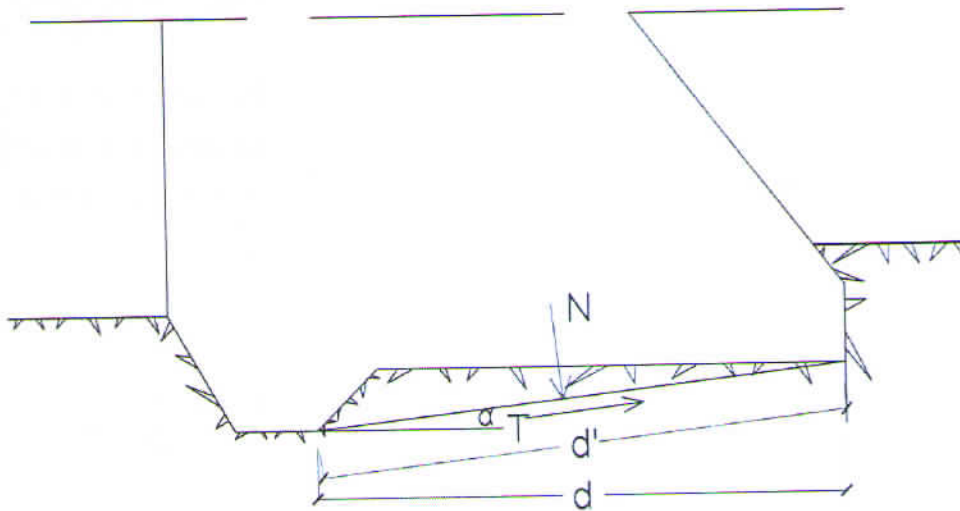
H – ukupna horizontalna sila,

V – ukupna vertikalna sila,

f – koeficijent trenja,

c – kohezija,

d – dužina dela klizne ravni na kome postoji kohezija,



Slika 3.2 : Kontrola sigurnosti protiv klizanja po kosoj kliznoj ravni

Koeficijent sigurnosti protiv klizanja po kosoj kliznoj ravni se računa kao:

$$C_K^K = \frac{f \cdot N + c \cdot d'}{T} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha) + c \cdot \frac{d}{\cos^2 \alpha}}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad , \quad (3.3)$$

U slučaju da se kohezija može zanemariti dobija se koeficijent sigurnosti protiv klizanja po kosoj kliznoj ravni bez kohezije:

$$C_{K,c=0}^K = \frac{f \cdot N}{T} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad , \quad (3.4)$$

gde su:

$N$  – ukupna normalna sila iznad ravni klizanja,

$T$  – ukupna transverzalna sila iznad ravni klizanja,

$\alpha$  – nagibni ugao klizne ravni.

Dobijeni koeficijenti sigurnosti protiv klizanja upoređuju se sa minimalnim propisanim za određenu kombinaciju opterećenja.

$C_K$	Kombinacija opterećenja		
	II	III	IV
	3,50	2,20	1,40

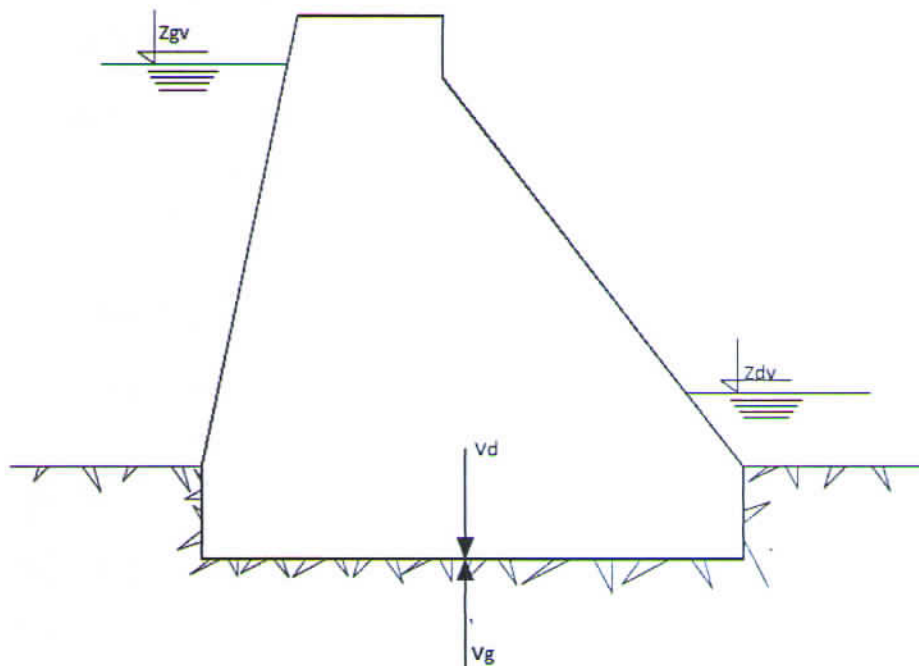
Tabela 3.1 Zahtevani koeficijenta sigurnosti protiv klizanja za  $c \neq 0$ , po USBR-u

$C_K$	Kombinacija opterećenja		
	II	III	IV
	1,30	1,10	1,05

Tabela 3.2 Zahtevani koeficijenta sigurnosti protiv klizanja za  $c = 0$ , po USBR-u

### 3.1.3. Proračun sigurnosti protiv isplivavanja

Proračun treba da pokaže da je težina konstrukcije i opterećenja na njoj dovoljna da savlada sile uzgona.



Slika 3.3: Kontrola sigurnosti protiv isplivavanja



Određuje se ukupna vertikalna sila koja deluje na dole ( $V_d$ ) i vertikalna sila koja deluje na gore ( $V_g$ ) čiji odnos daje veličinu koeficijenta sigurnosti protiv isplivavanja. ( $C_l$ ):

$$C_l = \frac{V_d}{V_g} \quad (3.5)$$

Dobijeni koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja upoređuju se sa minimalnim propisanim za odgovarajuću kombinaciju opterećenja.

$C_l$	Kombinacija opterećenja		
	II	III	IV
	1,50	1,10	1,30

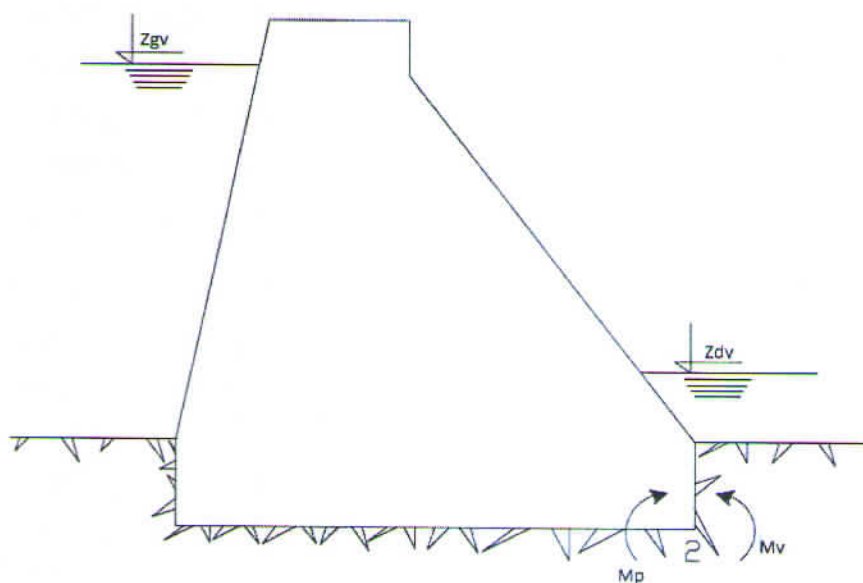
Tabela 3.3 Zahtevani koeficijenti sigurnosti protiv isplivavanja po USBR-u

### 3.1.4. Proračun sigurnosti protiv prevrtanja

Proračun treba da pokaže da je konstrukcija sposobna da preda momenat oko najniže nizvodne ivice sredini u kojoj je temeljena, a da pri tome ne dođe do njenog prevrtanja.

Oko najniže nizvodne ivice (tačka 2 na slici 3.4.), računaju momenti vraćanja ( $M_v$ ) i momenti prevrtanja ( $M_p$ ), a na osnovu kojih se računa koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja ( $C_p$ ) prema izrazu:

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} \quad (3.6)$$



Slika 3.4: Kontrola sigurnosti protiv prevrtanja

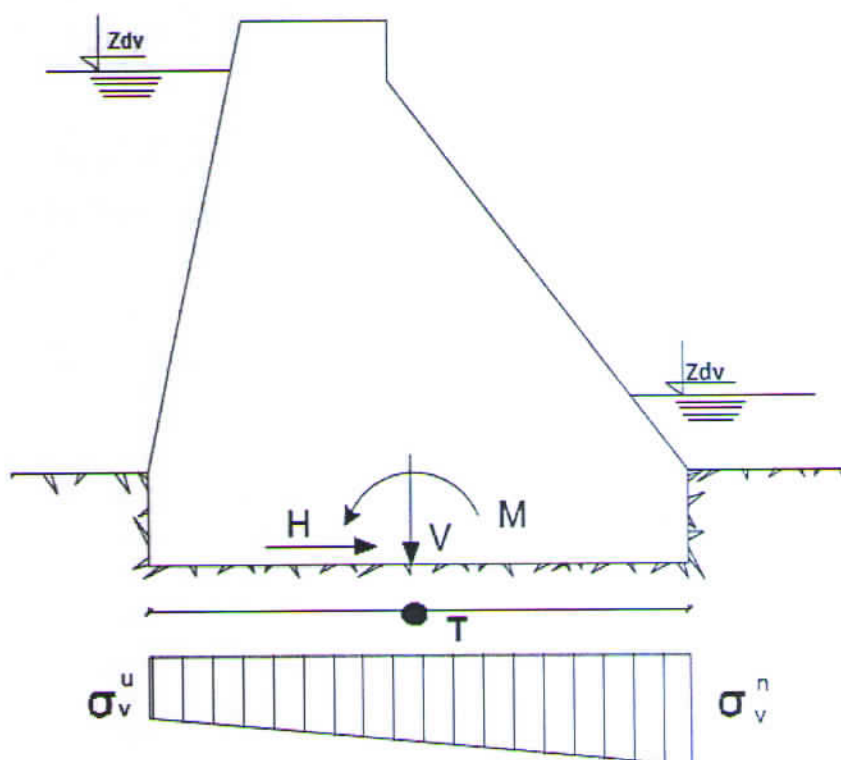
Dobijeni koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja upoređuju se sa minimalnim potrebnim za određenu kombinaciju opterećenja.

Cp	Kombinacija opterećenja		
	II	III	IV
	1,50	1,30	1,10

Tabela 3.4 Zahtevani koeficijenti sigurnosti protiv prevrtanja po USBR-u

### 3.1.5. Proračun napona u temeljnoj spojnici

Proračun treba da pokaže da se konstrukcija pravilno oslanja na temeljnu sredinu, bez prekoračenja dopuštenih napona za tu sredinu.



Slika 3.5: Kontrola napona u temeljnoj spojnici

Da bi se pokazalo da u je brana stabilno fundirana u temeljnu sredinu potrebno je odrediti napone na uzvodnoj i nizvodnoj tački temeljne ravni, odnosno horizontalne ravni na najnižoj koti tela brane.

Pretpostavlja se da važi Bernulijeva hipoteza, kao i da je konstrukcija kruta, pa se može smatrati da se u temeljnoj ravni ostvaruje linearna raspodela napona.

Smatrajući da se ostvaruje ravno stanje deformacija, temeljna stopa se može posmatrati kao pravougaonik jedinične širine ( $B = 1,00$  m).

Naponi na ivicama temeljne ravni se dobijaju iz uslova ravnoteže sila i momenata:

$$\text{uzvodni napon: } \sigma_v'' = \frac{V}{F} + \frac{M}{W} \quad (3.7)$$

$$\text{nizvodni napon: } \sigma_v'' = \frac{V}{F} - \frac{M}{W} \quad (3.8)$$

gde su:

$F$  – površina horizontalne temeljne spojnice jedinične širine,

$$F = d \cdot 1m = d \quad (3.9)$$

$W$  – moment površine horizontalne temeljne spojnice jedinične širine,

$$W = \frac{d^2 \cdot 1m}{6} = \frac{d^2}{6} \quad (3.10)$$

$V$  – ukupna vertikalna sila,

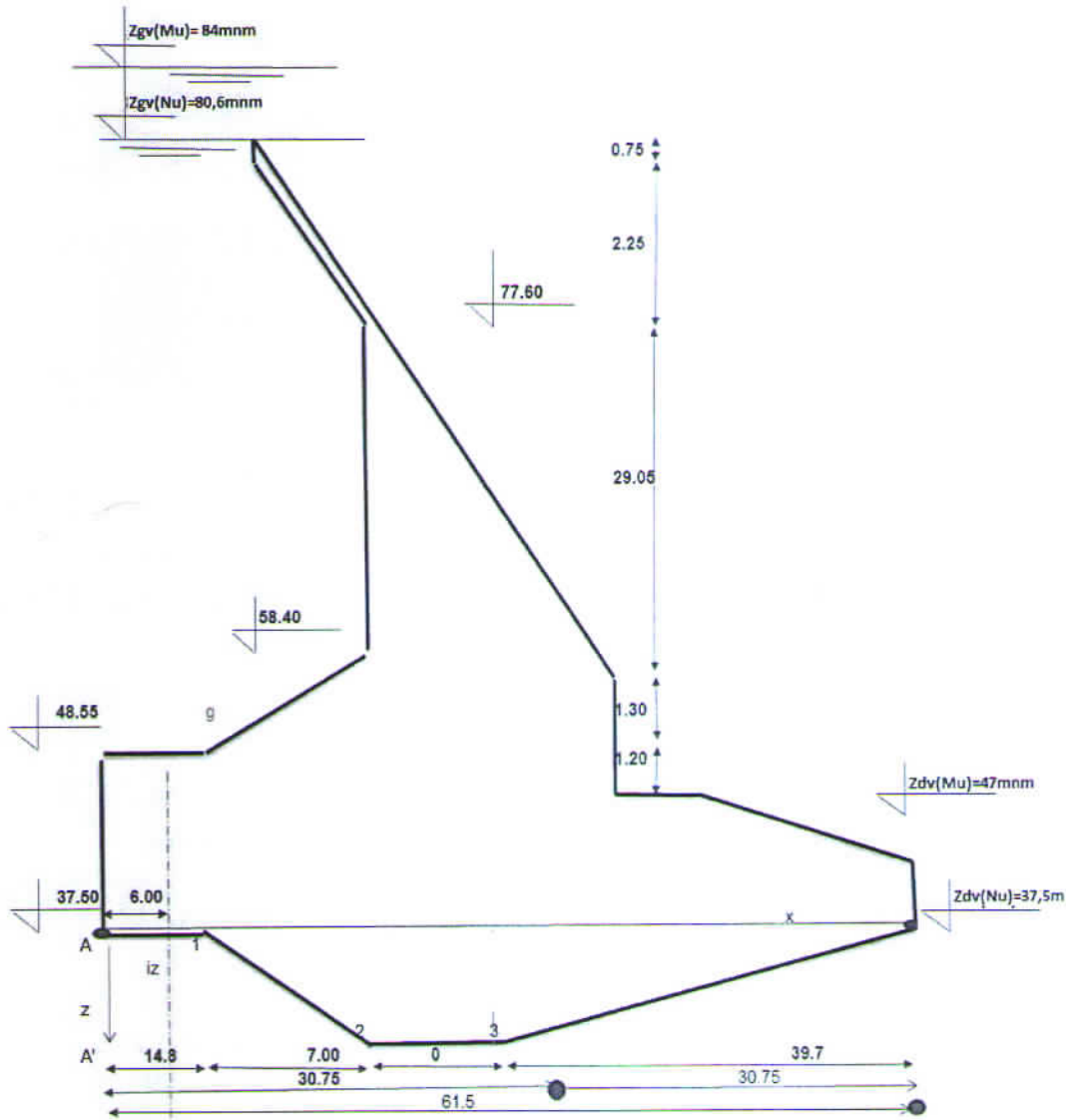
$M$  – ukupni moment u odnosu na težište temeljne spojnice,

U prvoj kombinaciji opterećenja se na uzvodnoj ivici javljaju veći naponi koji ne smeju da prekorače dopušteni napon u temeljnoj sredini, a na nizvodnoj postoji opasnost od otvaranja temeljne spojnice (pojava napona zatezanja). U ostalim kombinacijama opterećenja se na nizvodnoj ivici javljaju veći naponi pritiska, a opasnost od otvaranja temeljne spojnice postoji na uzvodnoj ivici.

Posebnu opasnost po stabilnost brane predstavlja mogućnost otvaranja uzvodne ivice temeljne spojnice usled hidrostatičkog opterećenja. U tom slučaju dolazi do dodatnog uvećanja opterećenja koje je prouzrokovalo otvaranje temeljne spojnice što može prouzrokovati gubitak stabilnosti.

### 3.2 REZULTATI PRORAČUNA

Proračun opšte stabilnosti je urađen za prelivnu lamelu čiji je poprečni presek dat na slici 3.6.



Slika 3.6: Poprečni presek prelivne lamele

### 3.2.1 Prva kombinacija opterećenja

Prva kombinacija opterećenja obuhvata opterećenja koja deluju pre početka punjenja akumulacij, dakle sopstvenu težinu konstrukcije, težinu stene i kameni nabačaj. Sve neophodne geometrijske veličine za određivanje ovih opterećenja prikazane su na slici 3.7.

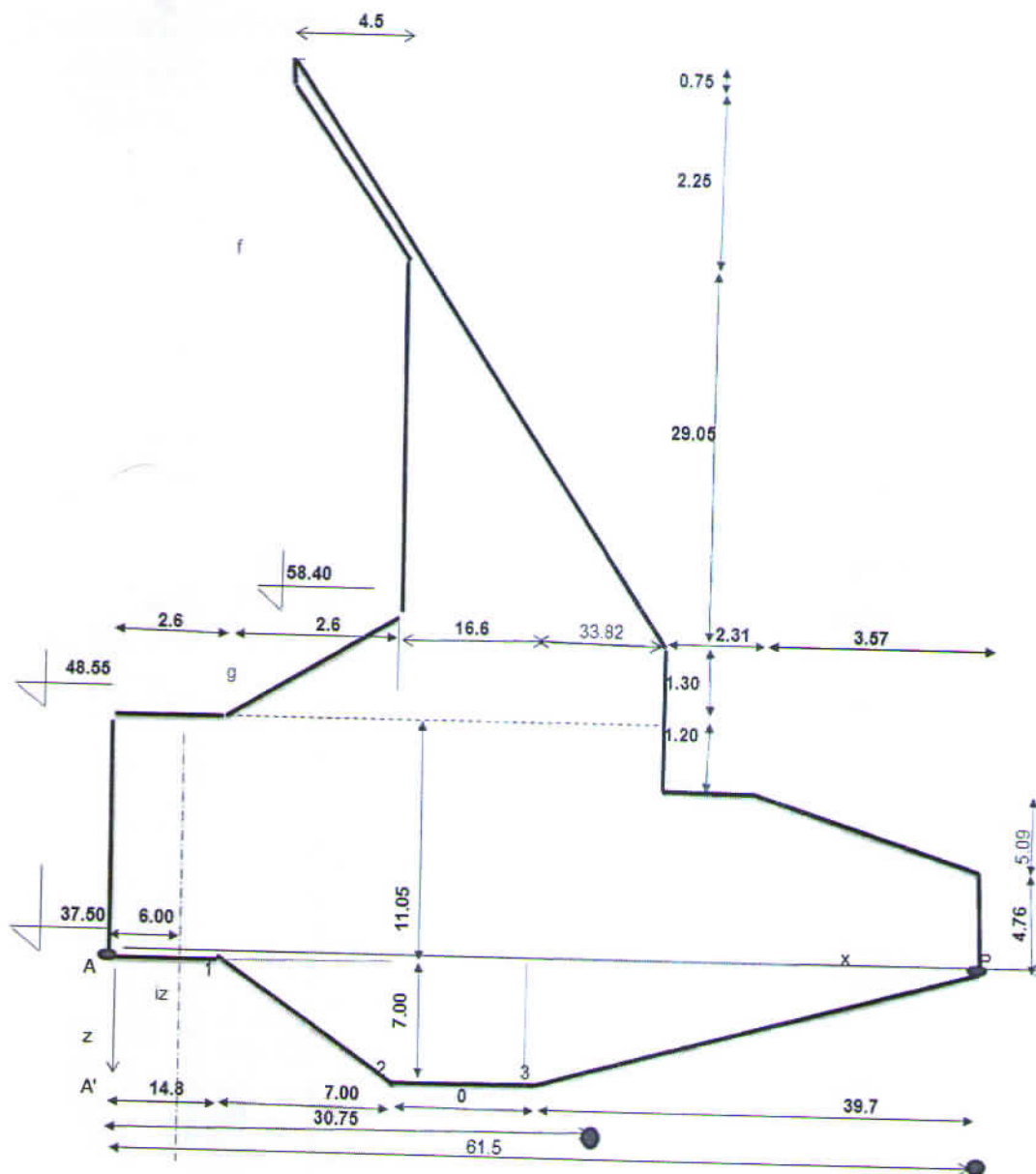
- **Opterećenja:**

- **sopstvena težina brane:**

$$\gamma_b = 24,0 \text{ kN/m}^3$$

$$B = 61,5 \text{ m}$$

$$\Sigma A = 1774,48 \text{ m}^2$$



Slika 3.7: Geometrijski parametri prelivne lamele

$$G_B = \gamma_b \cdot \Sigma A = 24 \cdot 1774,48 = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

$$M_B = 215966,80 \text{ kNm/m'}$$

- **sopstvena težina stene:**

$$\gamma_{st} = 26,0 \text{ kN/m}^3 \text{ (у сувом стању)}$$

$$\Sigma A = 267,05 \text{ m}^2$$

$$V_{ST} = \Sigma A \cdot \gamma_{st} = 6943,3 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 8286,91 \text{ kNm/m'}$$

- **uticaji od kamenog nabačaja:**

$$\gamma_k = 23,0 \text{ kN/m}^3 \text{ (у сувом стању)}$$

$$H_{ap,k} = 2458,74 \text{ kN/m'}$$

$$V_k = 1672,91 \text{ kN/m'}$$

$$M_k = 7853,20 \text{ kNm/m'}$$

• **Uticaji u težištu temeljne spojnice:**

$$G_B = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

$$M_B = 215966,80 \text{ kNm/m'}$$

$$V_{ST} = 6943,3 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 8286,91 \text{ kNm/m'}$$

$$V_k = 1672,91 \text{ kN/m'}$$

$$M_k = 7853,20 \text{ kNm/m'}$$

• **Ukupni uticaji:**

$$V = G_B + V_{ST} + V_k = 42587,60 + 6943,3 + 1672,91 = 51203,81 \text{ kN/m'}$$

$$M = M_B + M_{ST} + M_k = 215966,80 + 8286,91 + 7853,20 = 232106,91 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

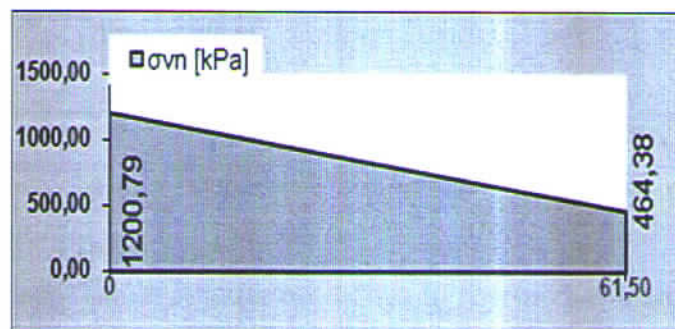
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

• **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W = 51203,81/61,5 \pm 232106,91/630,375$$

$$\sigma_v^u = 1200,79 \text{ kPa} = 1,20 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 464,38 \text{ kPa} = 0,46 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$



Slika 3.8: Naponi u temeljnoj spojnici pri I kombinaciji opterećenja

### 3.2.2. Druga kombinacija opterećenja

Druga kombinacija opterećenja se javlja pri normalnom radu brane, kada je nivo vode u akumulaciji na koti normalnog uspora ( $KGV(nu) = 945,00 \text{ mm}$ ).

