

# Glavni projekt obalnog zida u luci otvorenoj za javni promet Mala Pošta u Pločama

---

**Dobrijević, Nikola**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:528103>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**DIPLOMSKI RAD**

**Nikola Dobrijević**

**Split, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Glavni projekt obalnog zida u luci otvorenoj za javni  
promet Mala Pošta u Pločama**

**Diplomski rad**

**Nikola Dobrijević**

**Split, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**STUDIJ: SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO**

**KANDIDAT: DOBRIJEVIĆ NIKOLA**

**MATIČNI BROJ (JMBAG): 00832200238**

**KATEDRA: Katedra za geotehniku**

**PREDMET: Geotehničko inženjerstvo**

## **ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

**Tema:** Glavni projekt obalnog zida u luci otvorenoj za javni promet Mala Pošta u Pločama

**Opis zadatka:** Za predmetnu lokaciju izvršeni su geotehnički istražni radovi. Izvještaj o provedenim geotehničkim istražnim radovima, kao i idejno rješenje uređenja luke, su prilozi ovom zadatku. Na osnovi svojstava slojeva koji grade teren na predmetnoj lokaciji, a prema zadanim uvjetima uređenja lučice, potrebno je izraditi glavni projekt obalnog zida. Zid treba osiguravati dubinu gaza plovila uz zid od 2.5 m, te imati visinu od 1.0 m iznad razine mora. Zid predvidjeti kao predgotovljenu armirano betonsku konstrukciju "T" presjeka. Za potrebe dimenzioniranja zida izvršiti analizu svih očekivanih djelovanja koja zid treba preuzeti (vez broda prema uvjetima uređenja lučice, djelovanje vala s obzirom na očekivani val na predmetnoj lokaciji, potresno opterećenje,...).

U Splitu, 24. siječnja 2024.godine

Voditelj Diplomskog rada:

prof.dr.sc. Predrag Mišćević

Predsjednik Povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Balić

# **Glavni projekt obalnog zida u luci otvorenoj za javni promet Mala Pošta u Pločama**

## **Sažetak:**

U ovom radu je obrađena tema stabilnosti obalnog zida koji se izvodi kao predgotovljeni armirano betonski element temeljen na nasipu izrađenom od kamenog materijala. Geotehničkim softverom Geo5 analizirana je stabilnost zida za odabrane dimenzije, te je dokazana stabilnost na prevrtanje i klizanje. Nosivost temeljnog tla dokazana je kao stabilnost kosine na klizanje u temeljnom nasipu ispod zida. Analizom stabilnosti kosine nasipa za kritičnu kombinaciju opterećenja, određena je maksimalna iskoristivost putem Bishopove metode.

**Ključne riječi:** Obalni zid, analiza stabilnosti, nosivost temeljnog tla

# **The main project of the coastal wall in the port open to public traffic Mala Pošta in Ploče**

## **Abstract:**

This paper investigates the stability of a precast, reinforced concrete coastal wall founded on a stone embankment. The analysis utilizes Geo5 software to assess the wall's resistance to overturning and sliding under predetermined dimensions. The evaluation considers both the bearing capacity of the foundation soil and the slope stability of the underlying stone embankment to ensure the overall stability of the structure. By analysing the stability of the embankment slope for a critical combination of loads, the maximum utilization was determined using Bishop's method.

**Keywords:** Coastal wall, stability analysis, foundation soil bearing capacity

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. TEHNIČKI OPIS .....  | 1  |
| 1.1. Uvod.....  | 1  |
| 1.2. Geotehnički istražni radovi .....  | 4  |
| 1.3. Geotehničke karakteristike tla.....  | 5  |
| 1.5. Karakteristike i uvjeti gradiva AB zida .....  | 13 |
| 1.5.1. Uvjeti gradiva .....   | 13 |
| 1.5.2. Karakteristike gradiva .....   | 13 |
| 2. DJELOVANJA NA OBALNI ZID .....   | 15 |
| 2.1. Promjenjiva djelovanja.....  | 15 |
| 2.1.1. Djelovanje od valova na zid operativne obale.....                                  | 15 |
| 2.1.1.1. Parametri projektnog vala na lokaciji.....                                       | 16 |
| 2.1.1.2. Proračun valnog opterećenja .....  | 17 |
| 2.1.2. Djelovanje brodova na obalni zid.....  | 19 |
| 2.1.2.1. Ukupna sila koja djeluje na privezana plovila .....                              | 20 |
| 2.1.2.2. Proračun sila na privezne elemente .....   | 21 |
| 2.1.2.3. Odabrano opterećenje.....  | 28 |
| 2.1.3. Djelovanje sila na obalni zid uslijed rezidualne vode i prometnog opterećenja .... | 29 |
| 2.1.3.1. Djelovanje vode na obalni zid od rezidualne vode iznad razine mora.....          | 29 |
| 2.1.3.2. Pritisak tla na obalni zid od vertikalnog prometnog opterećenja .....            | 30 |
| 2.2. Stalna djelovanja (G).....   | 31 |
| 2.2.1. Djelovanje aktivnog tlaka i statičko djelovanje od zida i zasipa.....              | 31 |
| 2.2.1.1. Geometrija obalnog zida .....  | 31 |
| 2.2.1.2. Karakteristike materijala zasipa iza zida .....                                  | 31 |
| 2.2.1.3. Proračun koeficijenta aktivnog tlaka i određivanje virtualne ravnine.....        | 33 |
| 2.2.1.4. Proračun težine zida i zasipa .....  | 34 |
| 2.3. Seizmičko djelovanje (E) .....   | 36 |