1. Sigurnosti protiv klizanja – horizontalna klizna ravan

## a) horizontalna filtracija

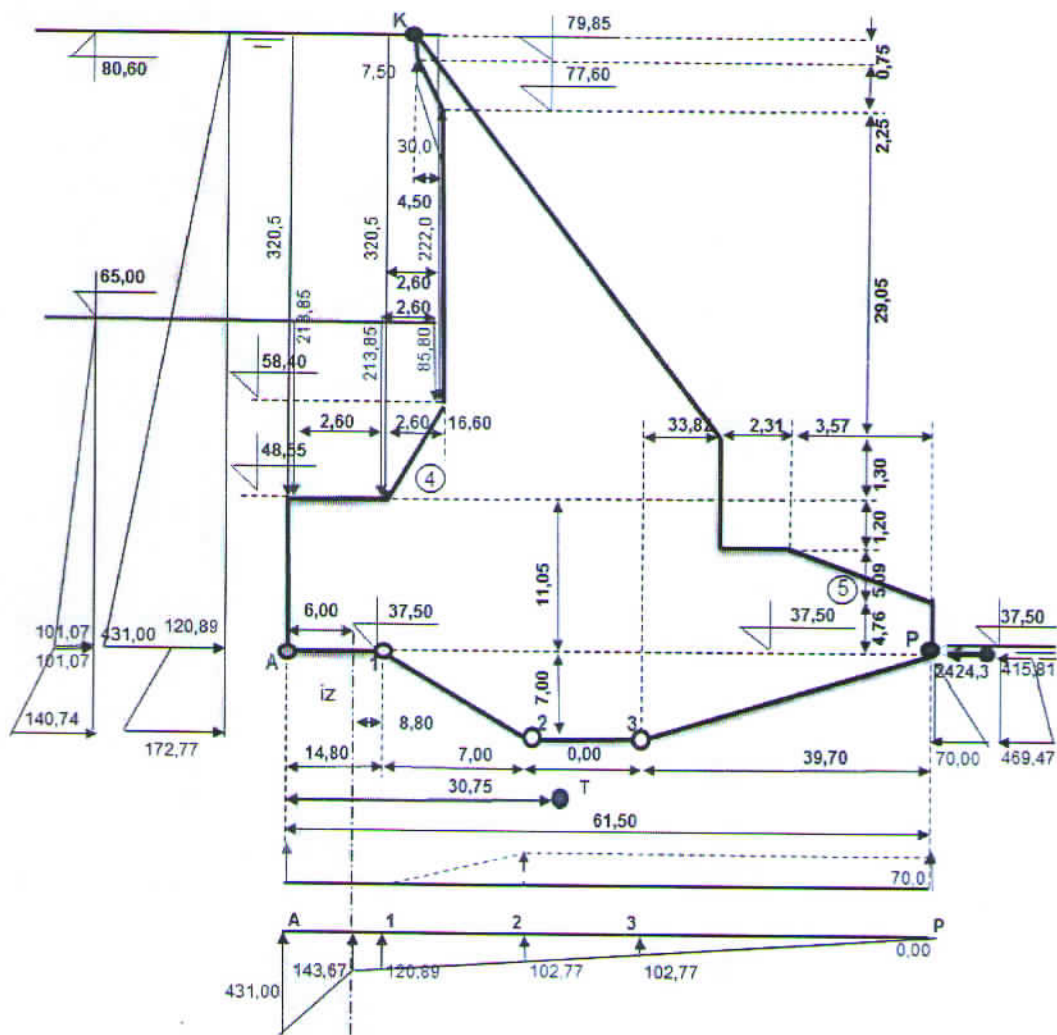
• Opterećenja:

- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

- **Težina stene:**

$$V_{ST} = 3751,65 \text{ kN/m'}$$



Slika 3.9: Šema za II K.O. horizontalna klizna ravan - horizontalna filtracija

- **Dodatno trenje od nizvodnog betonskog bloka:**

$$H_{tb} = -2403,22 \text{ kN}$$

- **Horizontalni pritisci tla:**

$$p_{u,v} = 101,07 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{u,d} = 140,74 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{au,v} = 408,71 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{au,d} = 462,38 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{bt} = -2202,49 \text{ kN}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$\gamma_n = 23,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n' = \gamma_n - \gamma_v = 23,0 - 10,0 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,283$$

$$p_n = \gamma_n' \cdot h_n \cdot \xi_a = 101,07 \text{ kN/m}^2$$

$$H_n = 1389,72 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$\gamma_v = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{v,u} = 10315,84 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1454,18 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 8734,75 \text{ kN/m'}$$

- **Donja voda:**

$$H_{v,n} = -245,00 \text{ kN/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V = 40004,23 \text{ kN/m'}$$

$$H = 6854,85 \text{ kN/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 3,37 > C_{k,k}^{\min} = 1,30$$

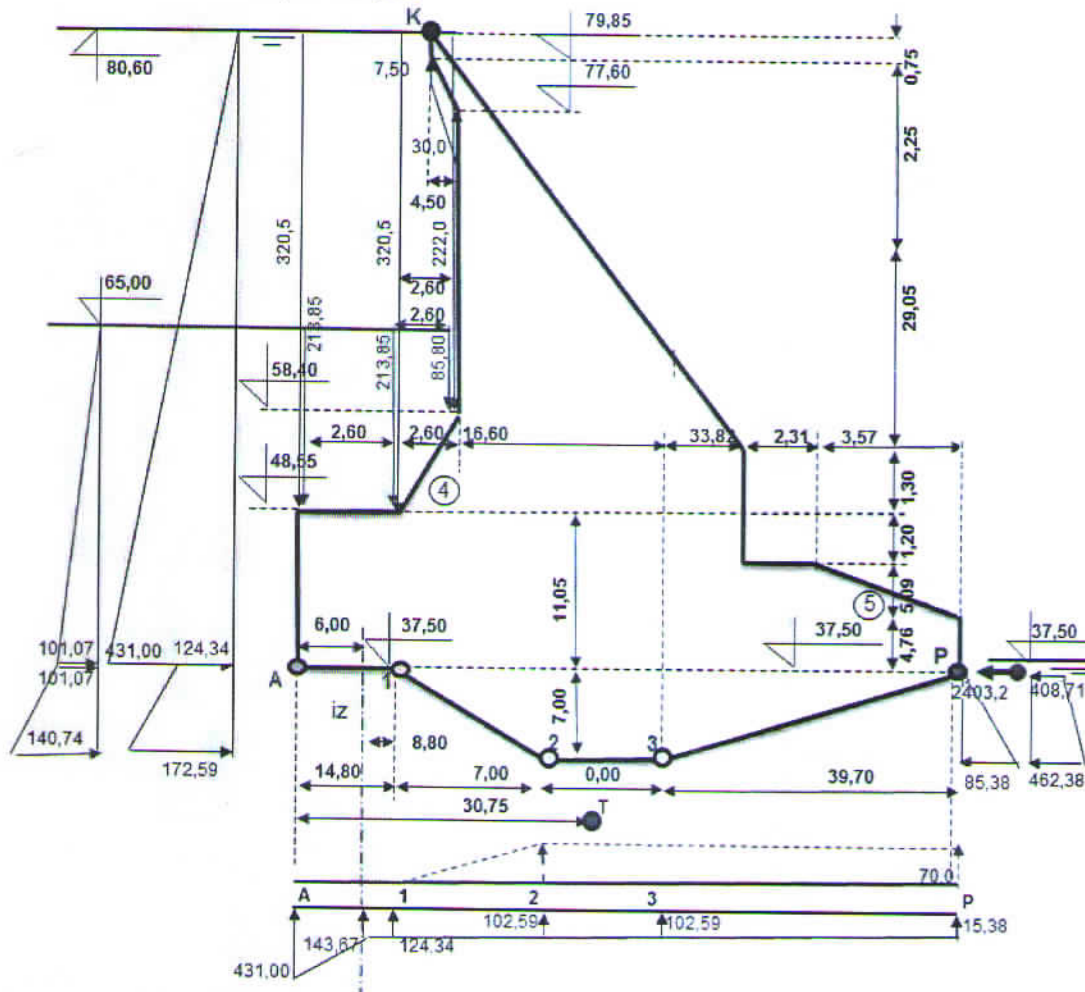


b) kontaktna filtracija

• Opterećenja

- **Sopstvena težina:**  
 $G = 42587,60 \text{ kN/m'}$

- **Težina stene:**  
 $V_{ST} = 3751,65 \text{ kN/m'}$



Slika 3.10: Šema za II K.O. horizontalna klizna ravan - kontaktna filtracija

- **Dodatno trenje od nizvodnog betonskog bloka:**

$$H_{tb} = -2403,22 \text{ kN}$$

- **Horizontalni pritisci tla:**

$$H_{bt} = -2202,49 \text{ kN}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$\gamma_n = 23,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n' = \gamma_n - \gamma_v = 23,0 - 10,0 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,283$$

$$p_n = \gamma_n' \cdot h_n \cdot \xi_a = 101,07 \text{ kN/m}^2$$

$$H_n = 1389,72 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$\gamma_v = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{v,u} = 10327,28 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1454,18 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 9063,06 \text{ kN/m'}$$

- **Donja voda:**

$$H_{v,n} = -298,82 \text{ kN/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V = 39675,92 \text{ kN/m'}$$

$$H = 6812,47 \text{ kN/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 3,362 > C_{k,k}^{\text{min}} = 1,30$$

**2. Sigurnosti protiv klizanja – kosa klizna ravan**

## a) horizontalna filtracija

• **Opterećenja**- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

- Donja voda:

$$H_{v,n} = -604,68 \text{ kN/m'}$$

• Ukupni uticaji

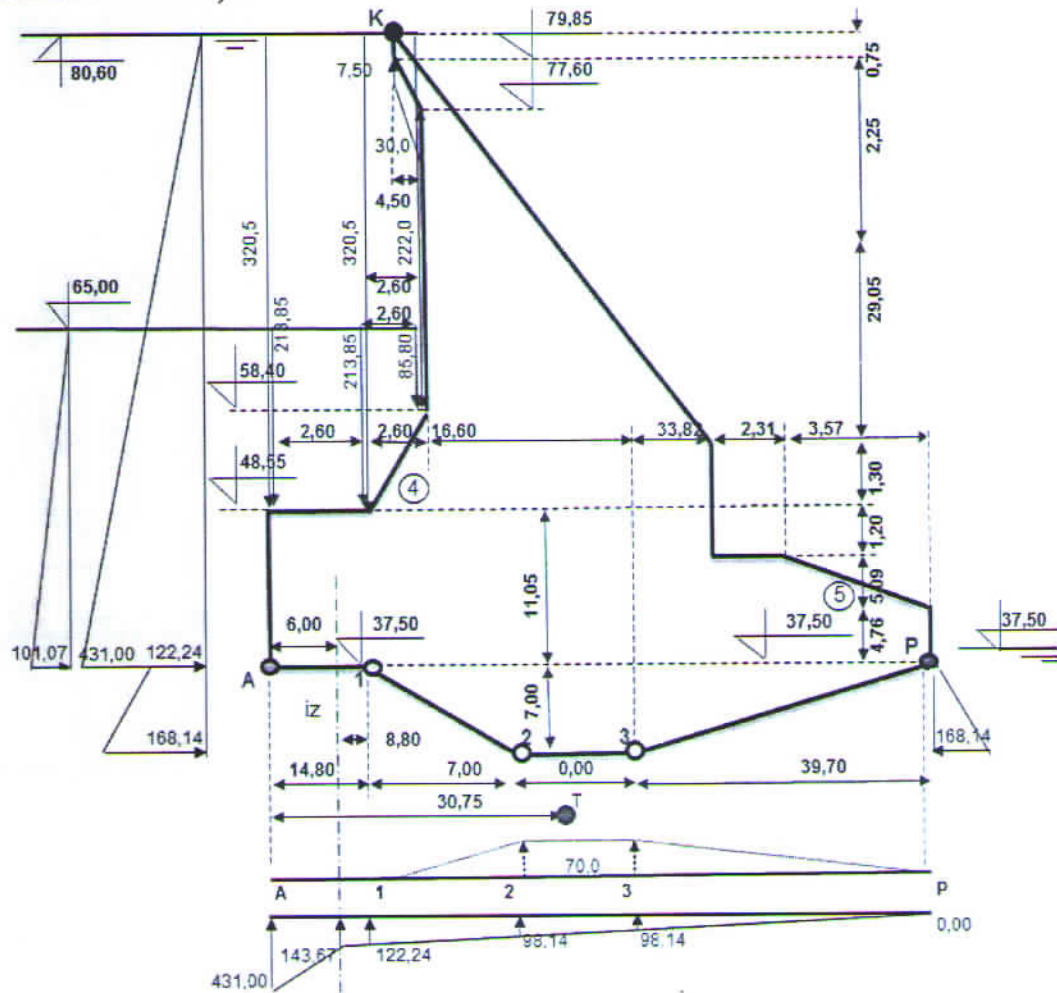
$$V = 37642,08 \text{ kN/m'}$$

$$H = 11100,88 \text{ kN/m'}$$

• Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \text{tg } \alpha)}{H - V \cdot \text{tg } \alpha} = 5,122 > C_{k,k}^{\text{min}} = 1,30$$

b) kontaktna filtracija



Slika 3.12: Šema za II K.O. kosa klizna ravan - kontaktna filtracija

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$H_n = 1389,72 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$\gamma_v = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{v,u} = 10304,40 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1454,18 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 7247,97 \text{ kN/m'}$$

- **Donja voda:**

$$H_{v,n} = -588,50 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 37739,36 \text{ kN/m'}$$

$$H = 11105,62 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 5,149 > C_{k,k}^{\min} = 1,30$$

### 3. Sigurnosti protiv prevrtanja

a) horizontalna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.11)

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$M_G^V = 1525535,5 \text{ kNm/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$M_n^V = 55981,7 \text{ kNm/m'}$$

$$M_n^P = 12739,1 \text{ kNm/m'}$$

- **Gornja voda:**  
 $M_{v,u^V} = 94651,7 \text{ kNm/m'}$   
 $M_{v,u^P} = 138340,5 \text{ kNm/m'}$

- **Uzgon:**  
 $M_{u^P} = 296299,4 \text{ kNm/m'}$

- **Donja voda:**  
 $M_{v,n^P} = 1143,3 \text{ kNm/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$M_v = 1676168,9 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 448522,3 \text{ kNm/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja**

$$C_p = \frac{M_v}{M_P} = 3,737 > C_{p}^{\min} = 1,50$$

b) kontaktna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.12)

- **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**  
 $M_G^V = 1525535,5 \text{ kNm/m'}$

- **Kameni nabačaj:**  
 $M_n^V = 55981,7 \text{ kNm/m'}$   
 $M_n^P = 12739,1 \text{ kNm/m'}$

- **Gornja voda:**  
 $M_{v,u^V} = 94587,2 \text{ kNm/m'}$   
 $M_{v,u^P} = 138340,5 \text{ kNm/m'}$

- **Uzgon:**  
 $M_{u^P} = 293695,8 \text{ kNm/m'}$

– **Donja voda:**

$$M_{v,n^P} = 1406,1 \text{ kNm/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$M_v = 1676104,4 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 446181,5 \text{ kNm/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja**

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 3,757 > C_p^{\min} = 1,50$$

**4. Sigurnosti protiv isplivavanja**

a) horizontalna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.11)

• **Opterećenja**

– **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

– **Kameni nabačaj:**

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

– **Gornja voda:**

$$V_{v,u\downarrow} = 1538,55 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u\uparrow} = 84,38 \text{ kN/m'}$$

– **Uzgon:**

$$U = 7345,25 \text{ kN/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V_D = 45071,71 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7429,63 \text{ kN/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja**

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 6,066 > C_i^{\min} = 1,10$$

b) kontaktna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.12)

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$V_{v,u\downarrow} = 1538,55 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u\uparrow} = 84,38 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 7247,97 \text{ kN/m}$$

- Ukupni uticaji

$$V_D = 45071,71 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7332,34 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 6,147 > C_i^{\min} = 1,50$$

## 5. Naponi u temeljnoj spojnici

a) horizontalna filtracija

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

$$M_G = 215966,8 \text{ kNm/m'}$$

- **Težina stene:**

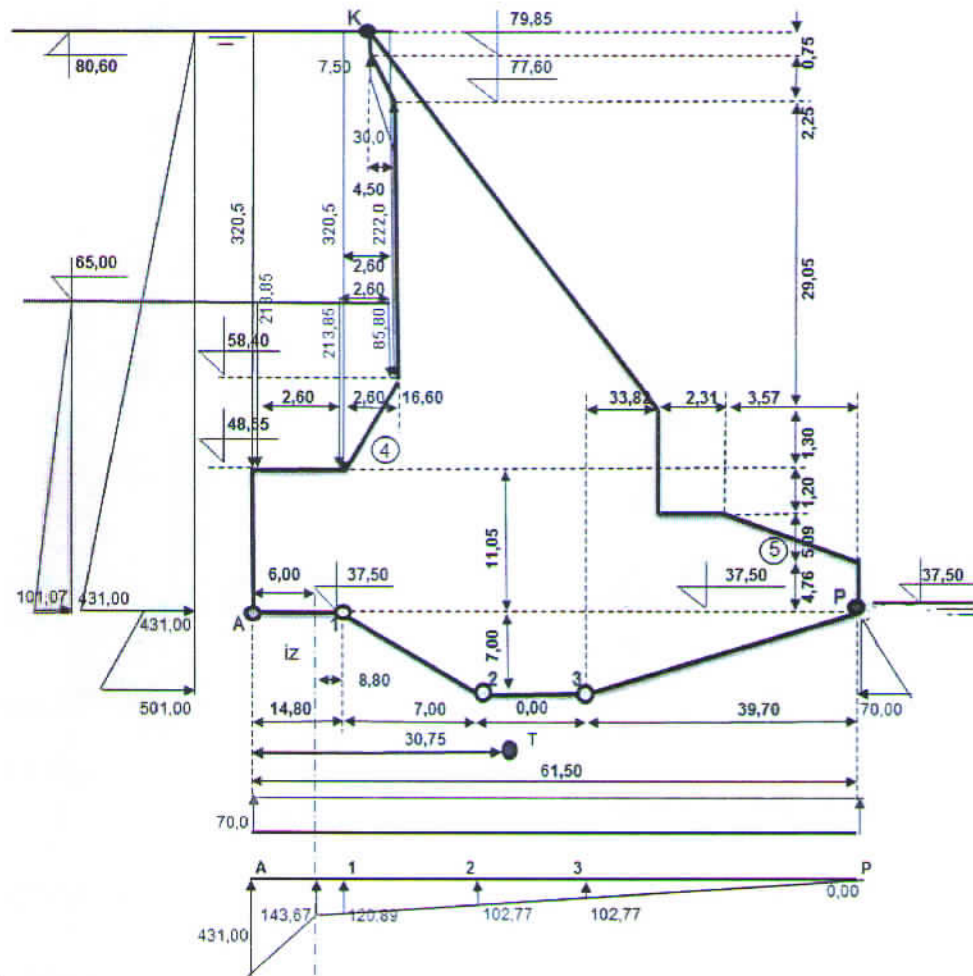
$$G_{ST} = 7210,35 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 8605,6 \text{ kNm/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$V_{kn} = 945,56 \text{ kN/m'}$$

$$M_{kn} = 4438,8 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.13: Šema za II K.O. horizontalna temeljna ravan - horizontalna filtracija

- **Gornja voda:**

$$V_{v,u} = 1454,18 \text{ kN/m'}$$

$$M_{v,u} = -168361,4 \text{ kNm/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 10015,75 \text{ kN/m'}$$

$$M_u = -73620,2 \text{ kNm/m'}$$

- **Donja voda:**

$$M_{v,n} = 571,7 \text{ kNm/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V = 42181,93 \text{ kN/m'}$$

$$M = -12398,7 \text{ kNm/m'}$$



$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

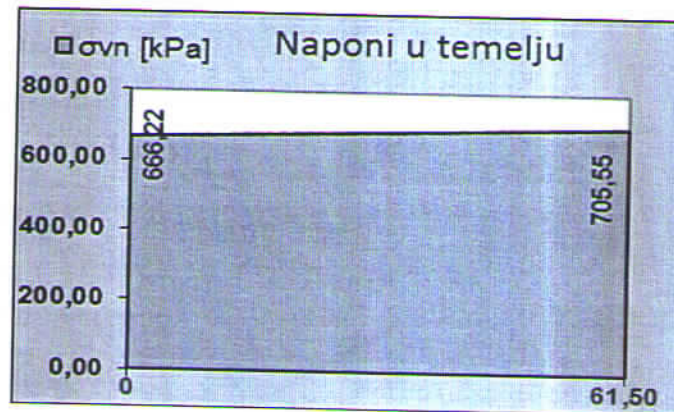
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 666,22 \text{ kPa} = 0,666 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 705,55 \text{ kPa} = 0,706 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$



Slika 3.14: Naponi u temeljnoj spojnici pri II kombinaciji opterećenja za usvojenu horizontalnu filtraciju

b) kontaktna filtracija

- **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

$$M_G = 215966,8 \text{ kNm/m'}$$

- **Težina stene:**

$$G_{ST} = 7210,35 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 8605,6 \text{ kNm/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

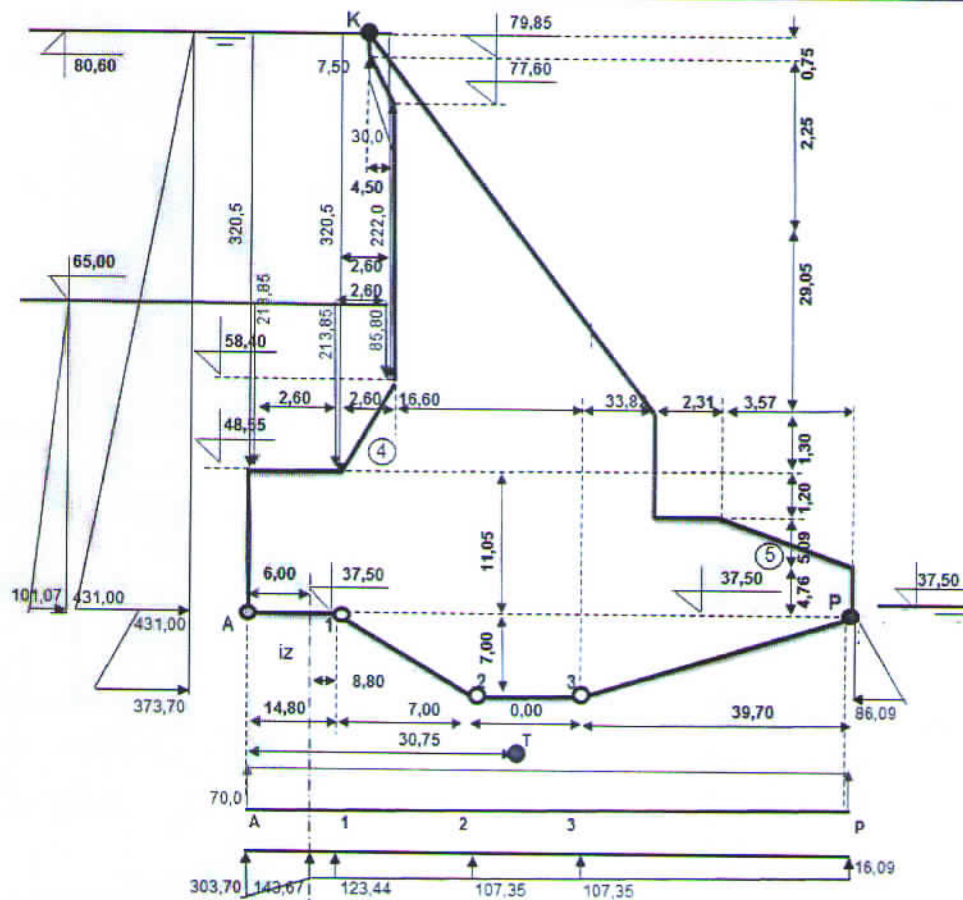
$$V_{kn} = 945,56 \text{ kN/m'}$$

$$M_{kn} = 4438,8 \text{ kNm/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$V_{v,u} = 1454,18 \text{ kN/m'}$$

$$M_{v,u} = -167321,7 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.15: Šema za II K.O. horizontalna temeljna ravan - kontaktna filtracija

- **Uzgon:**

$$U = 10080,37 \text{ kN/m'}$$

$$M_u = -57170,8 \text{ kNm/m'}$$

- **Donja voda:**

$$M_{v,n} = 703,1 \text{ kNm/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V = 42117,31 \text{ kN/m'}$$

$$M = 5221,8 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

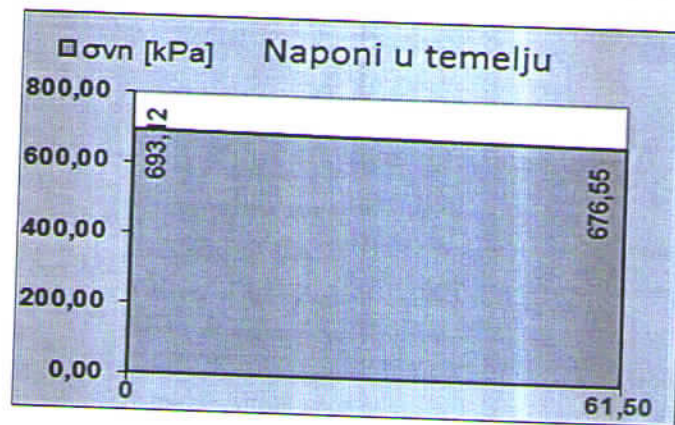
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

• **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_{v^u} = 693,12 \text{ kPa} = 0,693 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v^n} = 676,55 \text{ kPa} = 0,677 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$



Slika 3.16: Naponi u temeljnoj spojnici pri II kombinaciji opterećenja za usvojenu kontaktnu filtraciju

### 3.2.3. Treća kombinacija opterećenja

Treća kombinacija opterećenja se javlja pri nailasku velike vode, kada je nivo vode u akumulaciji dostiže kotu maksimalnog uspora  $Z_{mu} = 84,00$  mm. Smatra se da antifiltracione mere ne funkcionišu.

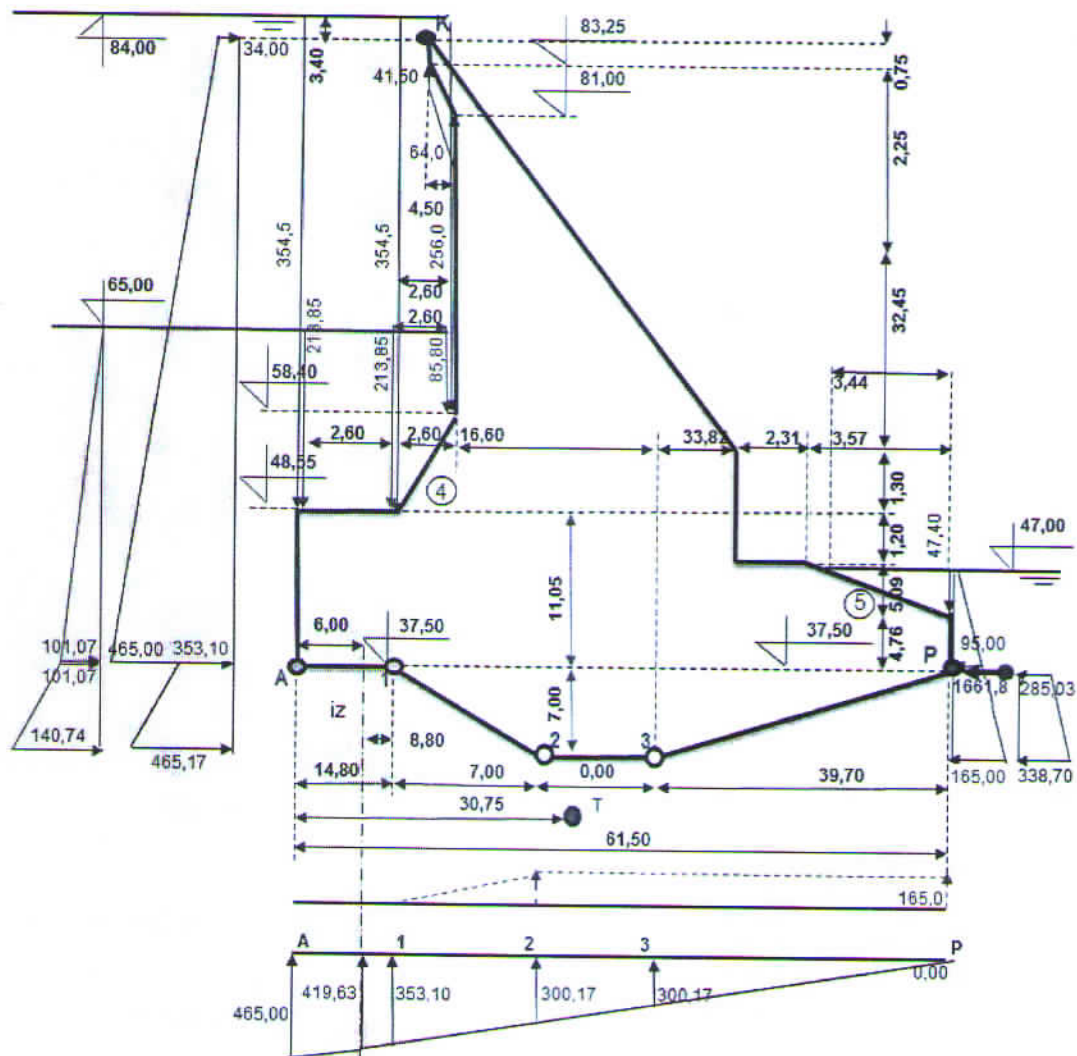
#### 1. Sigurnosti protiv klizanja – horizontalna klizna ravan

##### a) horizontalna filtracija

##### • Opterećenja:

- **Sopstvena težina:**  
 $G = 42587,60 \text{ kN/m'}$
- **Težina stene:**  
 $V_{st} = 3751,65 \text{ kN/m'}$
- **Dodatno trenje od nizvodnog betonskog bloka:**  
 $H_{tb} = -1640,75 \text{ kN}$
- **Horizontalni pritisci tla:**  
 $p_{u,v} = 101,07 \text{ kN/m}^2$   
 $p_{u,d} = 140,74 \text{ kN/m}^2$   
  
 $p_{au,v} = 279,04 \text{ kN/m}^2$   
 $p_{au,d} = 332,71 \text{ kN/m}^2$

$$H_{bt} = -1294,78 \text{ kN}$$



Slika 3.17: Šema za III K.O. horizontalna klizna ravan - horizontalna filtracija

- **Kameni nabačaj:**

$$\gamma_n = 23,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n' = \gamma_n - \gamma_v = 23,0 - 10,0 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,283$$

$$p_n = \gamma_n' \cdot h_n \cdot \xi_a = 101,07 \text{ kN/m}^2$$

$$H_n = 1389,72 \text{ kN/m}$$

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m}$$

- **Gornja voda:**

$$\gamma_v = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{v,u} = 13617,39 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1477,98 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 21426,75 \text{ kN/m'}$$

- **Donja voda:**

$$H_{v,n} = -1361,25 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,n} = 244,81 \text{ kN/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V = 27580,84 \text{ kN/m'}$$

$$H = 10710,33 \text{ kN/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,487 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$$

## b) kontaktna filtracija

• **Opterećenja**- **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

- **Težina stene:**

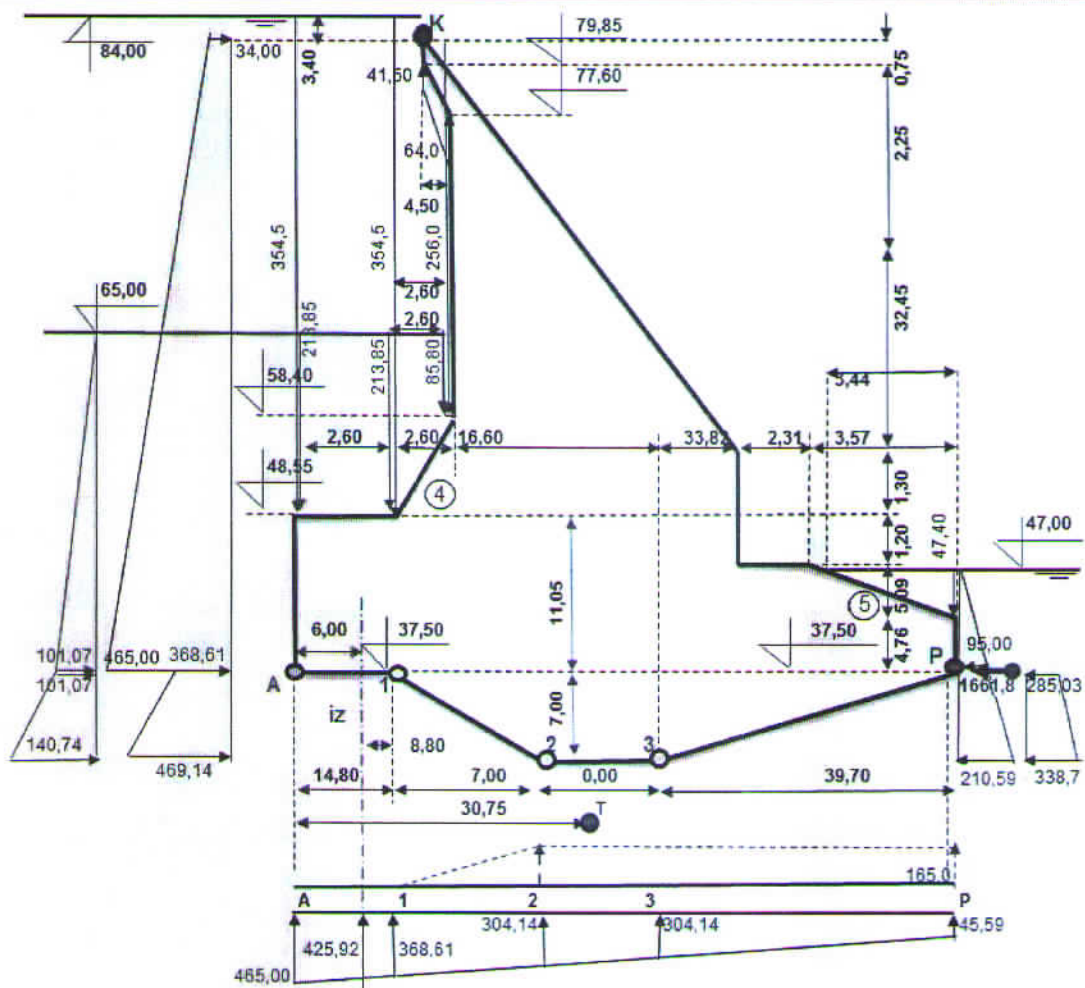
$$V_{st} = 3751,65 \text{ kN/m'}$$

- **Dodatno trenje od nizvodnog betonskog bloka:**

$$H_{tb} = -1640,75 \text{ kN}$$

- **Horizontalni pritisci tla:**

$$H_{bt} = -1294,78 \text{ kN}$$



Slika 3.18: Šema za III K.O. horizontalna klizna ravan - kontaktna filtracija

– **Kameni nabačaj:**

$$\gamma_n = 23,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n' = \gamma_n - \gamma_v = 23,0 - 10,0 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,283$$

$$p_n = \gamma_n' \cdot h_n \cdot \xi_a = 101,07 \text{ kN/m}^2$$

$$H_n = 1389,72 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

– **Gornja voda:**

$$\gamma_v = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{v,u} = 13685,59 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1477,98 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**  
 $U = 1477,98 \text{ kN/m'}$
- **Donja voda:**  
 $H_{v,n} = -1520,81 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,n} = 244,81 \text{ kN/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 26414,09 \text{ kN/m'}$$

$$H = 10618,96 \text{ kN/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

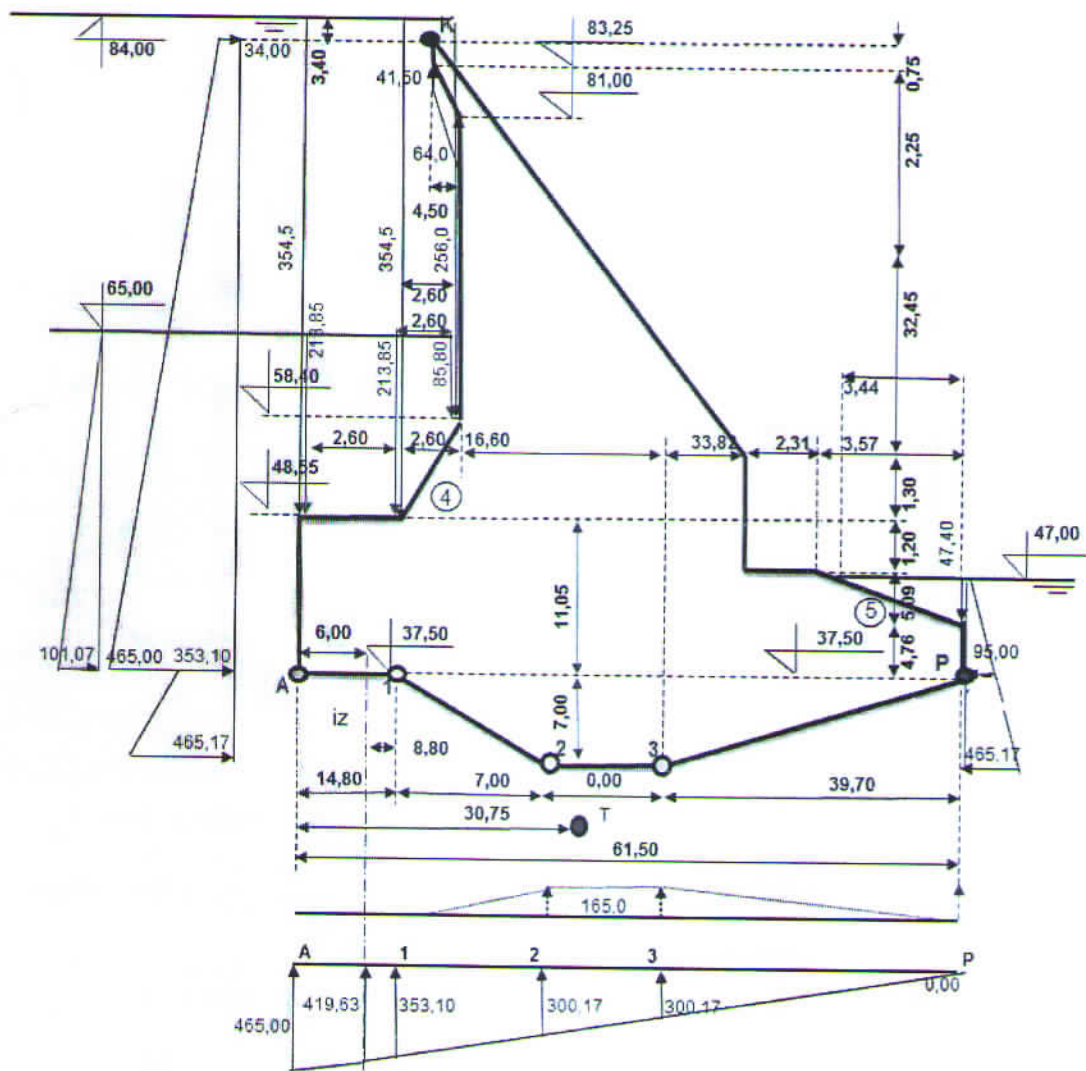
$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,436 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$$

## 2. Sigurnosti protiv klizanja – kosa klizna ravan

### a) horizontalna filtracija

- **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**  
 $G = 42587,60 \text{ kN/m'}$
- **Kameni nabačaj:**  
 $H_n = 1389,72 \text{ kN/m'}$   
 $V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$
- **Gornja voda:**  
 $\gamma_v = 10,0 \text{ kN/m}^3$   
 $H_{v,u} = 13617,39 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,u} = 1477,98 \text{ kN/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 18151,50 \text{ kN/m'}$
- **Donja voda:**  
 $H_{v,n} = -2411,85 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,n} = 244,81 \text{ kN/m'}$



Slika 3.19: Šema za III K.O. kosa klizna ravan - horizontalna filtracija

- Ukupni uticaji

$$V = 27104,44 \text{ kN/m'}$$

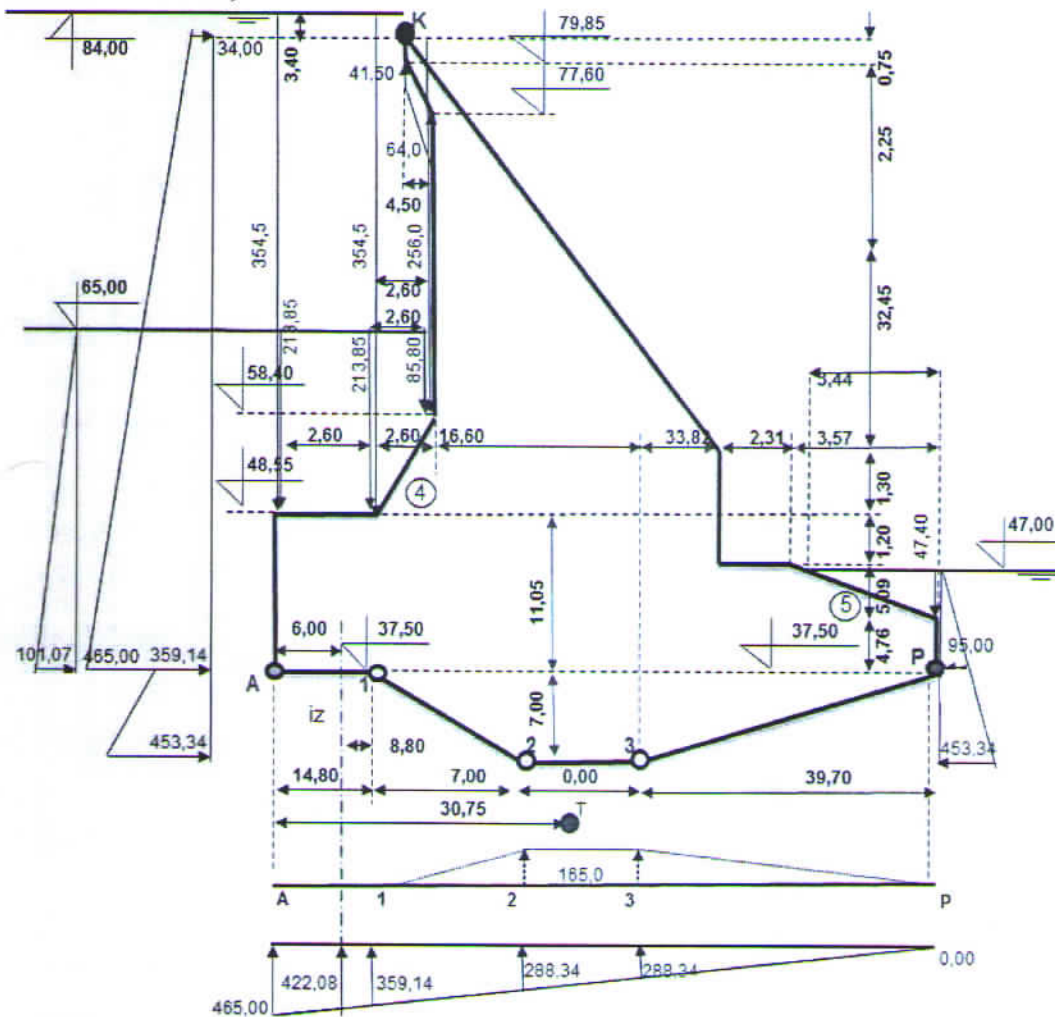
$$H = 12595,26 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 2,166 > C_{k,k}^{\min} = 1,10$$



## b) kontaktna filtracija



Slika 3.20: Šema za III K.O. kosa klizna ravan - kontaktna filtracija

• Opterećenja

- Sopstvena težina:

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

- Kameni nabačaj:

$$H_n = 1389,72 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 945,56 \text{ kN/m'}$$

- Gornja voda:

$$H_{v,u} = 13597,12 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1477,98 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**  
 $U = 17941,05 \text{ kN/m'}$

- **Donja voda:**  
 $H_{v,n} = -1520,81 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,n} = 244,81 \text{ kN/m'}$

• **Ukupni uticaji**  
 $V = 27314,89 \text{ kN/m'}$   
 $H = 12616,42 \text{ kN/m'}$

• **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \text{tg } \alpha)}{H - V \cdot \text{tg } \alpha} = 2,186 > C_{k,k}^{\text{min}} = 1,10$$

### 3. Sigurnosti protiv prevrtanja

a) horizontalna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.19)

• **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**  
 $M_G^V = 1525535,5 \text{ kNm/m'}$

- **Kameni nabačaj:**  
 $M_n^V = 55981,7 \text{ kNm/m'}$   
 $M_n^P = 12739,1 \text{ kNm/m'}$

- **Gornja voda:**  
 $M_{v,u}^V = 111737,5 \text{ kNm/m'}$   
 $M_{v,u}^P = 178878,0 \text{ kNm/m'}$

- **Uzgon:**  
 $M_u^P = 697208,0 \text{ kNm/m'}$

- **Donja voda:**  
 $M_{v,n}^V = 2400,1 \text{ kNm/m'}$   
 $M_{v,n}^P = 3470,8 \text{ kNm/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V_D = 45493,31 \text{ kN/m'}$$

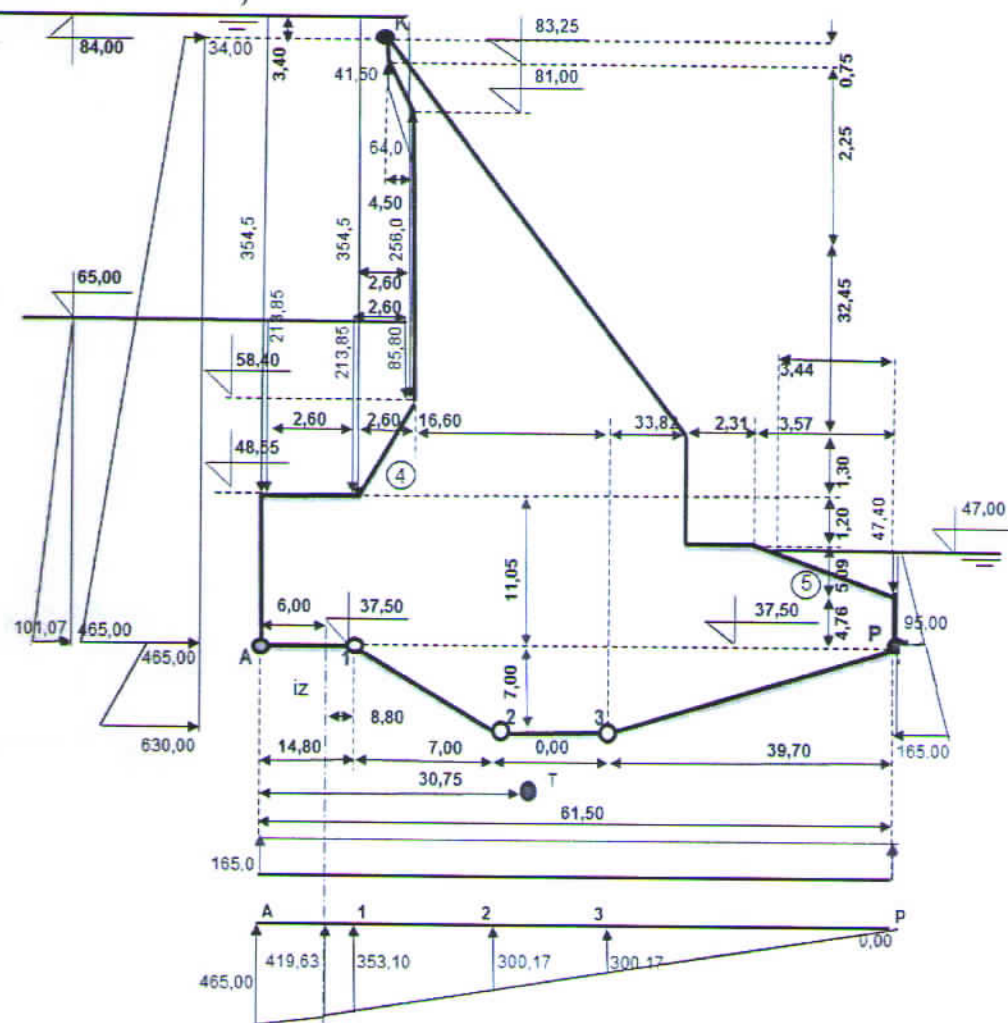
$$V_G = 18178,42 \text{ kN/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv isplivanja**

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 2,503 > C_{i,\min} = 1,10$$

## 5. Naponi u temeljnoj spojnici

### a) horizontalna filtracija



Slika 3.21: Šema za III K.O. horizontalna temeljna ravan - horizontalna filtracija

- **Opterećenja**

- Sopstvena težina:

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

$$M_G = 215966,8 \text{ kNm/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**  
 $V_{kn} = 945,56 \text{ kN/m'}$   
 $M_{kn} = 4438,8 \text{ kNm/m'}$
- **Gornja voda:**  
 $V_{v,u} = 1477,98 \text{ kN/m'}$   
 $M_{v,u} = -211083,8 \text{ kNm/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 24446,25 \text{ kN/m'}$   
 $M_u = -146562 \text{ kNm/m'}$
- **Donja voda:**  
 $V_{v,n} = 244,81 \text{ kN/m'}$   
 $M_{v,n} = 930,2 \text{ kNm/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 28020,04 \text{ kN/m'}$$

$$M = -127704,6 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

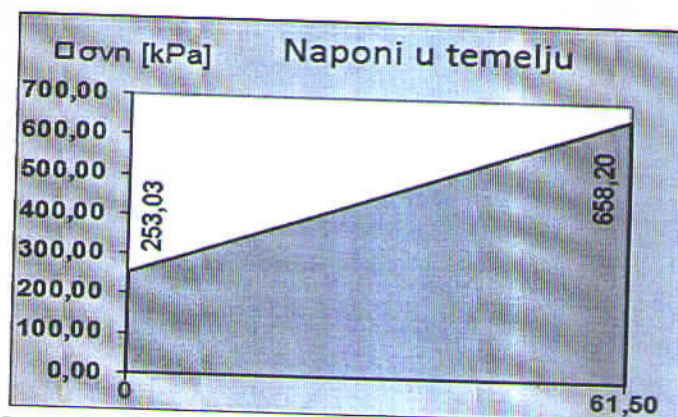
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_{v,u} = 253,03 \text{ kPa} = 0,253 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v,n} = 658,20 \text{ kPa} = 0,658 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$



Slika 3.22: Naponi u temeljnoj spojnici pri III kombinaciji opterećenja za usvojenu horizontalnu filtraciju

## b) kontaktna filtracija

• Opterećenja– **Sopstvena težina:**

$$G = 42587,60 \text{ kN/m'}$$

$$M_G = 215966,8 \text{ kNm/m'}$$

– **Težina stene:**

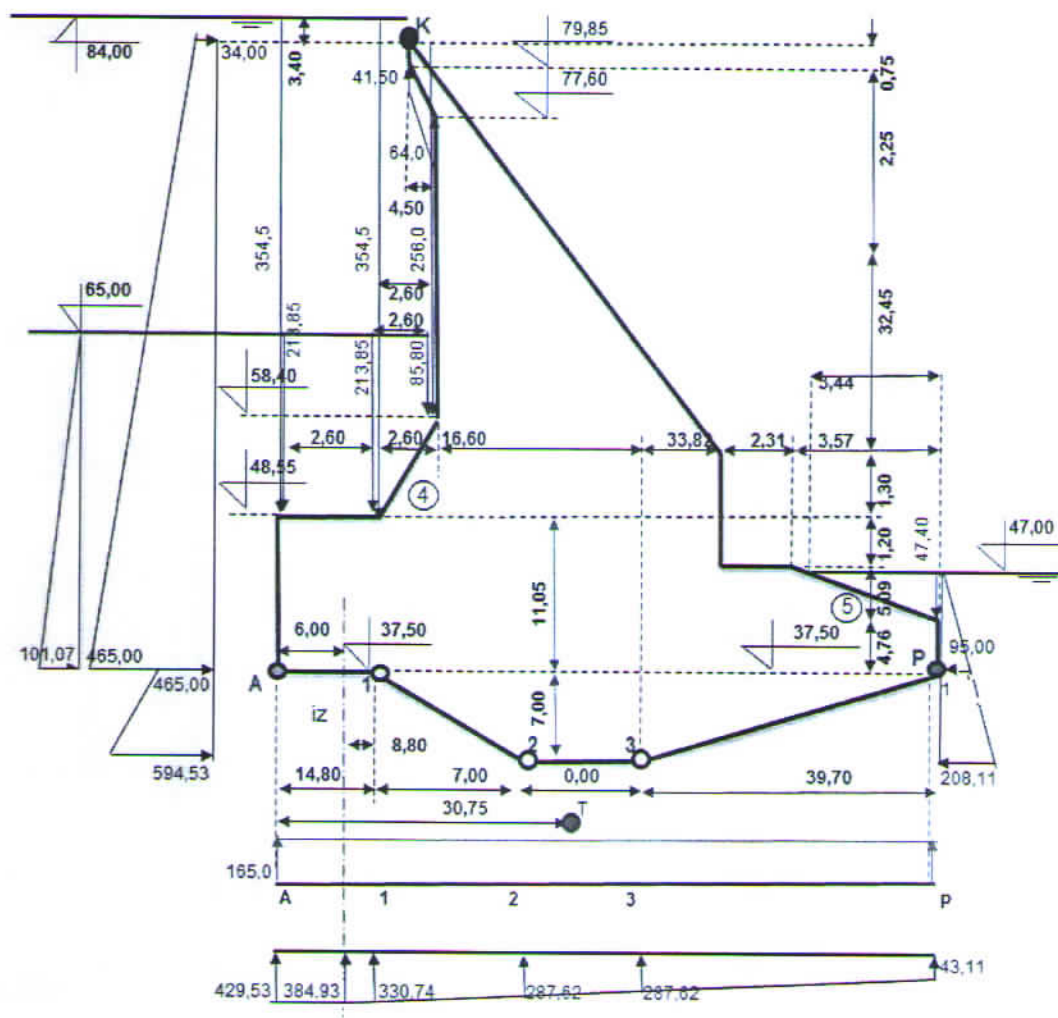
$$G_{ST} = 7210,35 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 8605,6 \text{ kNm/m'}$$

– **Kameni nabačaj:**

$$V_{kn} = 945,56 \text{ kN/m'}$$

$$M_{kn} = 4438,8 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.23: Šema za III K.O. horizontalna temeljna ravan - kontaktna filtracija

- **Gornja voda:**  
 $V_{v,u} = 1477,98 \text{ kN/m'}$   
 $M_{v,u} = -210794,1 \text{ kNm/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 24469,17 \text{ kN/m'}$   
 $M_u = -120044 \text{ kNm/m'}$
- **Donja voda:**  
 $V_{v,n} = 244,81 \text{ kN/m'}$   
 $M_{v,n} = 1282,3 \text{ kNm/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 27997,12 \text{ kN/m'}$$

$$M = -100544,7 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

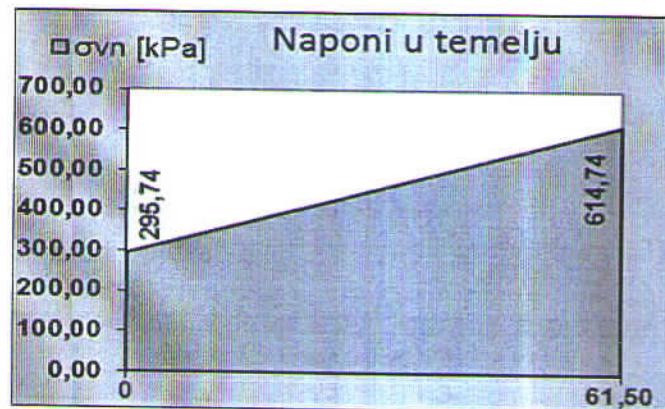
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 295,74 \text{ kPa} = 0,296 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 614,74 \text{ kPa} = 0,615 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$



Slika 3.24: Naponi u temeljnoj spojnici pri III kombinaciji opterećenja za usvojenu kontaktnu filtraciju

### 3.2.4. Četvrta kombinacija opterećenja

Četvrta kombinacija opterećenja podrazumeva da se na objektu javljaju svi uticaji iz druge kombinacije opterećenja (normalan rad brane), a dodaju se i uticaji od zemljotresa. Zemljotres izaziva inercijalne sile u brani i hidrodinamički pritisak vode i dinamički pritisak nanosa.

Ovde je proračun IV kombinacije vršen sa tri različite metode koje se razlikuju u načinu usvajanja koeficijenta seizmičnosti, za isto maksimalno seizmičko ubrzanje  $\alpha = 0,425 \cdot g$ .

**Prva metoda:** koeficijent seizmičnosti korišćen u proračunu je samo horizontalni, koji je dve trećine ukupnog ubrzanja. Dinamički koeficijent se redukuje sa  $\alpha_s = 1,5$  na  $\alpha_s = 1$ , što predstavlja uobočajenu praksu u Energoprojektu.

**Druga metoda:** koeficijent seizmičnost je samo horizontalni i odgovara preporukama po „Pravilniku o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seimičkim područjima“ (1987) [1], a dinamički koeficijent je  $\alpha_s = 1,5$ .

**Treća metoda:** Uzima se u obzir i vertikalno ubrzanje brane. Ovaj proračun je urađen da bi se ispitala stabilnost objekta i u slučaju kada se epicentar zemljotresa nalazi na velikoj dubini u zoni objekta. Koeficijent duktilnosti je usvojen  $k_d = 2$ , pri čemu su horizontalni i vertikalni seizmički koeficijenti u odnosu:  $K_{sh}/K_{sv} = 2/1$ . Dinamički koeficijent je  $\alpha_s = 1,5$ .

Uticao inercijalnih sila biće sračunat metodom koeficijenata (približna statička metoda). Ova metoda pretpostavlja da zemljotres deluje horizontalno na branu sa vertikalnom uzvodnom konturom.

**Seizmička sila** iznad nekog posmatranog horizontalnog preseka u telu brane (videti sliku 3.25.) deluje u težištu dela brane iznad tog preseka i određuje se standardno prema izrazu:

$$S = G \cdot \alpha_s \cdot k_s \quad (3.11)$$

gde su:

$S$  – seizmička inercijalna sila,

$G$  – težina dela brane i opreme iznad posmatranog preseka,

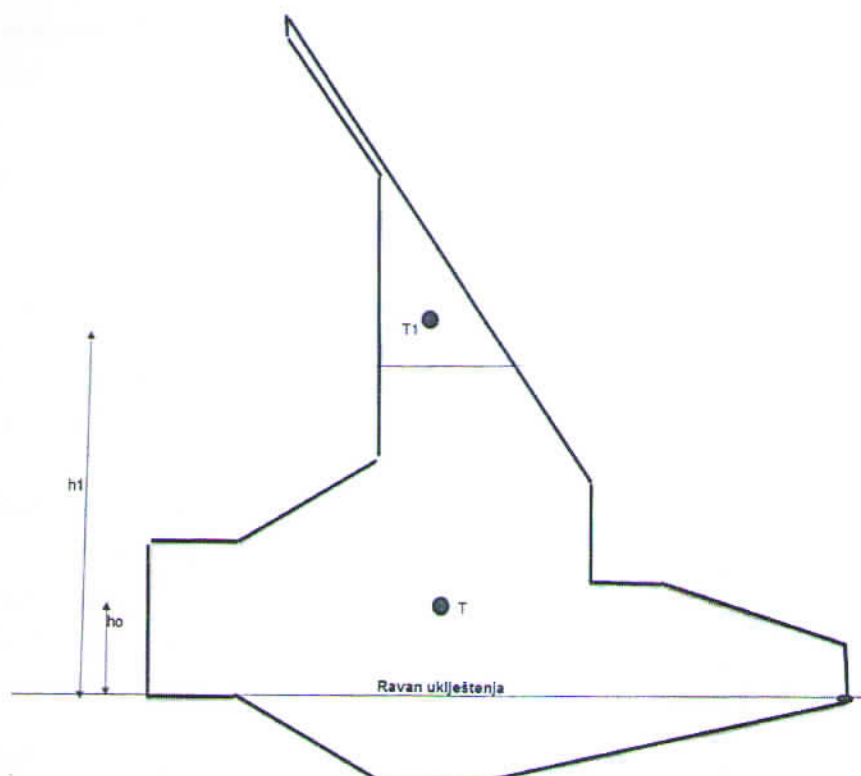
$k_s$  – koeficijent seizmičnosti,

$\alpha_s$  – dinamički koeficijent koji se dobija kao.

$$\alpha_s = 1 + 0,5 \cdot h_1/h_0 \quad (3.12)$$

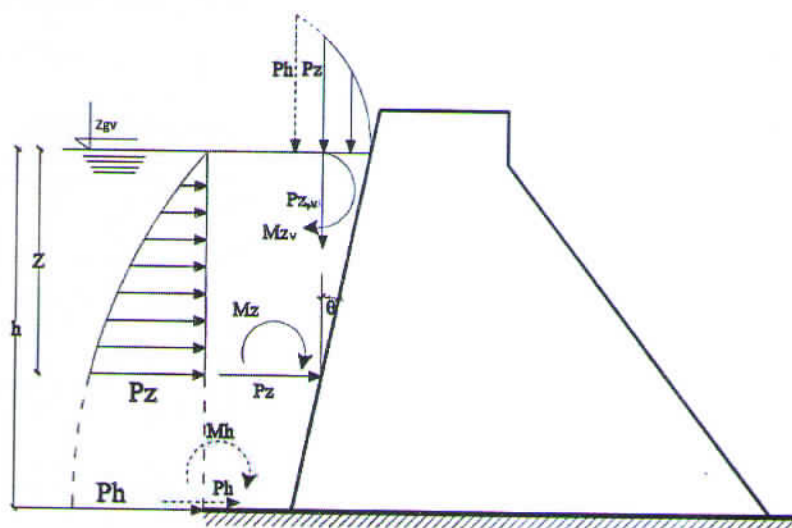
$h_1$  – udaljnje težišta posmatranog dela u odnosu na uklještenje,

$h_0$  – udaljnje težišta celokupnog preseka od uklještenja.



Slika 3.25: Oznake veličina kod metode koeficijenata

**Hidrodinamički pritisak vode** se javlja pri delovanju zemlotresa na hidrotehnički objekat. Zbog najednakok oscilovanja objekta i okolne vode može doći do njihovog sudaranja, što je posebno opasno kada je sila od udara istog pravca i smera kao inercijalna i hidrostatička sila.



Slika 3.26: Oznake veličina kod Zangarovog postupka



Postoje različiti postupci za određivanje seizmičkih hidrodinamičkih uticaja, a ovde će hidrodinamički pritisak biti određen korišćenjem Zangarove parabole (slika 3.26.) što je uslovljeno kosom uzvodnom konturom objekta.

Jednačina Zangarove parabole data je sledećim izrazom:

$$pz = C \cdot \alpha \cdot \gamma v \cdot h \quad (3.13)$$

gde su:

$pz$  [m] – ordinata parabole hidrodinamičkog pritiska upravnog na uzvodnu konturu brane, na dubini  $z$ ,

$C$  – bezdimenzionalni koeficijent koji zavisi od dubine preseka za koji se računa ordinata pritiska, a računa se prema izrazu:

$$C = \frac{C_m}{2} \cdot \left[ \frac{z}{h} \cdot \left( 2 - \frac{z}{h} \right) + \sqrt{\frac{z}{h} \cdot \left( 2 - \frac{z}{h} \right)} \right] \quad (3.14)$$

$\alpha$  – horizontalno ubrzanje temelja (stene) pri zemljotresu, podeljeno sa ubrzanjem zemljine teže  $g$ ,

$\gamma v$  – zapreminska težina vode,

$h$  – najveća dubina vode ispred brane,

$z$  – dubina vode na kojoj se traži veličina  $pz$ , meri se od površine vode,

$C_m$  – maksimalna vrednost  $C$  za zadati nagib uzvodne površine u odnosu na vertikalnu, data u tabeli 3.1.

Tabela 3.5 Zavisnost koeficijenta  $C_m$  od nagiba uzvodne konture

угао $\theta$ у степенима	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$C_m$ , експериментално	0,735	0,615	0,505	0,410	0,295	0,165	0,000
$C_m$ , рачунско	0,735	0,630	0,520	0,410	0,295	0,165	0,000
$C$ на дубини $z = h$	0,735	0,600	0,470	0,360	0,205	0,110	0,000

U proračunima se uvek uzima koeficijent  $C_m$ , računsko jer matematički nisu definisane eksperimentalne parabole za koju bi se koristili koeficijenti  $C_m$ , eksperimentalno i  $S$  na dubini  $z=h$ . Za uglove nagiba konture koji se nalaze između uglova datih u gornjoj tabeli treba izvršiti linearnu interpolaciju.

Kod brana sa kombinovanom vertikalnom i horizontalnom uzvodnom konturom ugao nagiba prema vertikali se određuje:

- ako je visina vertikalnog dela jednaka ili veća od polovine ukupne visine uzeti da je uzvodna kontura vertikalna.
- ako je visina vertikalnog dela manja od polovine ukupne visine, tada se računski ugao nagiba konture dobija kada se tačka preseka konture brane i površine vode spoji sa tačkom preseka konture brane i terena.

Ukupna sila ( $P_z$ ) iznad preseka na dubini  $z$  i ukupan moment u preseku ( $M_z$ ) računaju se direktnim integraljenjem izraza (3.13) [4].

U proračunu se uzima u obzir hidrodinamički pritisak sa uzvodne strane, dok se sa nizvodne strane zanemaruje, zbog malog intenziteta.

#### 1. METODA:

Maksimalno seizmičko ubrzanje:  $\alpha = 0,425 \cdot g$

Koeficijent seizmilnosti:  $k_s = 2/3 \cdot \alpha / g = 0,283$

Dinamički koeficijent:  $\alpha_s = 1$

- Inercijalna uticaji od sopstvene težine objekta:

- Površina poprečnog preseka brane do kote uklještenja:

$$A = 1621,48 \text{ m}^2$$

- Težina iznad uklještenja:

$$G = A \cdot \gamma_b = 1621,48 \cdot 24 = 38915,40 \text{ kN/m}$$

- Inercijalna sila:

$$S = G \cdot \alpha_s \cdot k_s = 11026,03 \text{ kN/m}$$

– **Momenti od inercijalne sile:**

$$M_S = -255808,6 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,S} = 178626,4 \text{ kNm/m'}$$

• **Uticaji od hidrodinamičkog opterećenja:**

Koeficijant nagiba uzvodne konture ( $\theta = 0,78$ )  $\rightarrow C_m = 0,735$

Dubina vode u akumulaciji:  $h = z = 80,6 - 37,5 = 43,10 \text{ m}$

$$\alpha = 0,425$$

*previs:*

$$p_{h1} = C(z = 0,75\text{m}) \cdot \alpha \cdot \gamma_v \cdot h = 0,081 \cdot 0,425 \cdot 10 \cdot 43,1 = 14,83 \text{ kN/m'}$$

$$p_{h2} = C(z = 3,00\text{m}) \cdot \alpha \cdot \gamma_v \cdot h = 0,184 \cdot 0,425 \cdot 10 \cdot 43,1 = 33,72 \text{ kN/m'}$$

*uzvodna stolica:*

$$p_{h3} = C(z = 22,2\text{m}) \cdot \alpha \cdot \gamma_v \cdot h = 0,602 \cdot 0,425 \cdot 10 \cdot 43,1 = 110,4 \text{ kN/m'}$$

$$p_{h4} = C(z = 32,05\text{m}) \cdot \alpha \cdot \gamma_v \cdot h = 0,699 \cdot 0,425 \cdot 10 \cdot 43,1 = 128,0 \text{ kN/m'}$$

*dno:*

$$p_{h4} = C_m \cdot \alpha \cdot \gamma_v \cdot h = 0,735 \cdot 0,425 \cdot 10 \cdot 43,1 = 134,63 \text{ kN/m'}$$

– **Horizontalna sila:**

$$H_Z = 4212,96 \text{ kN/m}$$

– **Vertikalna sila:**

$$V_Z = 532,39 \text{ kN/m}$$

$$V_{Z \downarrow} = 644,99 \text{ kN/m}$$

$$V_{Z \uparrow} = 112,60 \text{ kN/m}$$

– **Momenti:**

$$M_Z = -77005,9 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{v,Z} = 58592,31 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,Z} = 79506,20 \text{ kNm/m'}$$

• **Seizmički uticaji od kamenog nabaćaja:**

Aktivan seizmički pritisak kamenog nabacaja:

$$H_{kn} = 27,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{kn} = \gamma_{kn} - \gamma_v = 23,0 - 10,0 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$p_{snz} = [k_s \cdot \text{tg}(45 + \varphi_n/2)] \cdot \gamma_{kn} \cdot h_z \cdot \xi_a$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - \varphi_n/2) = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,2827$$

$$k_s = 0,283$$

$$p_{skn} = 0,2827 \cdot \operatorname{tg}(45 + 34/2) \cdot 13,0 \cdot 27,5 \cdot 0,2827 = 53,86 \text{ kN/m}^2$$

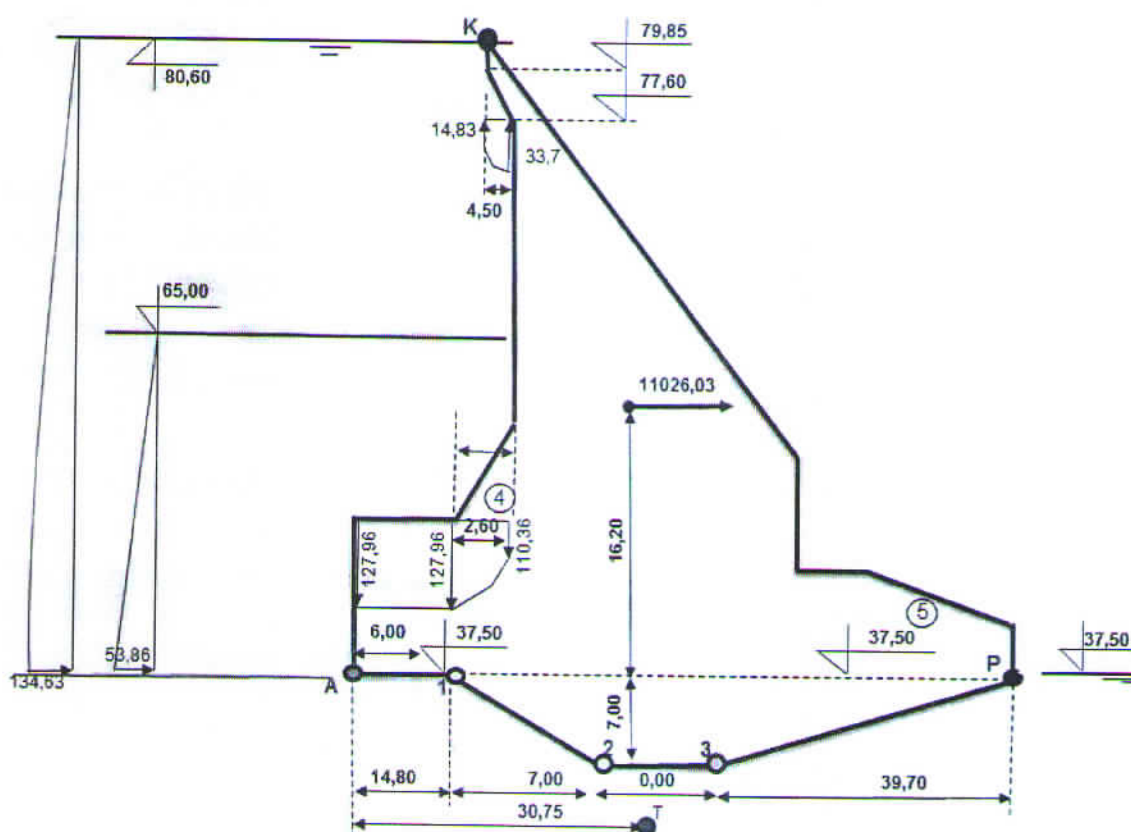
– **Horizontalna sila:**

$$H_{kS} = 740,54 \text{ kN/m}$$

– **Momenti:**

$$M_{kS} = -11972,13 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,kS} = 6788,32 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.27: Seizmički uticaji u metodi 1

1. Sigurnosti protiv klizanja – horizontalna klizna ravan

a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{IIKO} = 40004,23 \text{ kN/m'}$$

$$H_{IIKO} = 6854,85 \text{ kN/m'}$$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 40536,62 \text{ kN/m'}$$

$$H = 22763,64 \text{ kN/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,028 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

## b) kontaktna filtracija

- **II Kombinacija opterećenja:**

$$V_{\text{IIKO}} = 39675,92 \text{ kN/m'}$$

$$H_{\text{IIKO}} = 6812,47 \text{ kN/m'}$$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 40208,31 \text{ kN/m'}$$

$$H = 22721,26 \text{ kN/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,022 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

**2. Sigurnosti protiv klizanja – kosa klizna ravan**

## a) horizontalna filtracija

- **II Kombinacija opterećenja:**

$$V_{\text{IIKO}} = 37642,08 \text{ kN/m'}$$

$$H_{\text{IIKO}} = 11100,88 \text{ kN/m'}$$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 38174,47 \text{ kN/m'}$$

$$H = 27080,40 \text{ kN/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \text{tg } \alpha)}{H - V \cdot \text{tg } \alpha} = 1,219 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

## b) kontaktna filtracija

• II Kombinacija opterećenja:

$$V_{\text{IIKO}} = 37739,36 \text{ kN/m'}$$

$$H_{\text{IIKO}} = 11105,62 \text{ kN/m'}$$

• Ukupni uticaji

$$V = 38271,75 \text{ kN/m'}$$

$$H = 27085,15 \text{ kN/m'}$$

• Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \text{tg } \alpha)}{H - V \cdot \text{tg } \alpha} = 1,222 > C_{k,k}^{\text{min}} = 1,05$$

3. Sigurnosti protiv prevrtanja

## a) horizontalna filtracija

• II Kombinacija opterećenja:

$$M_{V, \text{IIKO}} = 1676168,9 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{P, \text{IIKO}} = 448522,3 \text{ kNm/m'}$$

• Ukupni uticaji

$$M_V = 1734761,2 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 713443,2 \text{ kNm/m'}$$

• Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 2,4315 > C_p^{\text{min}} = 1,10$$

## b) kontaktna filtracija

• II Kombinacija opterećenja:

$$M_{V, \text{IIKO}} = 1676104,4 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{P, \text{IIKO}} = 446181,5 \text{ kNm/m'}$$

• Ukupni uticaji

$$M_V = 1734696,7 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 711102,4 \text{ kNm/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 2,439 > C_{p}^{\min} = 1,10$$

#### 4. Sigurnosti protiv isplivavanja

##### a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{D, IIKO} = 45071,71 \text{ kN/m'}$$

$$V_{G, IIKO} = 7429,63 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V_D = 45604,10 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7429,63 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 6,138 > C_i^{\min} = 1,30$$

##### b) kontaktna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{D, IIKO} = 45071,71 \text{ kN/m'}$$

$$V_{G, IIKO} = 7332,34 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V_D = 45604,10 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7332,34 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 6,220 > C_i^{\min} = 1,30$$

#### 5. Naponi u temeljnoj spojnici

##### a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{IIKO} = 42181,93 \text{ kN/m'}$$

$$M_{IIKO} = -12398,7 \text{ kNm/m'}$$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 42714,32 \text{ kN/m'}$$

$$M = -357185,3 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

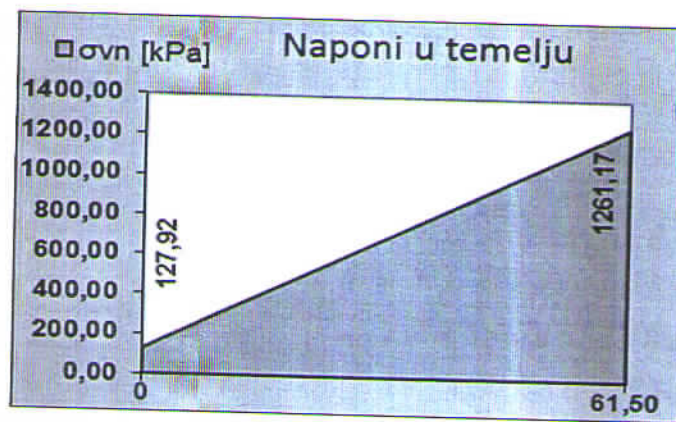
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 127,92 \text{ kPa} = 0,128 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 1261,17 \text{ kPa} = 1,261 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$



Slika 3.28: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 1. metodi), za usvojenu horizontalnu filtraciju

b) kontaktna filtracija

- **II Kombinacija opterećenja:**

$$V = 42117,31 \text{ kN/m'}$$

$$M = 5221,8 \text{ kNm/m}$$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 42649,70 \text{ kN/m'}$$

$$M = -339564,9 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

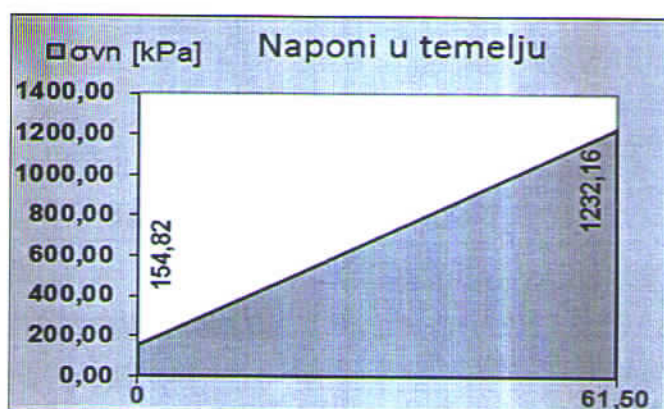
- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 154,82 \text{ kPa} = 0,155 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 1232,16 \text{ kPa} = 1,232 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$





Slika 3.29: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 1. metodi), za usvojenu kontaktanu filtraciju

## 2. METODA:

Maksimalno seizmičko ubrzanje:  $\alpha = 0,425 \cdot g$

Koeficijent seizmilnosti:  $k_s = 1/4 \cdot \alpha / g = 0,1063$

Dinamički koeficijent:  $\alpha_s = 1,5$

- Inercijalni uticaji od sopstvene težine objekta:

- Inercijalna sila:

$$S = G \cdot \alpha_s \cdot k_s = 6202,14 \text{ kN/m'}$$

- Momenti od inercijalne sile:

$$M_S = -143892,3 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,S} = 100477,4 \text{ kNm/m'}$$

- Uticaji od hidrodinamičkog opterećenja:

- Horizontalna sila:

$$H_Z = 4212,96 \text{ kN/m}$$

- Vertikalna sila:

$$V_Z = 532,39 \text{ kN/m}$$

$$V_{Z \downarrow} = 644,99 \text{ kN/m}$$

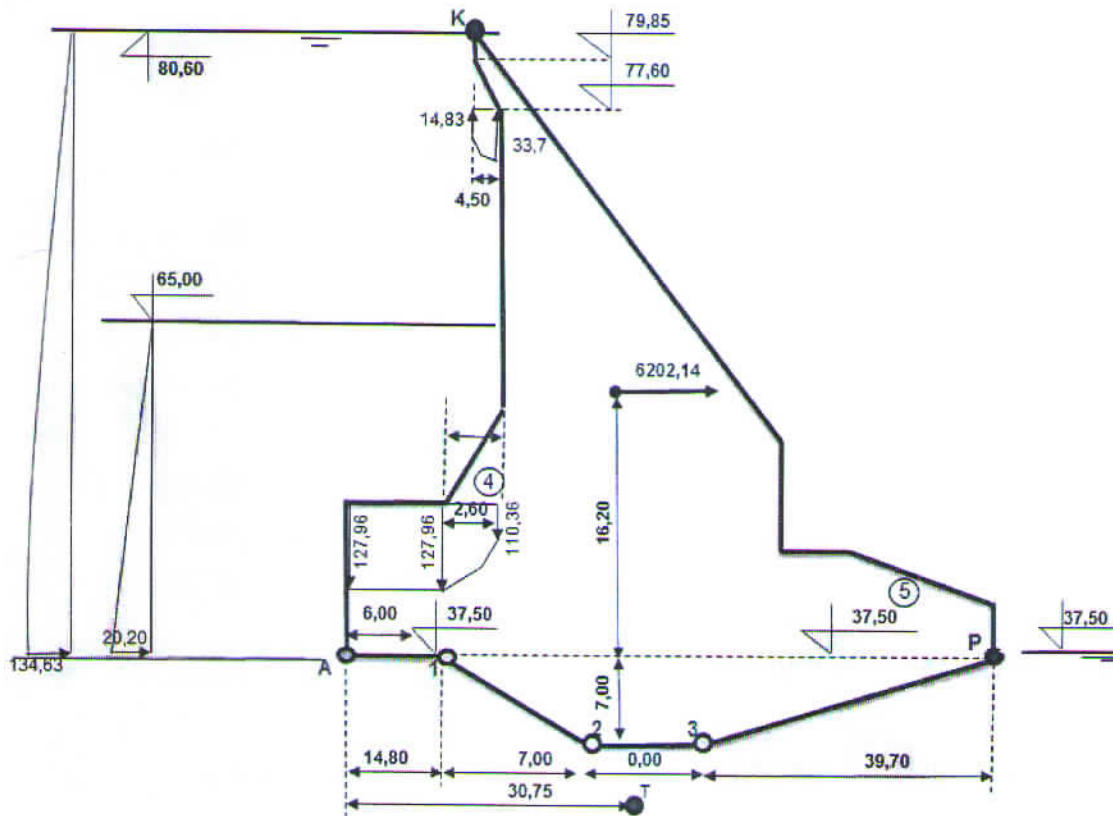
$$V_{Z \uparrow} = 112,60 \text{ kN/m}$$

- **Momenti:**

$$M_Z = -77005,9 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{v,Z} = 58592,31 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,Z} = 79506,20 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.30: Seizmički uticaji u metodi 2

• **Seizmički uticaji od kamenog nabacaja:**

Aktivan seizmički pritisak kamenog nabacaja:

$$H_{kn} = 27,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{kn}' = \gamma_{kn} - \gamma_v = 23,0 - 10,0 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$p_{snz} = [k_s \cdot \text{tg}(45 + \varphi_n/2)] \cdot \gamma_{kn}' \cdot h_z \cdot \xi_a$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - \varphi_n/2) = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,2827$$

$$k_s = 0,1063$$

$$p_{skn} = 0,1063 \cdot \text{tg}(45 + 34/2) \cdot 13,0 \cdot 27,5 \cdot 0,2827 = 20,20 \text{ kN/m}^2$$

- **Horizontalna sila:**

$$H_{kS} = 277,70 \text{ kN/m}$$

– **Momenti:**

$$M_{kS} = -4489,55 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,kS} = 2545,62 \text{ kNm/m'}$$

## 1. Sigurnosti protiv klizanja – horizontalna klizna ravan

### a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{IIKO} = 40004,23 \text{ kN/m'}$$

$$H_{IIKO} = 6854,85 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 40536,62 \text{ kN/m'}$$

$$H = 17476,91 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,339 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

### b) kontaktna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{IIKO} = 39675,92 \text{ kN/m'}$$

$$H_{IIKO} = 6812,47 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 40208,31 \text{ kN/m'}$$

$$H = 17434,53 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,332 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

## 2. Sigurnosti protiv klizanja – kosa klizna ravan

### a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{IIKO} = 37642,08 \text{ kN/m'}$$

$$H_{IIKO} = 11100,88 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 38174,47 \text{ kN/m'}$$

$$H = 21793,68 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 1,610 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

## b) kontaktna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{\text{IIKO}} = 37739,36 \text{ kN/m'}$$

$$H_{\text{IIKO}} = 11105,62 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 38271,75 \text{ kN/m'}$$

$$H = 21798,42 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 1,616 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

3. Sigurnosti protiv prevrtanja

## a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$M_{V, \text{IIKO}} = 1676168,9 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{P, \text{IIKO}} = 448522,3 \text{ kNm/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$M_V = 1734761,2 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 631051,5 \text{ kNm/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 2,749 > C_p^{\min} = 1,10$$

## b) kontaktna filtracija

• II Kombinacija opterećenja:

$$M_{V, \text{IKO}} = 1676104,4 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{P, \text{IKO}} = 446181,5 \text{ kNm/m'}$$

• Ukupni uticaji

$$M_V = 1734696,7 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 628710,7 \text{ kNm/m'}$$

• Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 2,759 > C_{p, \text{min}} = 1,10$$

## 4. Sigurnosti protiv isplivavanja

## a) horizontalna filtracija

• II Kombinacija opterećenja:

$$V_{D, \text{IKO}} = 45071,71 \text{ kN/m'}$$

$$V_{G, \text{IKO}} = 7429,63 \text{ kN/m'}$$

• Ukupni uticaji

$$V_D = 45604,10 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7429,63 \text{ kN/m'}$$

• Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 6,138 > C_{i, \text{min}} = 1,30$$

## b) kontaktna filtracija

• II Kombinacija opterećenja:

$$V_{D, \text{IKO}} = 45071,71 \text{ kN/m'}$$

$$V_{G, \text{IKO}} = 7332,34 \text{ kN/m'}$$

• Ukupni uticaji

$$V_D = 45604,10 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7332,34 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 6,220 > C_{i,\min} = 1,30$$

### 5. Naponi u temeljnoj spojnici

#### a) horizontalna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V_{\text{IIKO}} = 42181,93 \text{ kN/m'}$$

$$M_{\text{IIKO}} = -12398,7 \text{ kNm/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 42714,32 \text{ kN/m'}$$

$$M = -237786,4 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

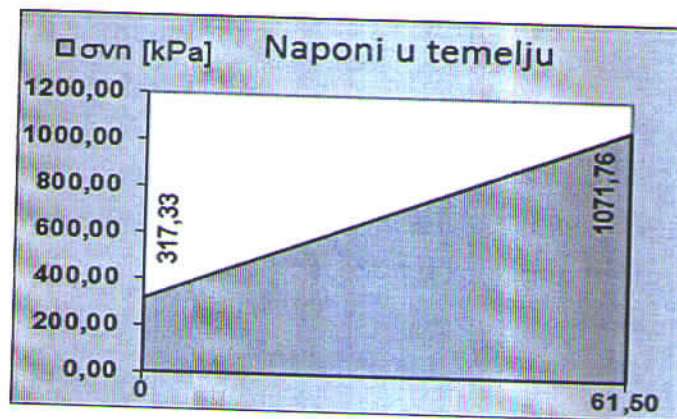
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- Naponi u temeljnoj spojnici:

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 317,33 \text{ kPa} = 0,317 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 1071,76 \text{ kPa} = 1,072 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$



Slika 3.31: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 2. metodi), za usvojenu horizontalnu filtraciju

#### b) kontaktna filtracija

- II Kombinacija opterećenja:

$$V = 42117,31 \text{ kN/m'}$$

$$M = 5221,8 \text{ kNm/m}$$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 42649,70 \text{ kN/m'}$$

$$M = -220166,0 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

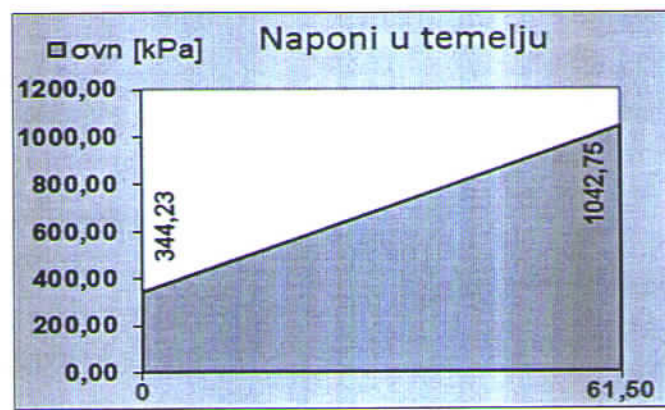
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 344,23 \text{ kPa} = 0,344 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 1042,75 \text{ kPa} = 1,043 \text{ MPa} < 2,5 \text{ MPa}$$



Slika 3.32: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV kombinaciji opterećenja (po 2. metodi), za usvojenu kontaktnu filtraciju

### 3. METODA:

(kontrola stabilnosti za zemljotres sa epicentrom na velikoj dubini ispod objekta)

Maksimalno seizmičko ubrzanje:  $\alpha = 0,425 \cdot g$

Koeficijenti seizmilnosti:

$$k_{sh} = 1/5^{0,5} \cdot \alpha / g = 0,1901$$

$$k_{sv} = 0,5/5^{0,5} \cdot \alpha / g = 0,095$$

Dinamički koeficijent:  $\alpha_s = 1,5$

Svi uticaji se računaju za neinercijalni sistem sa ubrzanjem koje ima dve komponente:

1. vertikalnu:  $g_s = (1 - k_{sv}) \cdot g = 8,88 \text{ m/s}^2$

2. horizontalnu:  $g_t = k_{sh} \cdot g = 0,932 \text{ m/s}^2$

Uticaji usled vertikalne komponente računaju se kao i statički, ali za gravitaciono polje sa redukovanim gravitacionim ubrzanjem  $g_s = 8,88 \text{ m/s}^2$ .

(ovo jedino ne važi za pritiske vode u tlu koji ostaju isti kao i kada ne deluje zemljotres jer je njihova promena spora i ne može se izvršiti tokom trajanja zemljotresa. Uticaji usled horizontalne komponente se računaju kao seizmički sa koeficijentom seizmičnosti  $k_s = 0,1901$ .)

- Inercijalni uticaji od sopstvene težine objekta:

- Inercijalna sila:

$$S = G \cdot \alpha_s \cdot k_{sh} = 10040,36 \text{ kN/m'}$$

- Momenti od inercijalne sile:

$$M_S = -232940,8 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,S} = 162658,2 \text{ kNm/m'}$$

- Uticaji od hidrodinamičkog opterećenja:

- Horizontalna sila:

$$H_Z = 3812,59 \text{ kN/m}$$

- Vertikalna sila:

$$V_Z = 481,80 \text{ kN/m}$$

$$V_{Z \downarrow} = 583,69 \text{ kN/m}$$

$$V_{Z \uparrow} = 101,90 \text{ kN/m}$$

- Momenti:

$$M_Z = -69687,8 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{v,Z} = 53024,12 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,Z} = 71950,50 \text{ kNm/m'}$$

- Seizmički uticaji od kamenog nabaćaja:

Aktivan seizmički pritisak kamenog nabacaja:

$$H_{kn} = 27,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{kn,r} = \gamma_{kn,r} - \gamma_{v,r} = (23,0 - 10,0) \cdot 8,88/9,81 = 11,77 \text{ kN/m}^3$$

$$p_{snz} = [k_s \cdot \text{tg}(45 + \varphi_n/2)] \cdot \gamma_{kn,r} \cdot h_z \cdot \xi_a$$

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - \varphi_n/2) = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,2827$$

$$p_{skn} = 0,1901 \cdot \text{tg}(45 + 34/2) \cdot 11,77 \cdot 27,5 \cdot 0,2827 = 32,70 \text{ kN/m}^2$$

- Horizontalna sila:

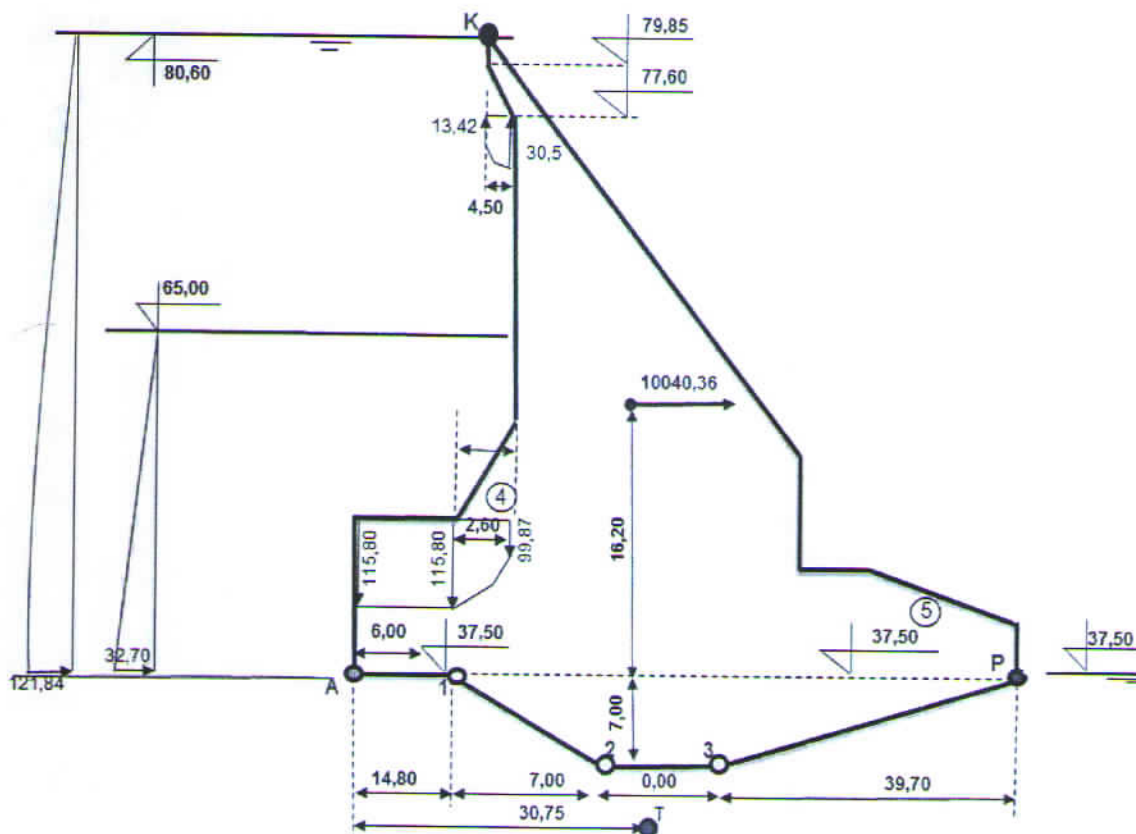
$$H_{kS} = 449,56 \text{ kN/m}$$



- **Momenti:**

$$M_{kS} = -7267,92 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{p,kS} = 4120,99 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.33: Seizmički uticaji u metodi 3

1. Sigurnosti protiv klizanja – horizontalna klizna ravan

## a) horizontalna filtracija

• Opterećenja:

- Sopstvena težina:

$$G = 38540,38 \text{ kN/m'}$$

- Težina stene:

$$V_{ST} = 3395,12 \text{ kN/m'}$$

- Dodatno trenje od nizvodnog betonskog bloka:

$$H_{tb} = -2193,91 \text{ kN}$$

## - Horizontalni pritisci tla:

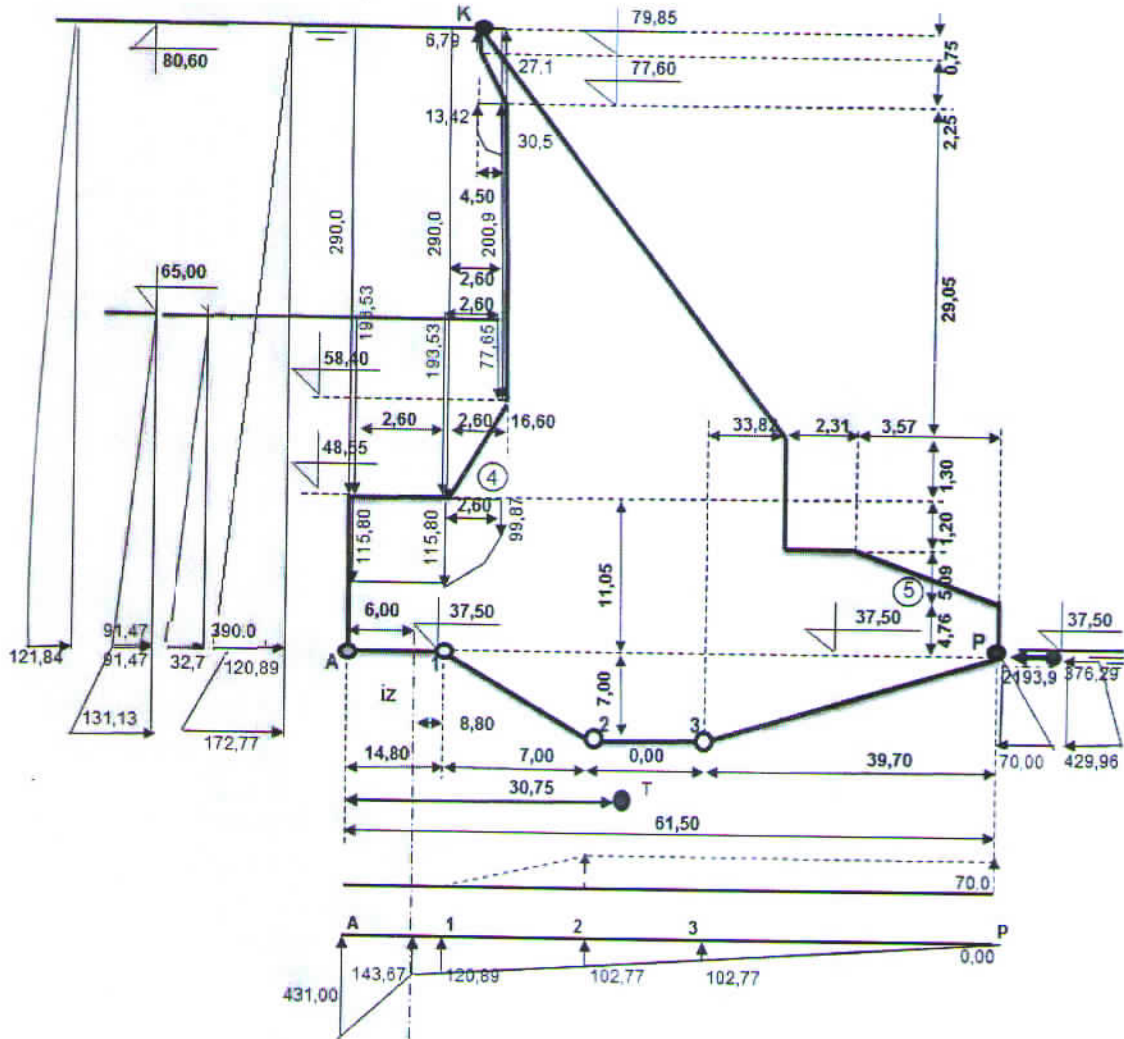
$$p_{u,v} = 91,47 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{u,d} = 131,13 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{au,v} = 376,29 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{au,d} = 429,96 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{bt} = -2042,78 \text{ kN}$$



Slika 3.34: Šema za IV K.O. (metoda 3) horizontalna klizna ravan - horizontalna filtracija

## - Kameni nabačaj:

$$\xi_a = \text{tg}^2(45 - 34/2) = 0,283$$

$$H_n = 1257,65 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 855,70 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**  
 $H_{v,u} = 9433,17 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,u} = 1315,98 \text{ kN/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 8734,75 \text{ kN/m'}$
- **Donja voda:**  
 $H_{v,n} = -245,00 \text{ kN/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 35854,22 \text{ kN/m'}$$

$$H = 20511,64 \text{ kN/m'}$$

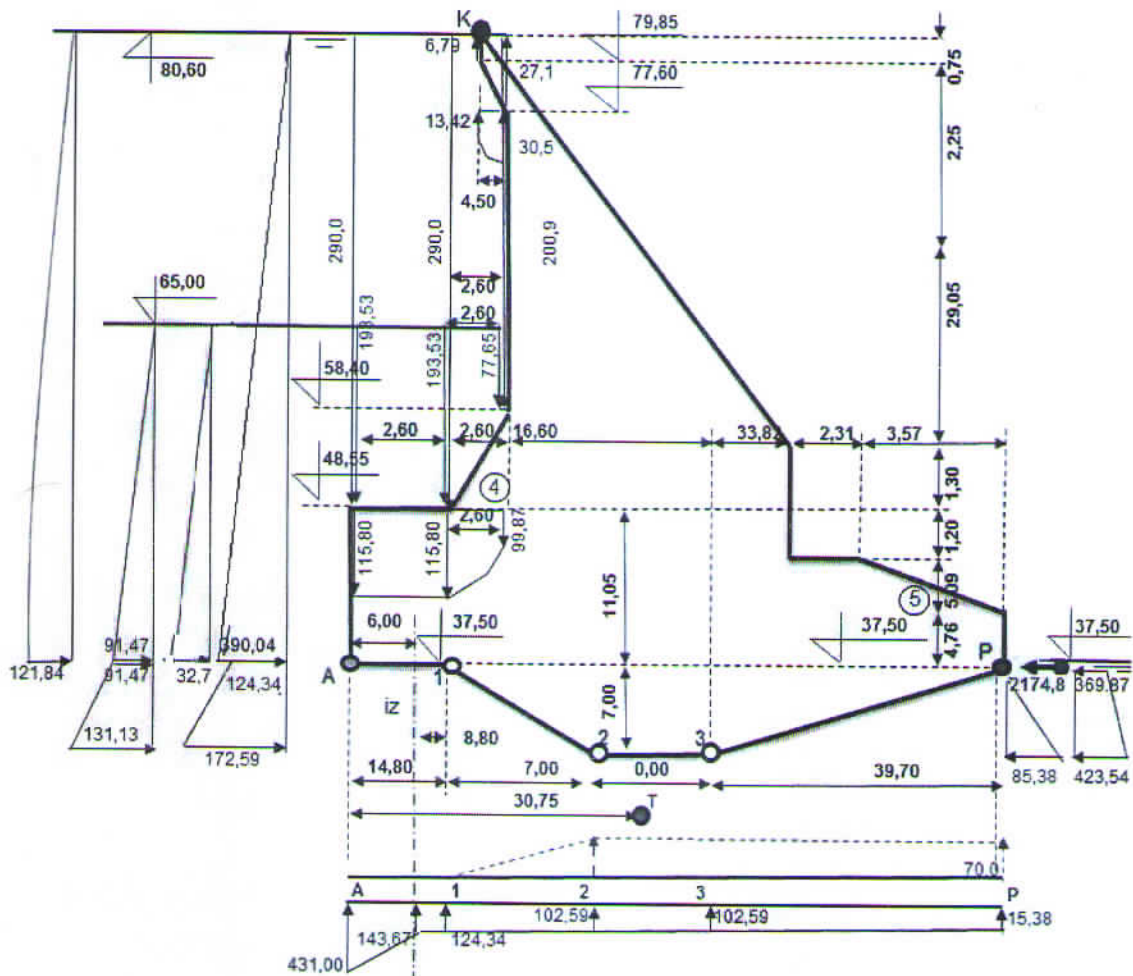
- **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,009 > C_{k,k}^{\min} < 1,05$$

b) kontaktna filtracija

- **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**  
 $G = 38540,38 \text{ kN/m'}$
- **Težina stene:**  
 $V_{st} = 3395,12 \text{ kN/m'}$
- **Dodatno trenje od nizvodnog betonskog bloka:**  
 $H_{tb} = -2193,91 \text{ kN}$
- **Horizontalni pritisci tla:**  
 $p_{u,v} = 91,47 \text{ kN/m}^2$   
 $p_{u,d} = 131,13 \text{ kN/m}^2$   
 $p_{au,v} = 376,29 \text{ kN/m}^2$   
 $p_{au,d} = 429,96 \text{ kN/m}^2$   
 $H_{bt} = -2042,78 \text{ kN}$



Slika 3.35: Šema za IV K.O. (metoda 3) horizontalna klizna ravan - kontaktna filtracija

- **Kameni nabačaj:**  
 $H_n = 1257,65 \text{ kN/m'}$   
 $V_n = 855,70 \text{ kN/m'}$
- **Gornja voda:**  
 $H_{v,u} = 9444,61 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,u} = 1315,98 \text{ kN/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 9063,06 \text{ kN/m'}$
- **Donja voda:**  
 $H_{v,n} = -298,82 \text{ kN/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 35525,91 \text{ kN/m'}$$

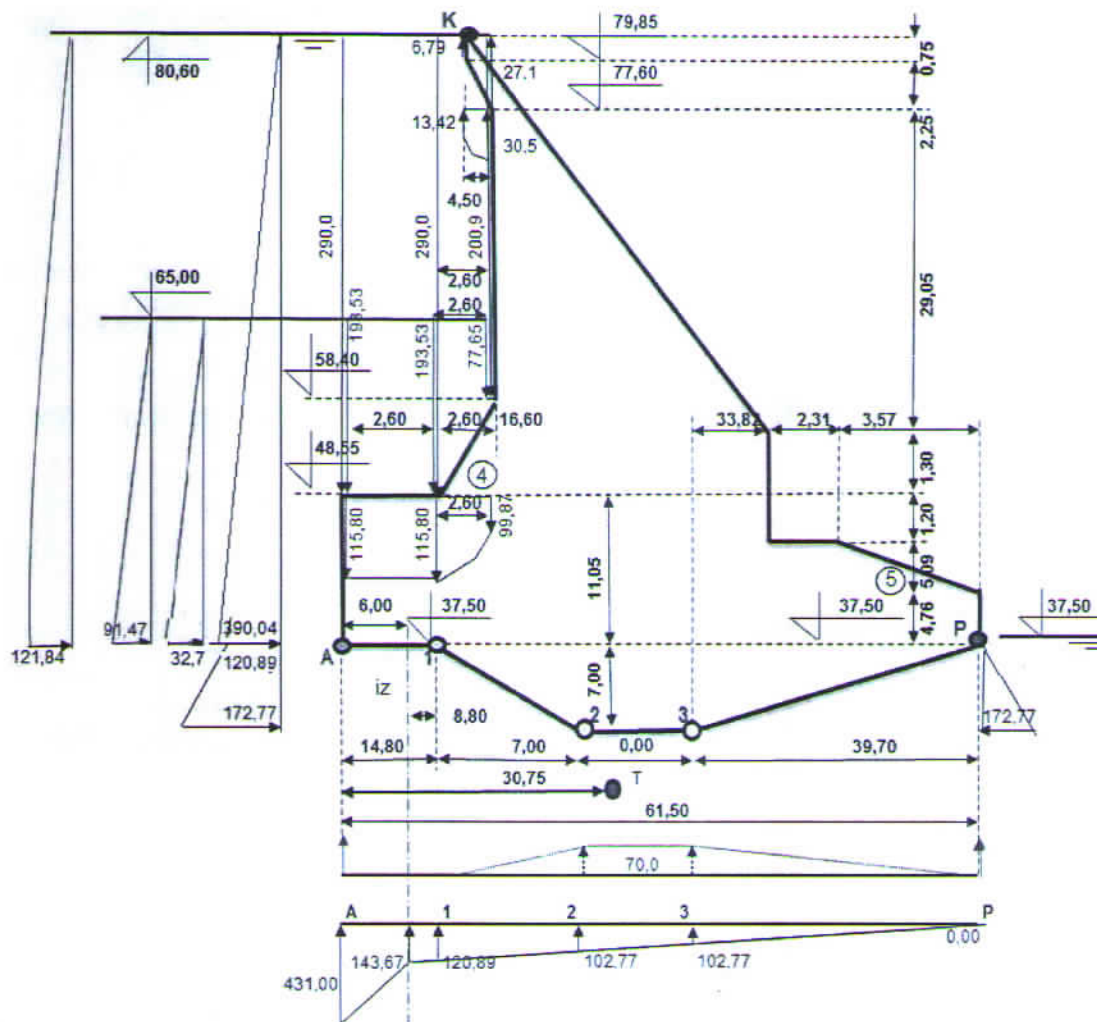
$$H = 20469,27 \text{ kN/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv klizanja**

$$C_{k,k} = f \cdot \frac{V}{H} = 1,002 < C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

## 2. Sigurnosti protiv klizanja – kosa klizna ravan

### a) horizontalna filtracija



Slika 3.36: IV K.O. (metoda 3) kosa klizna ravan - horizontalna filtracija

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$G = 38540,38 \text{ kN/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$H_n = 1257,65 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 855,70 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$H_{v,u} = 9433,17 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u} = 1315,98 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 7345,25 \text{ kN/m'}$$

- **Donja voda:**

$$H_{v,n} = -604,68 \text{ kN/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 33848,60 \text{ kN/m'}$$

$$H = 24388,65 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H - V \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 1,196 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

b) kontaktna filtracija

- Opterećenja

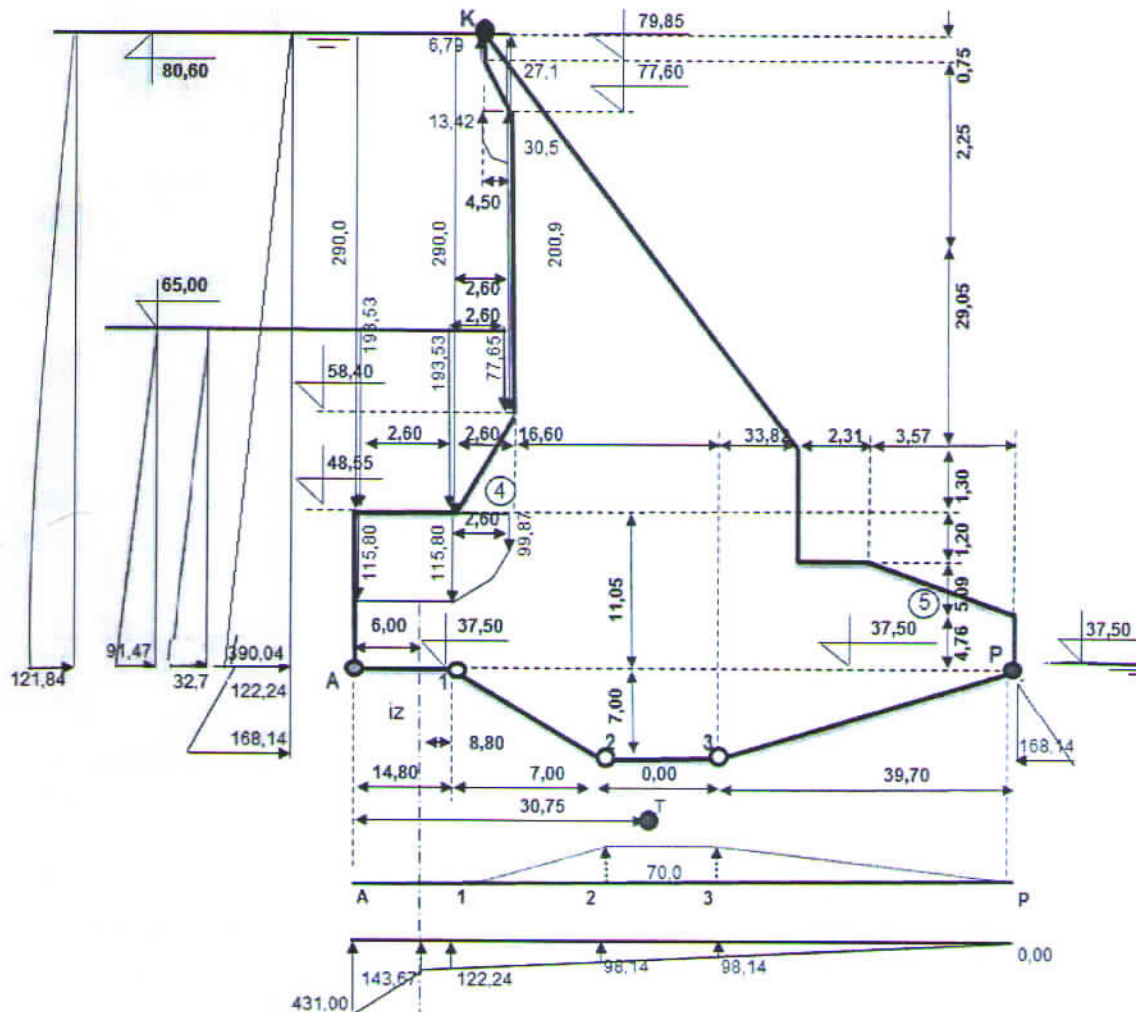
- **Sopstvena težina:**

$$G = 38540,38 \text{ kN/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$H_n = 1257,65 \text{ kN/m'}$$

$$V_n = 855,70 \text{ kN/m'}$$



Slika 3.37: IV K.O. (metoda 3) kosa klizna ravan - kontaktna filtracija

- **Gornja voda:**  
 $H_{v,u} = 9421,73 \text{ kN/m'}$   
 $V_{v,u} = 1315,98 \text{ kN/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 7247,97 \text{ kN/m'}$
- **Donja voda:**  
 $H_{v,n} = -588,50 \text{ kN/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 33945,88 \text{ kN/m'}$$

$$H = 24393,39 \text{ kN/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv klizanja

$$C_{k,k} = \frac{f \cdot (V + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{H \cdot V \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 1,200 > C_{k,k}^{\min} = 1,05$$

### 3. Sigurnosti protiv prevrtanja

a) horizontalna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.36)

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$M_G^V = 1380559,5 \text{ kNm/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$M_n^V = 50661,6 \text{ kNm/m'}$$

$$M_n^P = 11528,5 \text{ kNm/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$M_{v,u}^V = 86018,6 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{v,u}^P = 125193,6 \text{ kNm/m'}$$

- **Uzgon:**

$$M_u^P = 296299,4 \text{ kNm/m'}$$

- **Donja voda:**

$$M_{v,n}^P = 1143,3 \text{ kNm/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$M_v = 1570263,8 \text{ kNm/m'}$$

$$M_p = 672894,5 \text{ kNm/m'}$$

- Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 2,3336 > C_p^{\min} = 1,50$$

b) kontaktna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.37)

- Opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$M_G^V = 1380559,5 \text{ kNm/m'}$$



- **Kameni nabačaj:**  
 $Mn^V = 50661,6 \text{ kNm/m'}$   
 $Mn^P = 11528,5 \text{ kNm/m}$
- **Gornja voda:**  
 $Mv,u^V = 85954,2 \text{ kNm/m'}$   
 $Mv,u^P = 125193,6 \text{ kNm/m'}$
- **Uzgon:**  
 $Mu^P = 293695,8 \text{ kNm/m'}$
- **Donja voda:**  
 $Mv,n^P = 1406,1 \text{ kNm/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$M_V = 1570199,4 \text{ kNm/m'}$$

$$M_P = 670553,7 \text{ kNm/m'}$$

- **Koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja**

$$C_p = \frac{M_v}{M_p} = 2,342 > C_p^{\min} = 1,50$$

#### **4. Sigurnosti protiv isplivavanja**

a) horizontalna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.36)

- **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**  
 $G = 38540,38 \text{ kN/m'}$
- **Kameni nabačaj:**  
 $Vn = 855,70 \text{ kN/m'}$
- **Gornja voda:**  
 $Vv,u\downarrow = 1392,34 \text{ kN/m'}$   
 $Vv,u\uparrow = 76,36 \text{ kN/m'}$

- **Uzgon:**

$$U = 7345,25 \text{ kN/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V_D = 41270,21 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7421,61 \text{ kN/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja**

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 5,5608 > C_{i,\min} = 1,10$$

b) kontaktna filtracija (šema opterećenja je prikazana na slici 3.37)

• **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**

$$G = 38540,38 \text{ kN/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

$$V_n = 855,70 \text{ kN/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$V_{v,u\downarrow} = 1392,34 \text{ kN/m'}$$

$$V_{v,u\uparrow} = 76,36 \text{ kN/m'}$$

- **Uzgon:**

$$U = 7247,97 \text{ kN/m'}$$

• **Ukupni uticaji**

$$V_D = 41270,21 \text{ kN/m'}$$

$$V_G = 7324,32 \text{ kN/m'}$$

• **Koeficijent sigurnosti protiv isplivavanja**

$$C_i = \frac{V_d}{V_g} = 5,635 > C_{i,\min} = 1,50$$

## 5. Naponi u temeljnoj spojnici

## a) horizontalna filtracija

## • Opterećenja

## – Sopstvena težina:

$$G = 38540,38 \text{ kN/m'}$$

$$M_G = 195442,9 \text{ kNm/m'}$$

## – Težina stene:

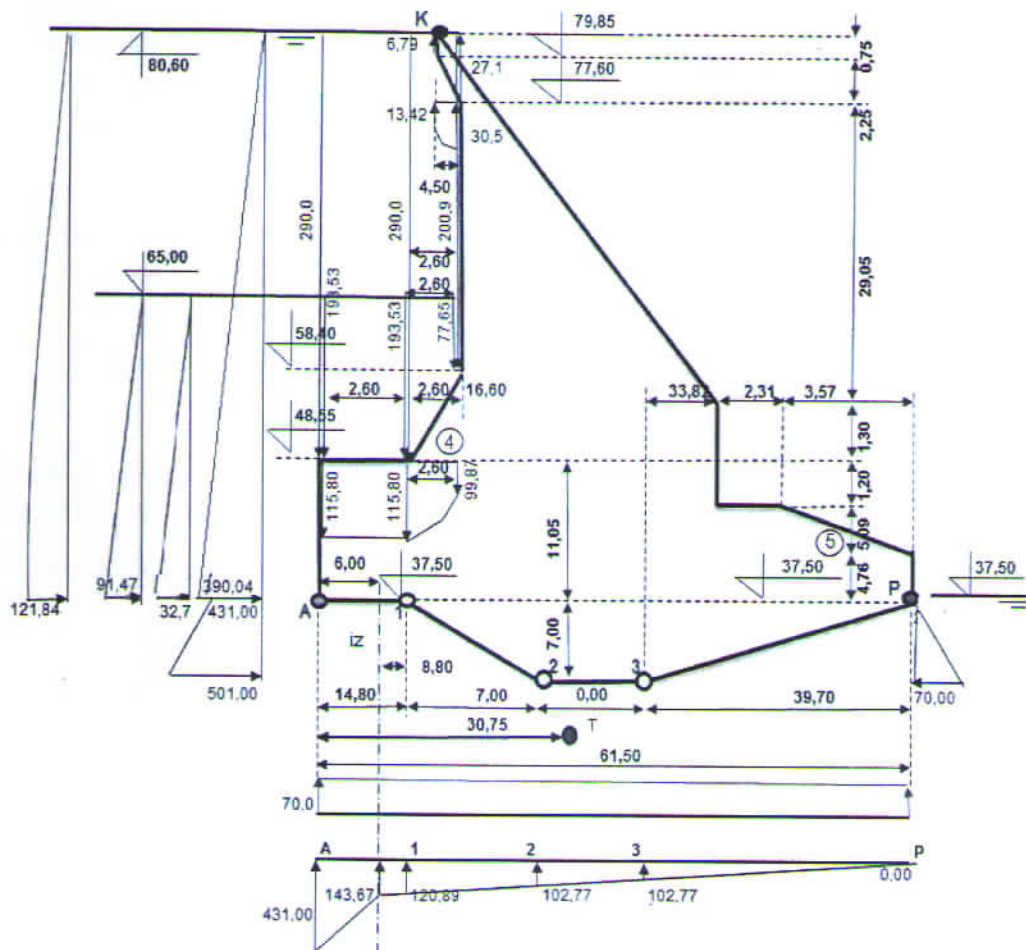
$$V_{ST} = 6525,13 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 7787,8 \text{ kNm/m'}$$

## – Kameni nabačaj:

$$V_{kn} = 855,70 \text{ kN/m'}$$

$$M_{kn} = 4016,9 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.38: IV K.O. (metoda 3) horizontalna temeljna ravan - horizontalna filtracija

- **Gornja voda:**  
 $V_{v,u} = 1315,98 \text{ kN/m'}$   
 $M_{v,u} = -153419,3 \text{ kNm/m'}$
- **Uzgon:**  
 $U = 10015,75 \text{ kN/m'}$   
 $M_u = -73620,2 \text{ kNm/m'}$
- **Donja voda:**  
 $M_{v,n} = 571,7 \text{ kNm/m'}$

- **Ukupni uticaji**

$$V = 37703,23 \text{ kN/m'}$$

$$M = -329116,7 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

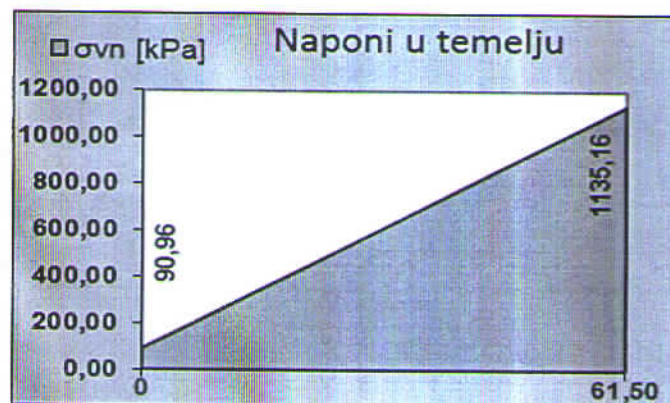
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- **Naponi u temeljnoj spojnici:**

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_v^u = 90,96 \text{ kPa} = 0,091 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v^n = 1135,16 \text{ kPa} = 1,135 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$



Slika 3.39: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV K.O. (metoda 3) za usvojenu horizontalnu filtraciju

b) kontaktna filtracija

- **Opterećenja**

- **Sopstvena težina:**  
 $G = 38540,38 \text{ kN/m'}$   
 $M_G = 195442,9 \text{ kNm/m'}$

- **Težina stene:**

$$V_{ST} = 6525,13 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ST} = 7787,8 \text{ kNm/m'}$$

- **Kameni nabačaj:**

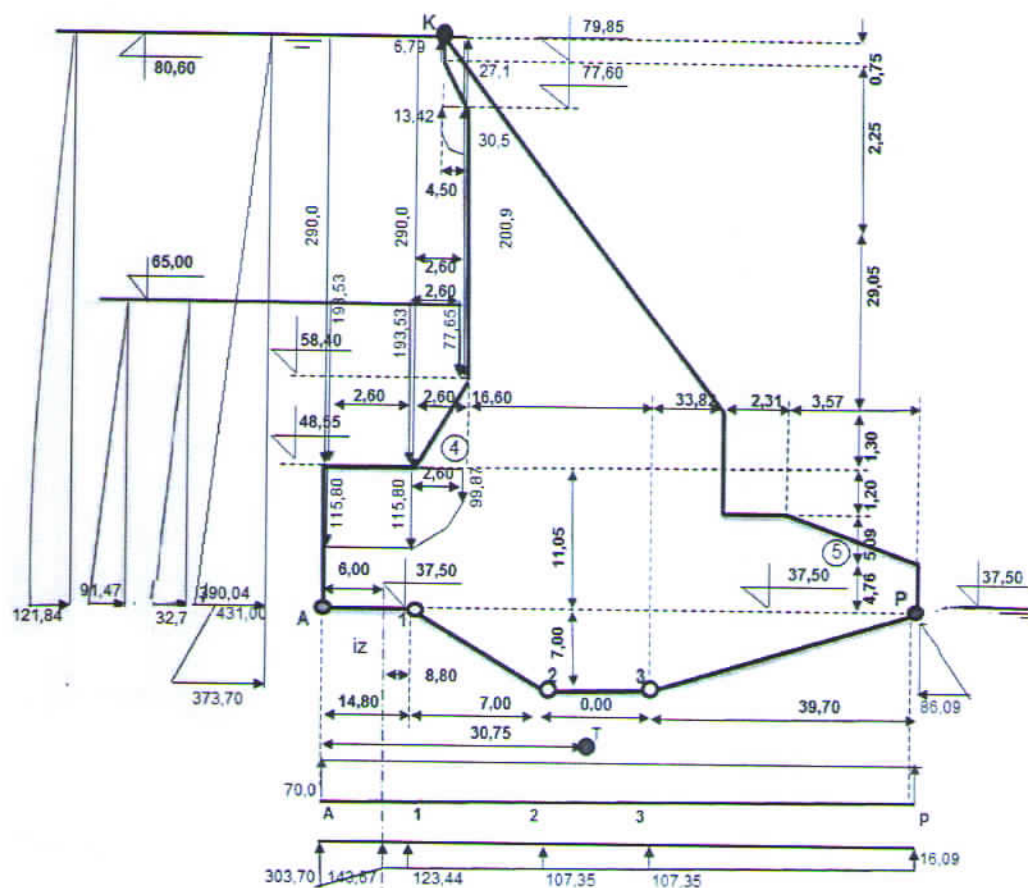
$$V_{kn} = 855,70 \text{ kN/m'}$$

$$M_{kn} = 4016,9 \text{ kNm/m'}$$

- **Gornja voda:**

$$V_{v,u} = 1315,98 \text{ kN/m'}$$

$$M_{v,u} = -152379,7 \text{ kNm/m'}$$



Slika 3.40: IV K.O. (metoda 3) horizontalna temeljna ravan - kontaktna filtracija

- **Uzgon:**

$$U = 10080,37 \text{ kN/m'}$$

$$M_u = -57170,8 \text{ kNm/m'}$$

- Donja voda:

$$M_{v,n} = 703,1 \text{ kNm/m'}$$

- Ukupni uticaji

$$V = 37638,61 \text{ kN/m'}$$

$$M = -311496,3 \text{ kNm/m'}$$

$$B = F = 61,5 \text{ m}$$

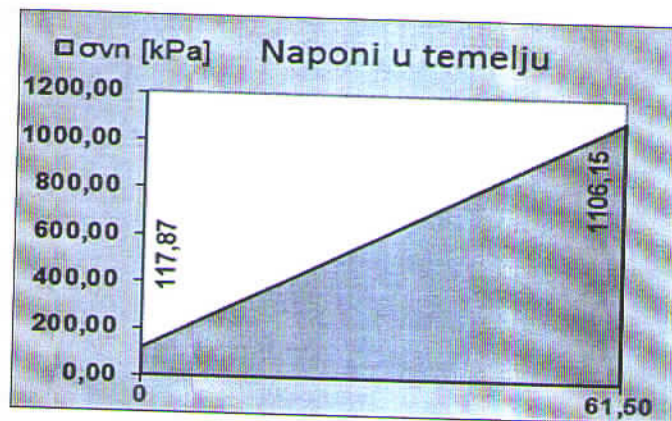
$$W = B^2/6 = 61,5^2/6 = 630,375 \text{ m}^2$$

- Naponi u temeljnoj spojnici:

$$\sigma_{u,n} = V/F \pm M/W$$

$$\sigma_{v,u} = 117,87 \text{ kPa} = 0,118 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$

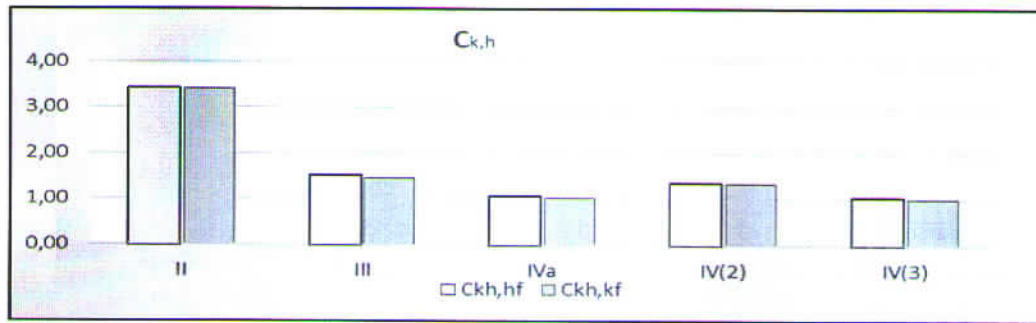
$$\sigma_{v,n} = 1106,15 \text{ kPa} = 1,106 \text{ MPa} < 2,0 \text{ MPa}$$



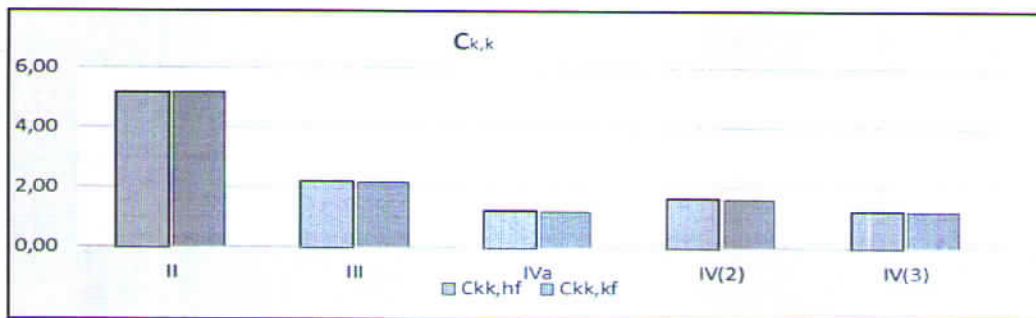
Slika 3.41: Naponi u temeljnoj spojnici pri IV K.O. (metoda 3) za usvojenu kontaktanu filtraciju

### 3.2.4. Analiza dobijenih parametara opšte stabilnosti

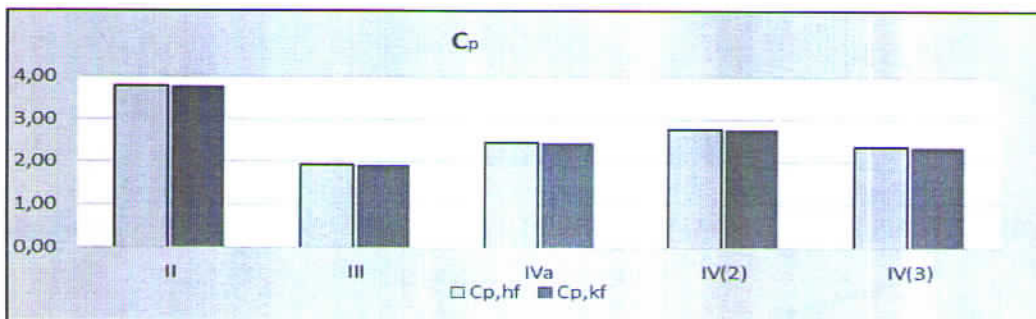
Proračuni parametara opšte stabilnosti su rađeni za slučaj horizontalne i kontaktne filtracije, pri čemu se tlo u temelju posmatralo kao homogeno i izotropno. Upoređivanjem dobijenih koeficijenata sigurnosti može se zaključiti da ne postoje značajnije razlike što se može videti na uporednim dijagramima sa slika 3.42 - 3.45. Relativne razlike su reda veličine 1%, pri čemu proračun sa horizontalnom filtracijom daje manje koeficijente sigurnosti za klizanje po kosoj kliznoj ravni, prevrtanje i isplivavanje, a veće za klizanje po horizontalnoj kliznoj ravni



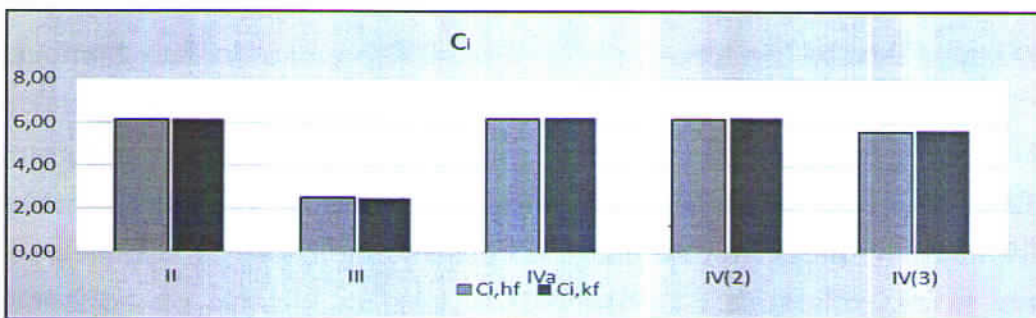
Slika 3.42: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv klizanja po horizontalnoj kliznoj ravni za različite pretpostavke filtracije



Slika 3.43: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv klizanja po kosoj kliznoj ravni za različite pretpostavke filtracije



Slika 3.44: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv prevrtanja za različite pretpostavke filtracije



Slika 3.44: Poređenje dobijenih koeficijenata sigurnosti protiv isplivavanja za različite pretpostavke filtracije

#### 4 OPŠTA STABILNOST SLAPIŠTA

Ovaj proračun obuhvata proveru sigurnosti na isplivavanje ploče umirujućeg bazena (slapišta). Proračun se sprovodi za tri karakteristične dispozicije opterećenja:

- a) Potpuno prazan bazen i pun uzgon od donje vode pri  $Z_{DV,KNU}$ ;
- b) Pun bazen, pun uzgon od donje vode pri  $Z_{DV,KMU}$  i merodavni pulzacioni pritisak;
- c) Samo hidraulički skok u bazenu i pun uzgon od donje vode pri  $Z_{DV,KMU}$ .

##### Podaci za proračun:

$$Z_b = 17,00 \text{ mnm}$$

$$Z_{DV,KNU} = 25,70 \text{ mnm}$$

$$Z_{DV,KMU} = 47,00 \text{ mnm}$$

$$Z_{GV,KMU} = 84,00 \text{ mnm}$$

$$\gamma_{ab} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\rho = 1 \text{ t/m}^3$$

$$B = 37,8 \text{ m}$$

$$L_b = 36,5 \text{ m}$$

$$Q_{KMU} = 740 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_p = 2,0 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

- a) Potpuno prazan bazen i pun uzgon od donje vode pri  $Z_{DV,KNU}$  i sa koeficijentom sigurnosti protiv isplivavanja od  $C_i = 1,3$  (uslovi pri remontu bazena):





Slika 4.1: Šema za dispoziciju opterećenja pod a)

$$G = \gamma_{ab} \cdot L_b \cdot B \cdot t_p = 71016,75 \text{ kN}$$

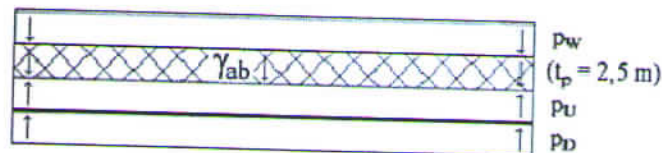
$$U = \gamma_w \cdot L_b \cdot B \cdot (Z_{DV,KNU} - (Z_b - t_p)) = 149624,21 \text{ kN}$$

$$V_{\downarrow} = G = 71016,75 \text{ kN}$$

$$V_{\uparrow} = U = 149624,21 \text{ kN}$$

$$C_i = \frac{V_{\downarrow}}{V_{\uparrow}} = 0,47 < 1,3$$

- b) Potpuno pun bazen, pun uzgon od donje vode pri  $Z_{DV,KMU}$  i merodavnim pulzacionim pritiskom sa koeficijentom sigurnosti protiv isplivavanja od  $C_i = 1,1$ :



Slika 4.2: Šema za dispoziciju opterećenja pod b)

$$G = \gamma_{ab} \cdot L_b \cdot B \cdot t_p = 71016,75 \text{ kN}$$

$$V_W = \gamma_w \cdot L_b \cdot B \cdot (Z_{DV,KMU} - Z_b) = 413910 \text{ kN}$$

$$U = \gamma_w \cdot L_b \cdot B \cdot (Z_{DV,KMU} - (Z_b - t_p)) = 443500,31 \text{ kN}$$

$$V_D = \gamma_w \cdot L_b \cdot B \cdot (0,12 \cdot V_1^2 / (2 \cdot g)) Z_{GV,KMU}$$

$$\text{gde je, } V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (Z_{gv,kmu} - Z_b - h_1)}$$

$$h_1 = Q_{KMU} / (B \cdot V_1)$$

$V_1$  i  $h_1$  se dobijaju iterativnom postupkom pri čemu su dobijene:

$$V_1 = 19,31 \text{ m/s}$$

$$H_1 = 1,01 \text{ m}$$

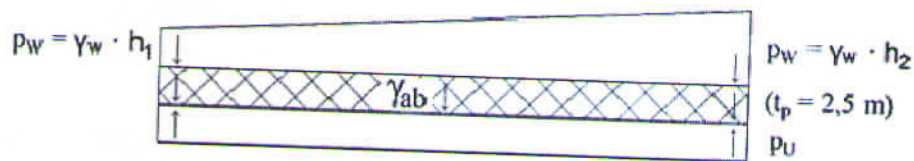
$$V_D = \gamma_w \cdot L_b \cdot B \cdot (0,12 \cdot V_1^2 / (2 \cdot g)) \quad Z_{GV, KMU} = 31453,202 \text{ kN}$$

$$V_{\downarrow} = G + V_w = 484926,8 \text{ kN}$$

$$V_{\uparrow} = U + V_D = 474953,5 \text{ kN}$$

$$C_i = \frac{V_{\downarrow}}{V_{\uparrow}} = 1,021 < 1,1$$

- c) Samo hidraulički skok u bazenu (delimično prazan bazen – mlaz je izbacio deo vode iz bazena, pa unutar bazena ostaje samo hidraulički skok) i pun uzgon od donje vode pri  $Z_{DV, KMU}$  sa koeficijentom sigurnosti protiv isplivavanja od  $C_i = 1,1$ :



Slika 4.3: Šema za dispoziciju opterećenja pod c)

$$Fr_1 = V_1^2 / (g \cdot h_1) = 37,47$$

$$h_2 = 0,5 \cdot h_1 \cdot (\sqrt{8 \cdot Fr_1 + 1} - 1) = 8,29 \text{ m}$$

$$G = \gamma_{ab} \cdot L_b \cdot B \cdot t_p = 71016,75 \text{ kN}$$

$$V_w = \gamma_w \cdot (h_1 + h_2) / 2 \cdot L_b \cdot B = 64154,13 \text{ kN}$$

$$U = \gamma_w \cdot L_b \cdot B \cdot (Z_{DV, KMU} - (Z_b - t_p)) = 443500,3 \text{ kN}$$

$$V_{\downarrow} = G + V_w = 507654,3 \text{ kN}$$

$$V_{\uparrow} = U = 443500,44 \text{ kN}$$

$$C_i = \frac{V_{\downarrow}}{V_{\uparrow}} = 1,14 > 1,1$$

## 5 POMERANJA TAČKA NA PRELIVU

### 5.1 FOKTOV POSTUPAK

Pod pomeranjima temelja gravitacione brane se podrazumevaju:

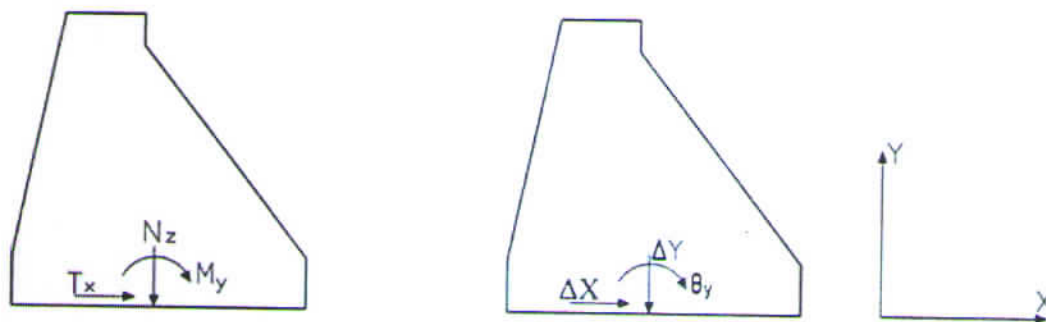
- sleganje (vertikalno pomeranje),
- horizontalno pomeranje,
- obrtanje temeljne spojnice.

Proračun pomeranja betonskih delova gravitacionih brana na stenovitom temelju može sprovesti korišćenjem Foktovog postupaka, ili metodom konačnih elemenata. Ovde je primenjen Foktov postupak.

Foktovi izrazi za proračun pomeranja su nastali na osnovu Businesskovih izraza za pomeranja usled koncentrisane sile na elastičnom poluprostoru. Za primenu Foktovih izraza postoje četiri osnovne pretpostavke:

- sredina u kojoj se temelji brana je homogena, izotropna i elastična,
- deformacije temelja brane ne zavise od oblika površine temelja,
- pomeranja bilo koje elementarne površine temelja postoje samo ako opterećenje direktno deluje na tu elementarnu površinu,
- opterećenje vodom na bokove i dno akumulacije ne daje pomeranja na mestu brane.

Proračun pomeranja pretpostavlja da je temeljna ravan konstrukcije u obliku pravougaonika, tako da se u slučaju ravnog stanja deformacije posmatra lamela jedinične širine. U težištu temeljne spojnice lamele, deluju rezultante horizontalnih i vertikalnih sila  $H$  i  $V$  kao i rezultujući moment  $M$ .



Slika 5.1: Konvencija znakova za presečne sile i pomeranja

Foktovim izrazima se određuju pomeranja samo usled elastičnosti stene u temelju, pri čemu se obrtanje, horizontalno i vertikalno pomeranje temeljne spojnice računaju prema sledećim izrazima:

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' \quad (5.1)$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' \quad (5.2)$$

$$\Delta Y = N_z \cdot \beta' \quad (5.3)$$

gde su:

$\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $\gamma'$ ,  $\gamma''$ ,  $\beta'$  - srednje deformacije pri jedinичnim silama.

Uočava se da je obrtanje posledica momenta  $M$  (primarni uticaji  $\alpha'$ ) i horizontalne sile  $H$  (sekundarni uticaji  $\alpha''$ ), dok je za horizontalno pomeranje primaran uticaj horizontalne sile  $H$  (primarni uticaji  $\gamma'$ ), a za sekundaran - uticaj momenta  $M$  (sekundarni uticaji  $\gamma''$ ).

Na vertikalno pomeranje utiče samo vertikalna sila.

Deformacije pri jedinичnim silama se mogu izraziti na sledeći način:

$$\alpha' = K_1 / (E_c \cdot d^2) \quad (5.4)$$

$$\alpha'' = \gamma'' = K_5 / (E_c \cdot d) \quad (5.5)$$

$$\gamma' = K_3 / E_c \quad (5.6)$$

$$\beta' = K_2 / E_c \quad (5.7)$$

gde su:

$K_1, K_2, K_3, K_4$  – Foktove konstante elastičnosti,

$E_c$  – modul elastičnosti stene ( $\text{kN/m}^2$ ),

$d$  – sirina temeljne spojnice (m).

Za određivanje Foktovih elastičnih konstanti u literaturi postoje dijagrami ili se oni sračunavaju u funkciji dimenzija opterećene površine celog temelja i Poasonovog koeficijenta na sledeći način:

Za vrednosti:  $b/a = 7$  i  $\nu_c = 0,25$

$$K_1 = (1 - \nu_s^2) \cdot \frac{24}{\pi} \left[ \frac{n \cdot (3 - 14 \cdot m^2 - 2 \cdot m^4) + 15 \cdot m^3 + 2 \cdot m^5 - 3}{15 \cdot m} + m \cdot \ln \left( \frac{1+n}{m} \right) \right] = 5,1729$$

$$K_2 = (1 - \nu_s^2) \cdot \frac{2}{\pi} \left[ \ln(m+n) + m \cdot \ln \left( \frac{1+n}{m} \right) - \frac{n^3 - 1 - m^3}{3 \cdot m} \right] = 1,9014$$

$$K_3 = \frac{2}{\pi} \cdot \left\{ (1 - \nu_s^2) \cdot \left[ \ln(m+n) + m \cdot \ln \left( \frac{1+n}{m} \right) - \frac{n^3 - 1 - m^3}{3 \cdot m} \right] + (\nu_s + \nu_s^2) \cdot \left[ m \cdot \ln \left( \frac{1+n}{m} \right) - \frac{n \cdot (2 \cdot m^2 - 1) - 2 \cdot m^3 + 1}{3 \cdot m} \right] \right\} = 2,0912$$

$$K_5 = (1 - \nu_s - 2 \cdot \nu_s^2) \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ 4 \cdot n^2 \arctan \left( \frac{1}{m} \right) - 3 \cdot m - m^3 \cdot \ln \left( \frac{n^2}{m^2} \right) + \frac{1}{m} \cdot \ln(n^2) \right] \right\} = 0,5247$$

Jedinična pomeranja su:

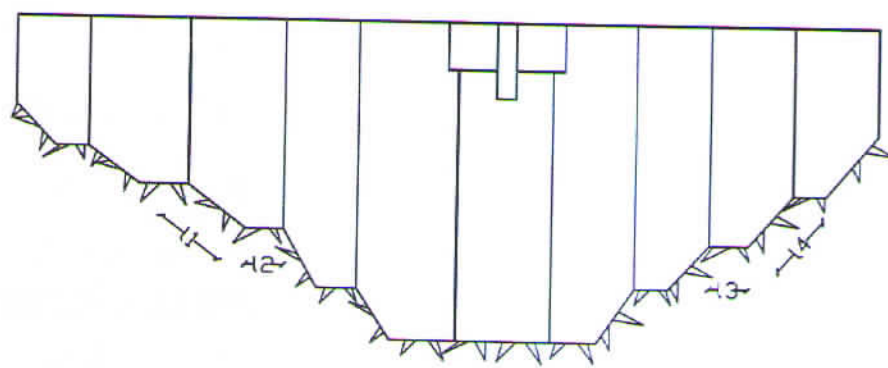
$$\alpha' = \frac{K_1}{d^2 \cdot E_s} = 6,838E-11$$

$$\beta = \frac{K_2}{E_s} = 9,507E-7$$

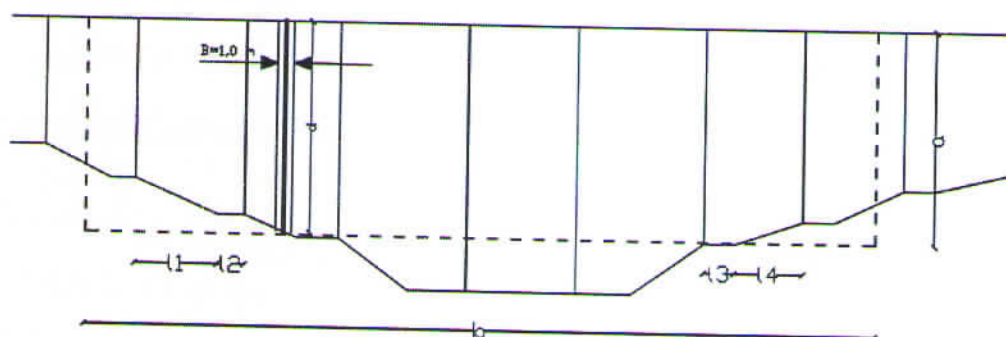
$$\gamma' = \frac{K_3}{E_s} = 1,046E-$$

$$\alpha'' = \gamma'' = \frac{K_5}{d \cdot E_s} = 4,266E-10$$

Nemoguće je doći do tačne vrednosti odnosa b/a kod opterećene površine nepravilnog oblika, pa se zbog toga takva površina aproksimira pravougaonikom iste površine i što sličnijeg oblika (pretpostavka br.2). Crta se razvijena osnova temelja brane (temelji na kosinama se "obaražu" na horizontalu) i nalazi njena dužina i najveća širina brane. Zatim se određuje površina razvijenog temelja brane (F). Za širinu (a) se uzima malo manja površina od najveće širine brane (ovo se ceni), a dužina opterećene površine (b) se sračunava iz ukupne površine (F) i strane (a). Za jednu branu odnos b/a je konstanta. Ovo je prikazano na slici 5.2.



(a) PODOZNI PRESEK BRANE



(b) Razvijena površina temelja sa opterećenom površinom

Slika 5.2: Određivanje ooblika temeljne površine b/a

## 5.2 PRORAČUN POMERANJA

Kontrola pomeranja je izvršena u horizontalnoj ravni temelje spojnice pri kontaknoj i horizontalnoj filtraciji za sve četiri kombinacije opterećenja.

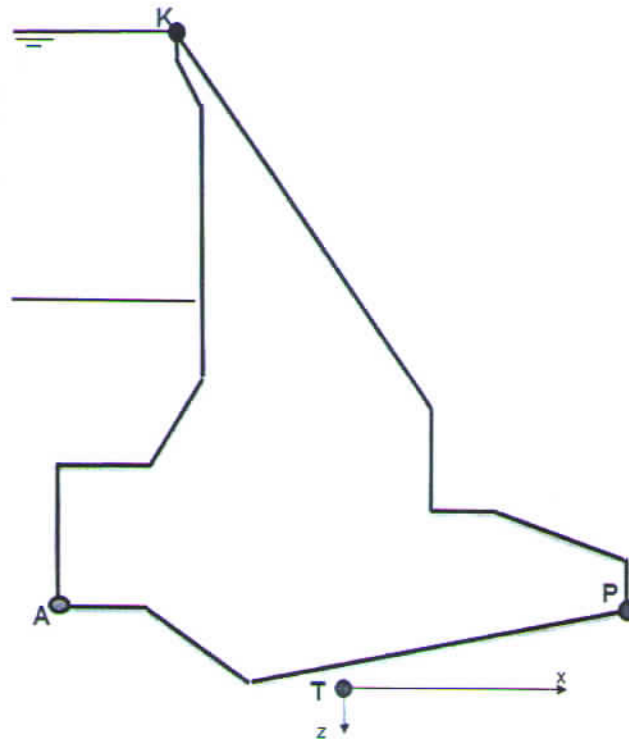
Pomeranja su najpre određena za težište temeljne spojnice T, a posmatrane su i tri tačke na telu brane:

K - kruna preлива,

A - uzvodna ivica temelja objekta,

P - nizvodna ivica temelja objekta,

Ove tačke su prikazane na slici 5.3.



Slika 5.3: Tačke u kojima su kontrolisana pomeranja

Osnovni parametri proračuna:

$$E_s = 20000000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,25$$

$$m = b/a = 7$$

$$n = \sqrt{1+m^2} = 7,071$$

$$d = 61,5 \text{ m}$$

### 5.2.1 Prva kombinacija opterećenja

Prva kombinacija opterećenja obuhvata opterećenja koja deluju pre početka punjenja akumulacij, dakle sopstvenu težinu konstrukcije, težinu stene i kameni nabačaj. Uticaji u težištu temeljne spojnice preuzeti su iz proračuna opšte stabilnosti za prvu kombinaciju opterećenja.

$$T_x = \sum H = 2458,74 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 51203,81 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 232107 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0$$

$$Z_k = 0$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = -0,015 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 4,868 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 0,158 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = -0,585 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 5,313 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 0,054 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 5,324 \text{ mm}$$

**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 0,054 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,412 \text{ mm}$$

## 5.2.2 Druga kombinacija opterećenja

Druga kombinacija opterećenja se javlja pri normalnom radu brane, kada je nivo vode u akumulaciji na koti normalnog uspora  $Z_{nu} = 80,60 \text{ mnm}$ . Uticaji u težištu temeljne spojnice preuzeti su iz proračuna opšte stabilnosti.

## a) horizontalna filtracija

$$T_x = \sum H = 13694,77 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 42181,93 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 12398,67 \text{ kNm/m'}$$



**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,006689 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 1,437 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 4,010 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 1,7724 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 3,8092 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 1,4840 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 3,8045 \text{ mm}$$

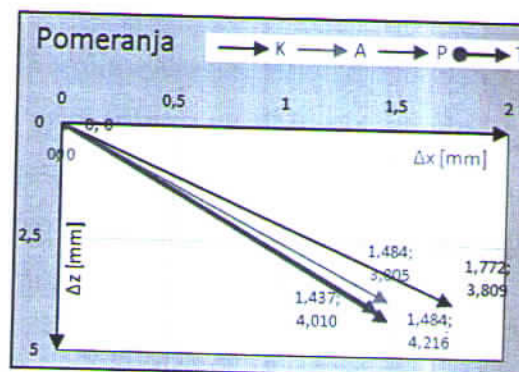
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 1,4840 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,2159 \text{ mm}$$



Slika 5.4: Pomeranja tačka preliva pri II kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija)

a) kontaktna filtracija

$$T_x = \sum H = 13192,90 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 42117,31 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = -5221,76 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,00527 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 4,004 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 1,377 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 1,6413 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 3,8457 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 1,4141 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 3,8420 \text{ mm}$$

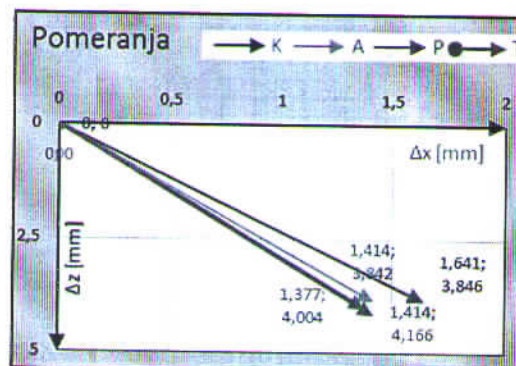
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75$$

$$Z_p = -7,00$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 1,4141 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,1662 \text{ mm}$$



Slika 5.5: Pomeranja tačaka preliva pri II kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija)

## 5.2.3 Treća kombinacija opterećenja

Treća kombinacija opterećenja se javlja pri nailasku velike vode, kada je nivo vode u akumulaciji dostiže kotu maksimalnog uspora  $Z_{mu} = 84,00$  mm. Smatra se da antifiltracione mere ne funkcionišu. Uticaji u težištu temeljne spojnice preuzeti su iz proračuna opšte stabilnosti.

## a) horizontalna filtracija

$$T_x = \sum H = 14614,42 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 28020,04 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 127704,60 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0$$

$$Z_k = 0$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,014575 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 1,583 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 2,664 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preлива, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 2,3127 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 2,2259 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 1,6846 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 2,2157 \text{ mm}$$

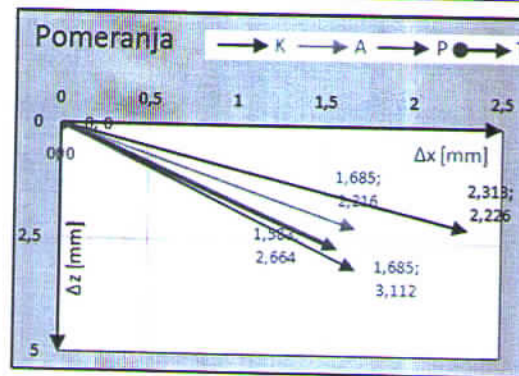
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 1,6846 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 3,1120 \text{ mm}$$



Slika 5.6: Pomeranja tačka preliva pri III kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija)

**b) kontaktna filtracija**

$$T_x = \sum H = 14339,37 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 27997,12 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 100544,69 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,012503 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 1,542 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 2,662 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 2,1686 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 2,2860 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 1,6297 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 2,2772 \text{ mm}$$

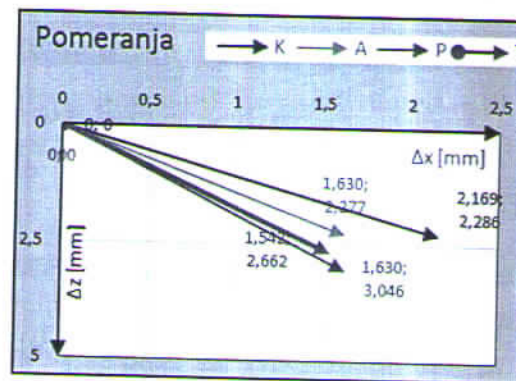
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 1,6297 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 3,0462 \text{ mm}$$



Slika 5.7: Pomeranja tačaka preliva pri III kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija)

### 5.2.3 Četvrta kombinacija opterećenja

Četvrta kombinacija opterećenja podrazumeva da se na objektu javljaju svi uticaji iz druge kombinacije opterećenja (normalan rad brane), a dodaju se i uticaji od zemljotresa. Zemljotres izaziva inercijalne sile u brani i hidrodinamički pritisak vode i dinamički pritisak nanosa.

Ovde je proračun IV kombinacije vršen sa tri različite metode koje se razlikuju u načinu usvajanja koeficijenta seizmičnosti, za isto maksimalno seizmičko ubrzanje  $\alpha = 0,425 \cdot g$ . Uticaji u težištu temeljne spojnice preuzeti su iz proračuna opšte stabilnosti.

#### 1. METODA:

##### a) horizontalna filtracija

$$T_x = \sum H = 29172,43 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 42714,32 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 369157,42 \text{ kNm/m'}$$

#### Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,031806 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 3,260 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 4,061 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 4,8176 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 3,1267 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 3,4778 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 3,1050 \text{ mm}$$

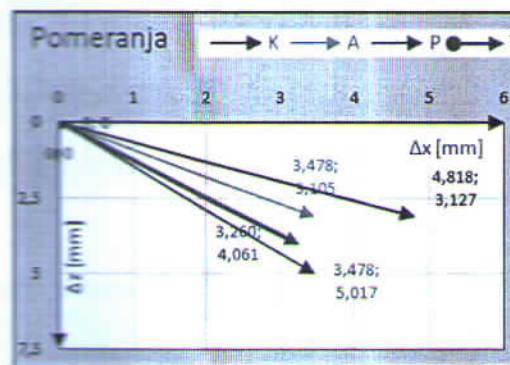
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 3,4778 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 5,0167 \text{ mm}$$



Slika 5.8: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija, I metoda)

## b) kontaktna filtracija

$$T_x = \sum H = 29172,43 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 42649,70 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 351536,99 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,029667 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 3,200 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 4,055 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 4,6866 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 3,1632 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 3,4079 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 3,1424 \text{ mm}$$

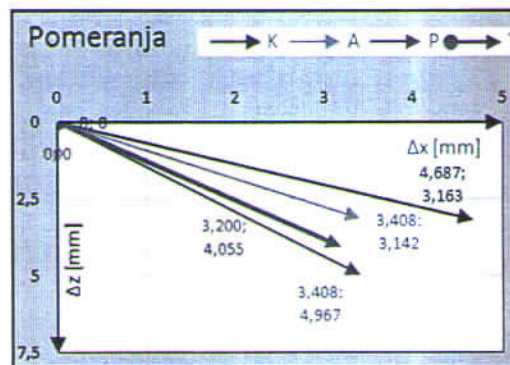
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 3,4079 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,9670 \text{ mm}$$



Slika 5.9: Pomeranja tačka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija, I metoda)

**2. METODA:**

a) horizontalna filtracija

$$T_x = \sum H = 24387,57 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 42714,32 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 242275,99 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težistu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,022409 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 2,653 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 4,061 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preлива, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 3,7764 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 3,3874 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 2,8102 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 3,3718 \text{ mm}$$

**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

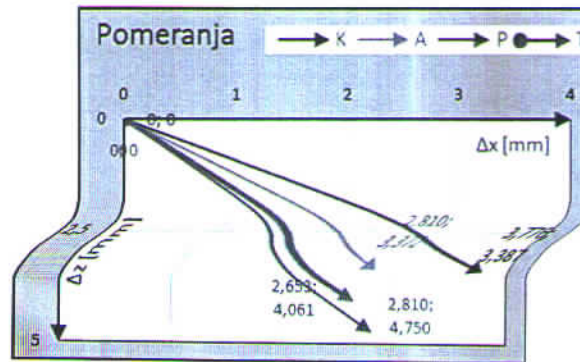
$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 2,8102 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,7499 \text{ mm}$$





Slika 5.10: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija, II metoda)

b) kontaktna filtracija

$$T_x = \sum H = 23885,71 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 42649,70 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 224655,56 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težistu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,022099 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 2,593 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 4,055 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = 50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 3,6499 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 3,4239 \text{ mm}$$

**Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A**

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 2,7403 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 3,4093 \text{ mm}$$

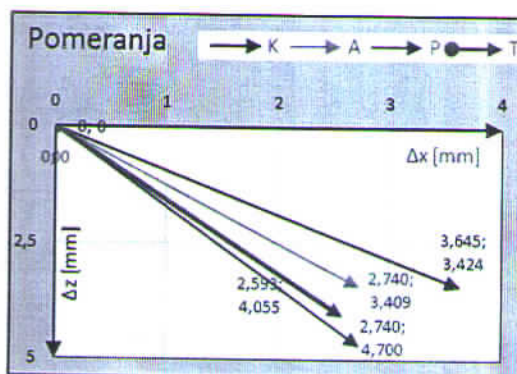
**Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P**

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 2,7403 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,7002 \text{ mm}$$



Slika 5.11: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija, II metoda)

**3. METODA:****a) horizontalna filtracija**

$$T_x = \sum H = 26982,54 \text{ kN/m'}$$

$$N_z = \sum V = 37703,54 \text{ kN/m'}$$

$$M_y = -\sum M = 336384,62 \text{ kNm/m'}$$

**Pomeranje u težištu temeljne spojnice, T**

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,028845 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 2,965 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 3,584 \text{ mm}$$

**Pomeranje krune preliva, K**

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 4,4099 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 2,7177 \text{ mm}$$

### Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 3,1667 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 2,6975 \text{ mm}$$

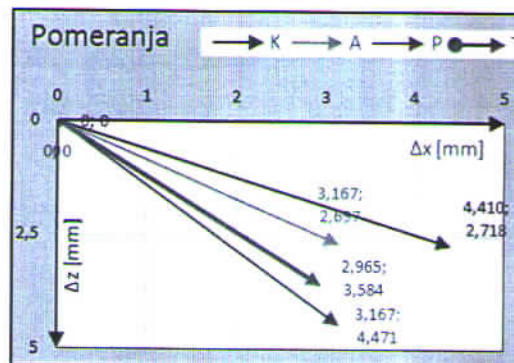
### Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P

$$X_P = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_P = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_P = \Delta Z + \theta_y \cdot X_P = 3,1667 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_P = \Delta X - \theta_y \cdot Z_P = 4,4714 \text{ mm}$$



Slika 5.12: Pomeranja tačaka preliva pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena horizontalna filtracija, III metoda)

#### b) kontaktna filtracija

$$T_x = \sum H = 26480,68 \text{ kN}$$

$$N_z = \sum V = 37638,61 \text{ kN}$$

$$M_y = -\sum M = 318764,19 \text{ kNm}$$

### Pomeranje u težistu temeljne spojnice, T

$$X_k = 0 \text{ m}$$

$$Z_k = 0 \text{ m}$$

$$\theta_y = M_y \cdot \alpha' + T_x \cdot \alpha'' = 0,027426 \text{ mrad}$$

$$\Delta X = T_x \cdot \gamma' + M_y \cdot \gamma'' = 2,905 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = N_z \cdot \beta' = 3,578 \text{ mm}$$

### Pomeranje krune preлива, K

$$X_k = -30,05 \text{ m}$$

$$Z_k = -50,10 \text{ m}$$

$$\Delta X_k = \Delta Z + \theta_y \cdot X_k = 4,2788 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_k = \Delta X - \theta_y \cdot Z_k = 2,7542 \text{ mm}$$

### Pomeranje uzvodne ivice temeljne spojnice, A

$$X_A = -30,75 \text{ m}$$

$$Z_A = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_A = \Delta Z + \theta_y \cdot X_A = 3,0968 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_A = \Delta X - \theta_y \cdot Z_A = 2,7350 \text{ mm}$$

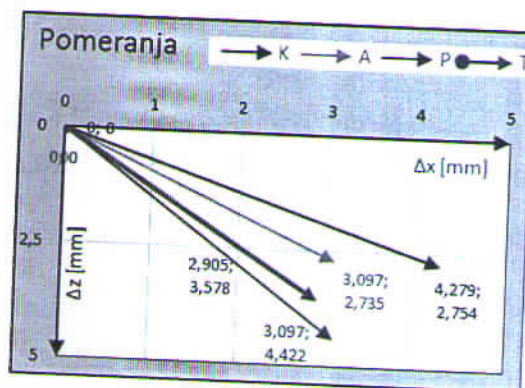
### Pomeranje nizvodne ivice temeljne spojnice, P

$$X_p = 30,75 \text{ m}$$

$$Z_p = -7,00 \text{ m}$$

$$\Delta X_p = \Delta Z + \theta_y \cdot X_p = 3,0968 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_p = \Delta X - \theta_y \cdot Z_p = 4,4217 \text{ mm}$$



Slika 5.13: Pomeranja tačaka preлива pri IV kombinaciji opterećenja (usvojena kontaktna filtracija, III metoda)

## 6 ZIDA SLAPIŠTA

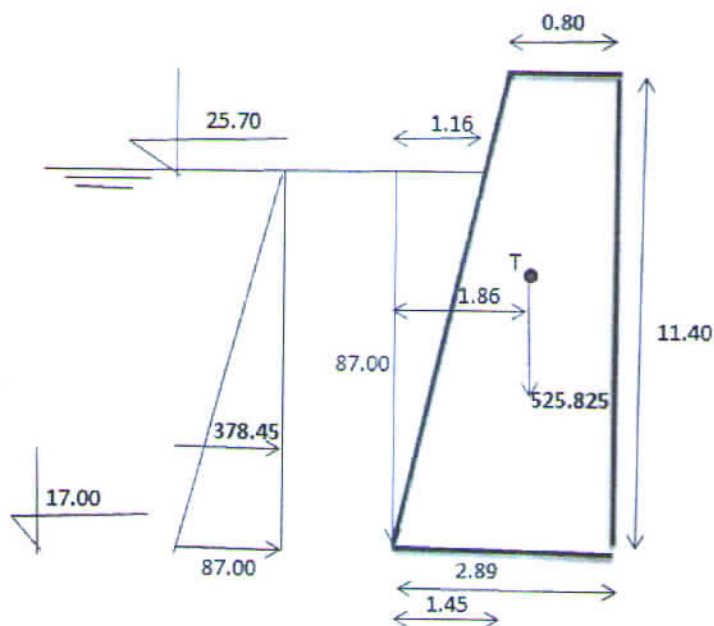
Proračun armature se vrši u skladu sa odredbama Pravilnika za beton i armirani beton (PBAB '87). Za betoniranje se koristi hidrotehnički armirani beton marke betona 30, marke vodonepropustljivosti 6 i marke otpornosti na dejstvo mraza 100 (HAB MB30, V6, M100), a za armiranje rebrasta armatura RA400/500. Oblik i dužina šipki se određuje na osnovu usvojenih veličina blokova za betoniranje.

Za statički sistem usvaja se konzola jedinične širine ( $B=1,0$  m), visine 15 m.

### 6.1 PRORAČUN ARMATURE ZIDA SLAPIŠTA

#### 6.1.1 Prva kombinacija opterećenja

Ova kombinacija opterećenja nastaje u trenutku nailaska velike vode. Voda izvan slapišta se nalazi na koti maksimalnog uspora ( $Z_{mu} = 84,00$  mm), a u slapištu je prazno. Šema opterećenja nalazi se na slici 6.1



Slika 6.1: Šema za prvu kombinaciju opterećenja

S obzirom na to da je za statički sistem usvojena konzola najveći uticaji su u uklještenju, pa je taj presek merodavan.

- Utjecaji u uklještenju:

- **Sopstvena težina:**

$$G = 525,25 \text{ kN/m'}$$

$$MG = 982,7 \text{ kNm/m'}$$

- **Hidrostatički pritisak vode:**

$$H = 378,45 \text{ kN/m'}$$

$$M_H = 1097,51 \text{ kNm/m'}$$

$$V_v = 50,46 \text{ kN/m'}$$

$$M_v = -53,40 \text{ kNm/m'}$$

- Ukupno opterećenje:

$$N_u = 1,6 \cdot (525,25 + 50,46) = 922,056 \text{ kN/m'}$$

$$M_u = 1,8 \cdot (982,7 + 1097,51 - 53,40) = 3648,224 \text{ kNm/m'}$$

- Moment u odnosu na težište zategnuta armature

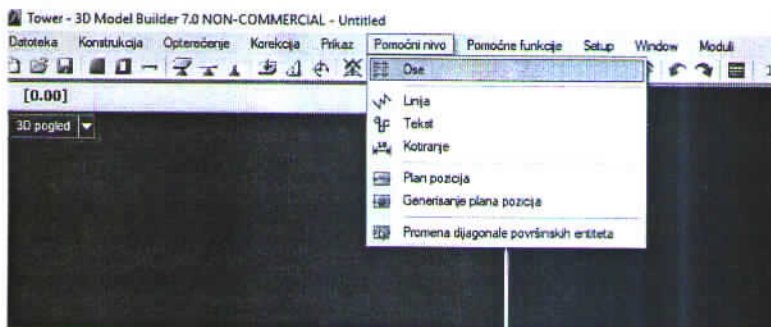
$$M_{au} = M_u + N_u(d/2 - a) = 4934,5 \text{ kNm/m'}$$

### 6.1.2 Druga kombinacija opterećenja

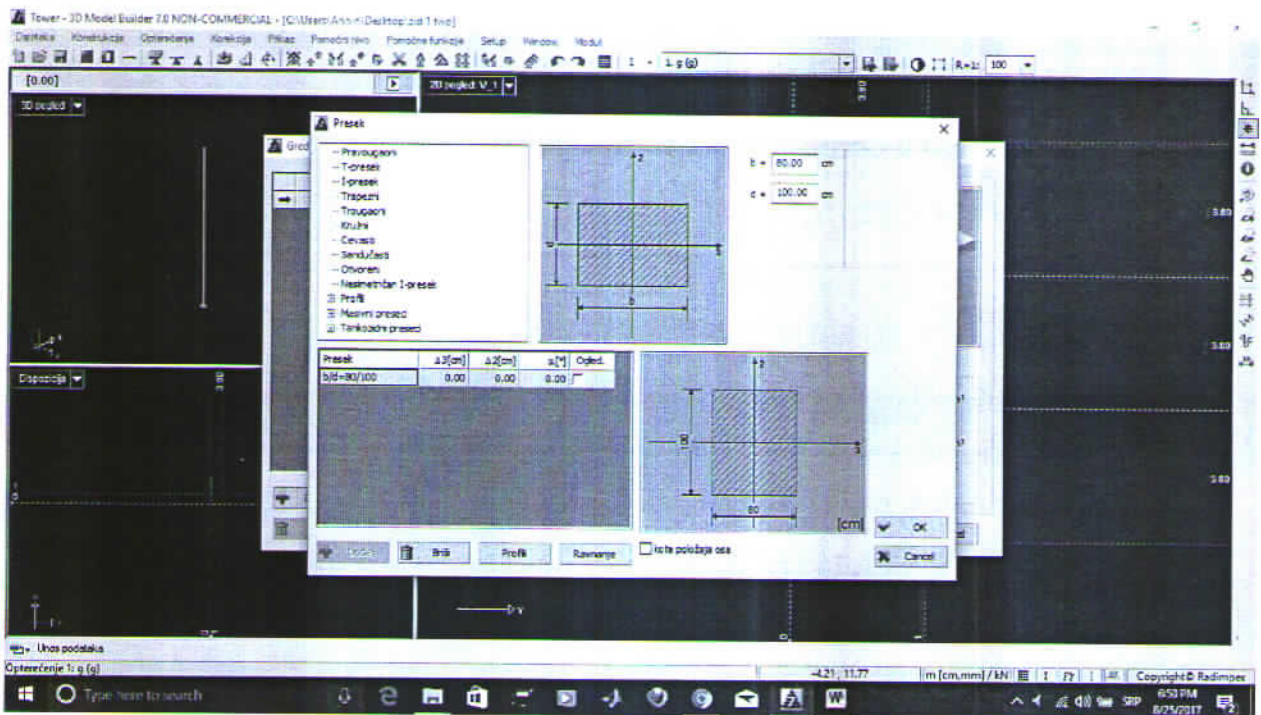
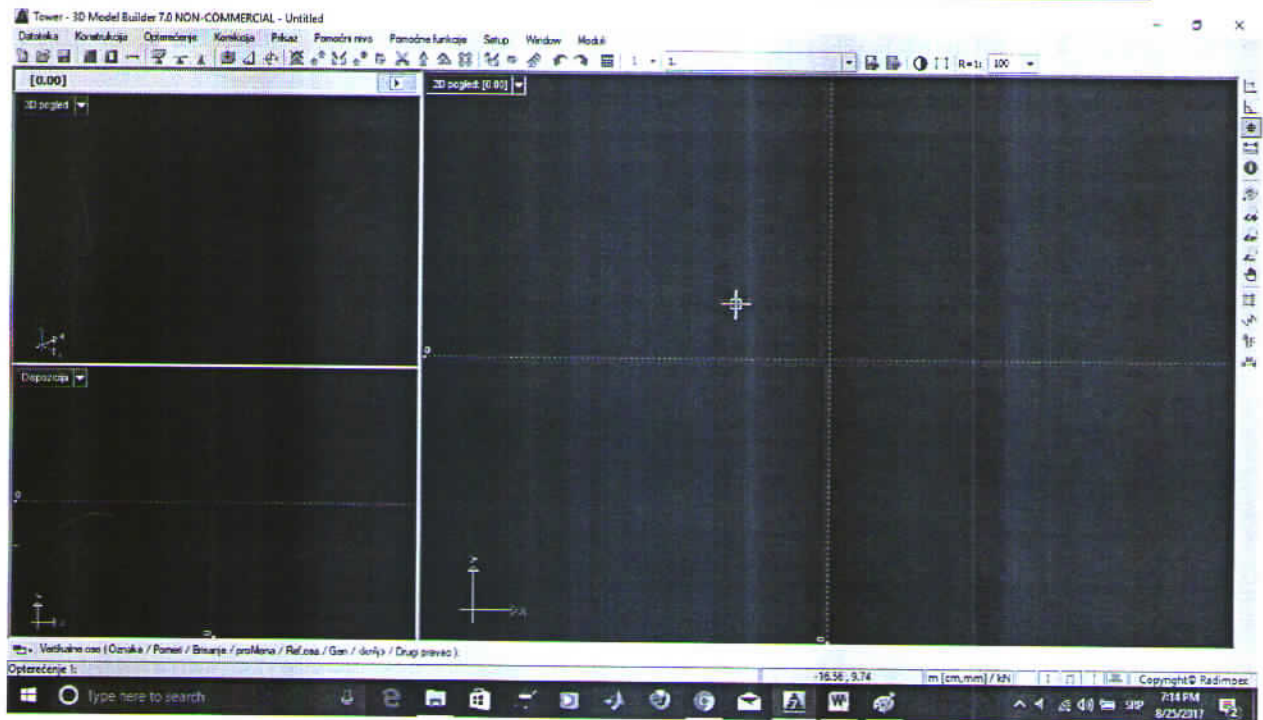
Ova kombinacija opterećenja nastaje kada se pri dejstvu zemljotresa seizmički talasi kreću od leve prema desnoj obali, slika 6.2. Voda u slapištu i izvan slapišta se nalazi na  $Z_{mu} = 80,60 \text{ mm}$ .

#### POSTUPAK RADA U TOWER-U

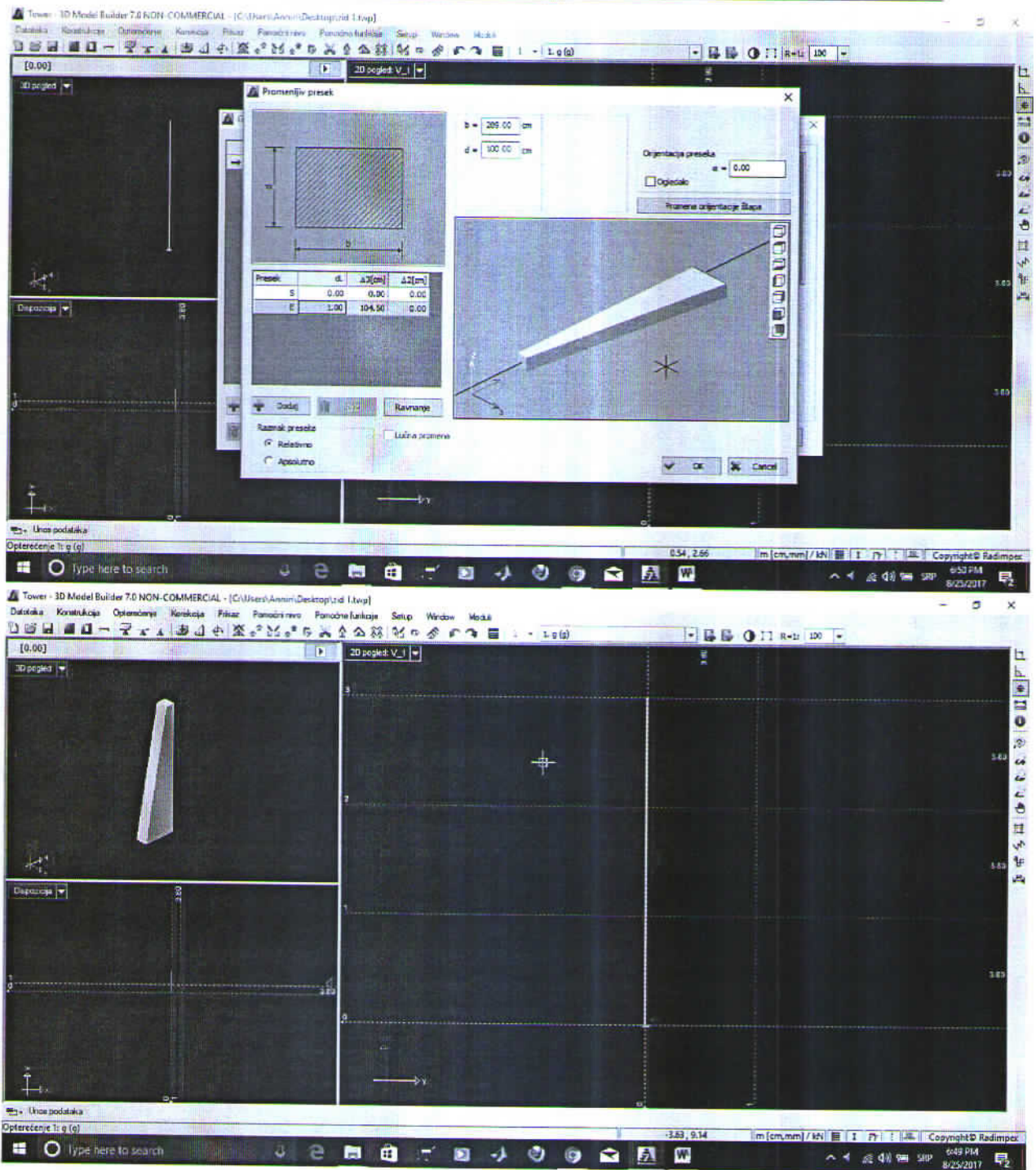
Seizmicki proračun je urađen u programskom paketu tower-a.



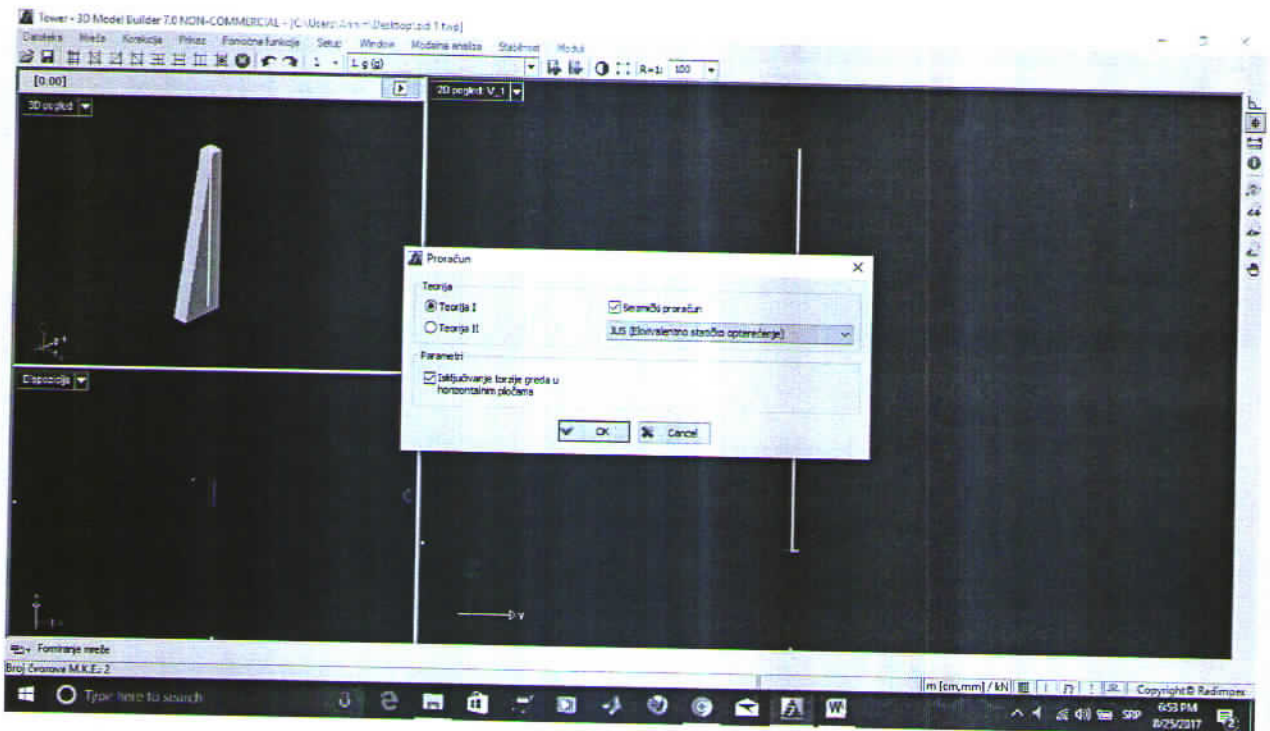
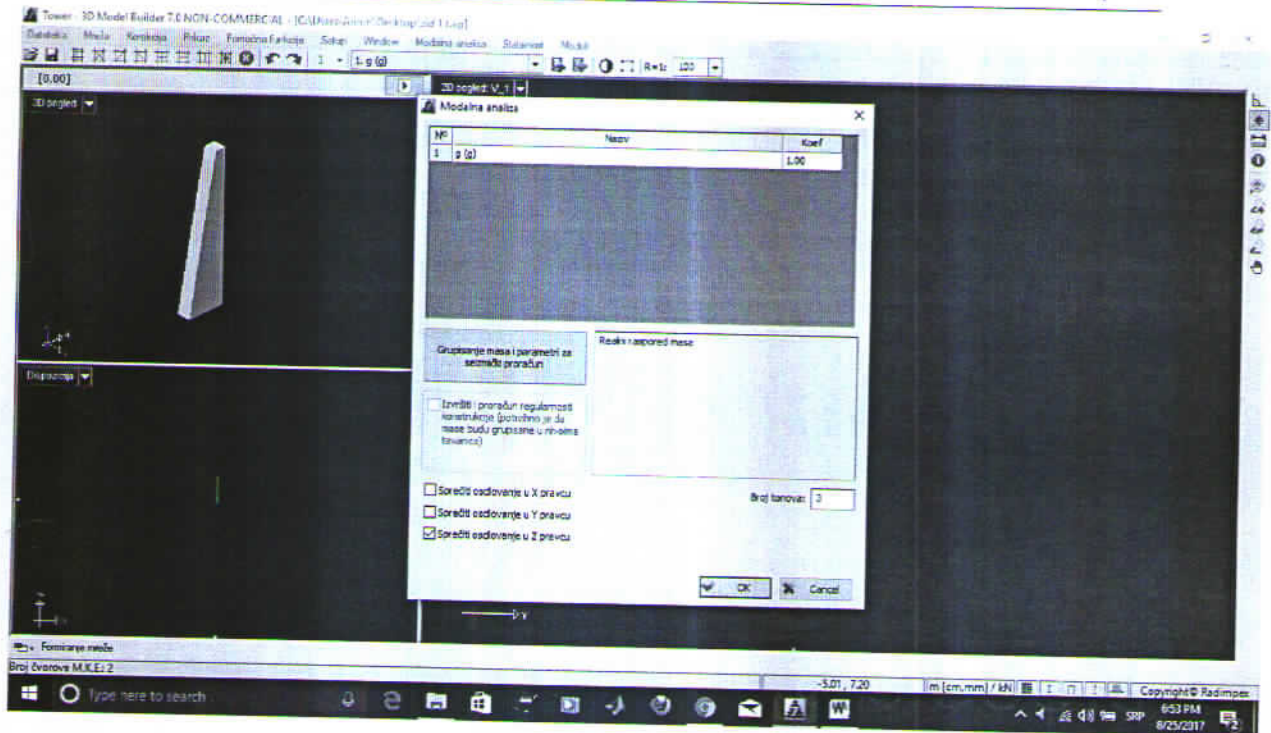
## 6. Zid slapišta

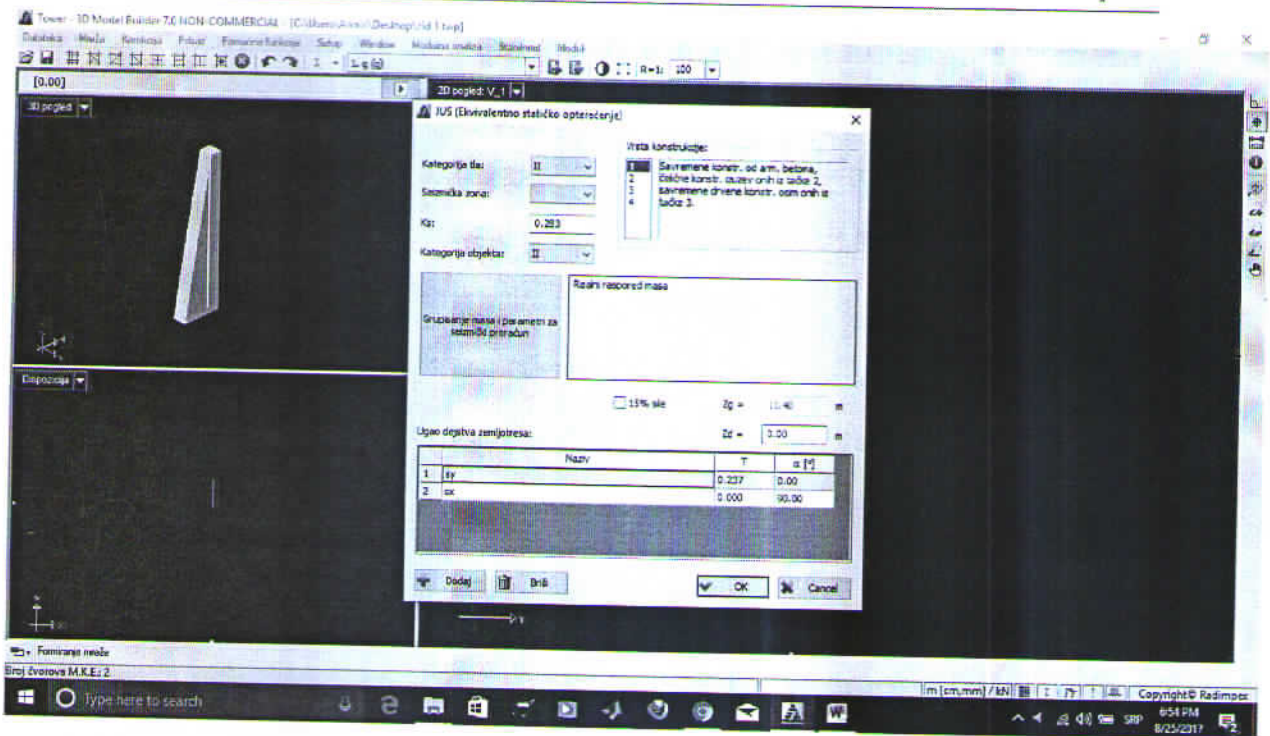


## 6. Zid slapišta

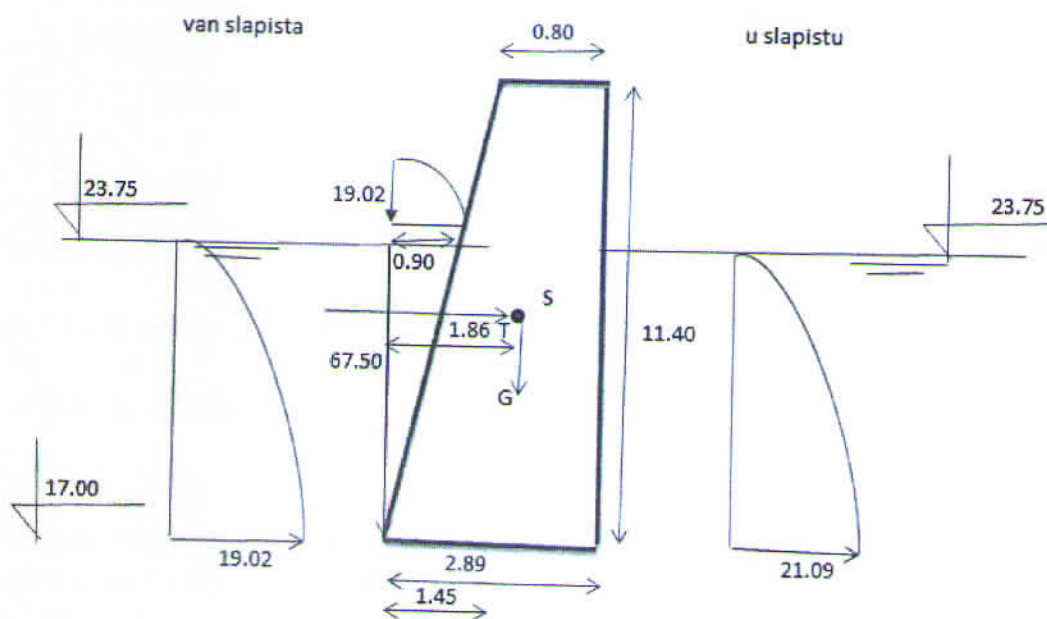








• Uticaji u uklještenju:



Slika 6.2: Šema za drugu kombinaciju opterećenja

- **Sopstvena težina:**

$$G = 525,25 \text{ kN/m'}$$

$$MG = 982,7 \text{ kNm/m'}$$

- **Hidrostatički pritisak vode:**

$$V_v = 30,375 \text{ kN/m'}$$

$$M_v = -34,78 \text{ kNm/m'}$$

- **Hidrodinamički pritisak vode:**

$$\alpha = 0,425$$

$$h = 6,75 \text{ m}$$

- U slapištu:

$$\text{tg } \theta = 0$$

$$C_m = C = 0,735$$

$$p_z = 21,085$$

$$P_z = 103,32$$

$$M_{hz} = 287,25$$

- Van slapištu:

$$\text{tg } \theta = 0,1833$$

$$C_m = C = 0,663$$

$$p_z = 19,02 \text{ kN/m}$$

$$P_{hz} = 93,21 \text{ kN/m'}$$

$$M_{hz} = 259,11 \text{ kNm/m'}$$

$$P_{vz} = 17,09 \text{ kN/m'}$$

$$M_{vz} = 19,57 \text{ kNm/m'}$$

• **Seizmički uticaji**

Seizmički uticaji usled sopstvene težine su određeni korišćenjem programskog paketa Tower, prilog 1):

$$M_s = 524,78 \text{ kNm/m'}$$

• **Ukupno opterećenje:**

$$N_u = 1,3 \cdot 525,25 + 1,5 \cdot (30,375 + 17,09) = 754,77 \text{ kN/m'}$$

$$M_u = 1,3 \cdot 982,7 + 1,5(-34,78 + 287,25 + 259,11 - 19,57) + 1,5 \cdot 524,78 = 2860,77 \text{ kNm/m'}$$

– Moment u odnosu na težište zategnuta armature

$$M_{au} = M_u + N_u(d/2 - a) = 3913,667 \text{ kNm/m'}$$

Merodavni uticaji za dimenzionisanje su dobijeni iz prve kombinacije opterećenja:

$$N_u = 922,056 \text{ kN/m'}$$

$$M_u = 3648,224 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{au} = M_u + N_u(d/2 - a) = 4934,5 \text{ kNm/m'}$$

• **Dimenzionisanje:**

- beton:

$$\text{HAB MB30, V-6, M100} \rightarrow f_b = 20,5 \text{ MPa}$$

- armatura:

$$\text{RA400/500} \rightarrow \sigma_v = 400 \text{ MPa}$$

$$d = 289 \text{ cm} \rightarrow h = 284 \text{ cm}$$

$$k = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_{au}}{b \cdot f_b}}} = 5,178 \rightarrow \mu = 3,158\%$$

Potrebna količina armature:

$$\text{potr} A_a = 22,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\mu_{\min} = 0,15\% \rightarrow \min A_a = 42,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Usvojeno: RAØ25/10**

Za podeonu armaturu usvaja se **RAØ12/10** ( $A_a = 11,31 \text{ cm}^2$ )

U pritisnutoj zoni usvaja se armatura **RAØ12/10** ( $A_a = 11,31 \text{ cm}^2$ )

Za podeonu armaturu u pritisnutoj zoni usvaja se **RAØ8/10** ( $A_a = 5,03 \text{ cm}^2$ )

Specifikacija armature je prikazana je u tabeli 6.1, a rekapitulacija je data u tabeli 6.2.

Tabela 6.1: Specifikacija armature zida slapišta

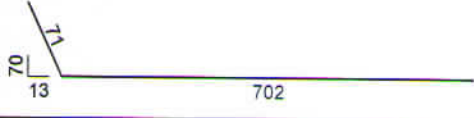
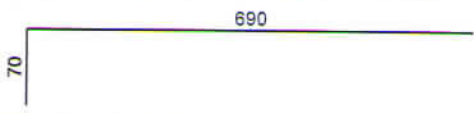
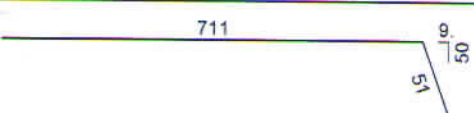


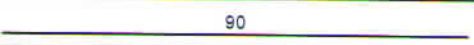
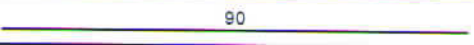
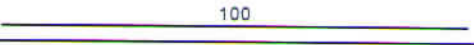
Šipke - specifikacija						
ozn.	oblik i mere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]	Napomena
noname (1 kom)						
1		25	7.73	10	77.30	
2		12	7.60	10	76.00	
3		25	7.62	10	76.20	
4		12	7.00	10	70.00	
5		25	8.03	40	321.20	
6		12	0.90	114	102.60	
7		8	0.90	114	102.60	
8		12	1.00	136	136.00	

Tabela 6.2 Rekapitulacija armature zida slapišta

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m]	Težina [kg]
RA1			
8	102.60	0.41	41.96
12	384.60	0.92	353.83
25	474.70	3.95	1875.54
Ukupno (RA1)			2271.34
Ukupno			2271.34

## 7 PREDMER I PREDRAČUN

## 7.1 ZEMLJANI RADOVI

OPIS GRAĐEVINSKIH RADOVA	Jedinica mere	količina	Jedinična cena	svega (rsd)
Iskop zemlja II, III i IV kategorije, (sa osnovne stene i iz rečnog korita) u širokom otkopu. Transport iskopanog materijala na daljinu do 500 m (u m <sup>3</sup> ): Preliv'            58296 Brzotok            646,35 Slapište            17580,23 Ukupno:            76522,56 II kategorije (30%) III kategorije (50%) IV kategorije (20%)				
	m <sup>3</sup>	22956,77	280	6427895,6
		38261,3	350	133911455
		15304,52	450	6887034
Iskop stene V i VI kategorije u širokom otkopu. Transport iskopanog materijala na daljinu do 500 m: Preliv            13585,96 Brzotok Slapište Ukupno: 13585,96 V kategorije(60%) VI kategorije(40%)				
	m <sup>3</sup>	8151,58	720	5869137,60
	m <sup>3</sup>	5434,38	720	3912753,60
Nasipanje kamenog nabačaja transportovanim sa deponije udaljene do 500 m.	m <sup>3</sup>	23355,56	300	7006668

UKUPNO:

160102190,20

## 7.2 BETONSKI RADOVI

OPIS GRAĐEVINSKIH RADOVA	jedinica mere	količina	jedinična cena	svega (rsd)
Nabavka komponenti, spravljanje i ugrađivanje hidrotehničkog betona(HB) i hidrotehničkog armiranog betona(HAB):				
1. Prelivni deo brane MB20	m <sup>3</sup>	72044,02	11200	806893024
2. Brzotok MB25	m <sup>3</sup>	7796,82	11200	87324384
3. Slapište				
- zidovi MB30	m <sup>3</sup>	1535,41	17000	26101970
- dno MB30	m <sup>3</sup>	4166,84	17000	70836280
- zubi MB40	m <sup>3</sup>	29,4	17000	499800
HAB MB10 V-6 M-100 Mršavi beton	m <sup>3</sup>	7103,31	17000	120756270
HAB MB10 V-6 Zamenjujući beton ispod slapišta	m <sup>3</sup>	17580,23	17000	298863910

UKUPNO: 1411275638

## 7.3 ARMIRAČKI RADOVI

ARMIRANI DELOVI BRANE	jedinica mere	količina	jedinična cena	svega (rsd)
brzotok	t	1170	96000	112274208
Slapišna ploča	t	833,4	96000	80003328
Zidovi slapišta	t	4,54	96000	436097,28
Zubi slapišta	t	8,82	96000	846720

UKUPNO: 193560353,3

Zemljani radovi	160.102.190	rsd
Betonski radovi	1.411.275.638	rsd
Armatura	193.560.353	rsd
<b>Ukupno:</b>	<b>1.764.938.181</b>	<b>rsd</b>

---

7. Predmer i predračun

Nepredviđeni radovi (20%A)	352.987.636 rsd
Mašinska oprema	1.027.862.498 rsd
Građevinski radovi	1.764.938.181 rsd
<b>UKUPNO</b>	<b>3.145.758.315 rsd =26.214.652 €</b>



---

## 8 LITERATURA

- [1] *pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seimičkim područjima*, 1987.
- [2] Петровић, П. , Радојевић Д. *Хидротехничке конструкције примери и примене I*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1997.
- [3] Петровић, П. , *Хидротехничке конструкције други део*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2002.
- [4] Савић Љ., *Увод у хидротехничке грађевине*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2009.
- [5] Muganda A. I., Миловановић В., Кузмановић В., Савић Лј. *Calculation of vertical seismic hydrodynamic loads - Conferenc proceedings 5th international conference contemporary achievements in civil engineering 2017*, Faculty of civil engineering, Суботица, 2017.

## Prilog1:

Opt. 2: sy

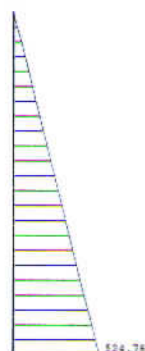
N1



T2



M3



u2



Uticaji u gredi: (1-2)  
N1 [kN], T2 [kN], M3 [kNm], u2 [m/1000]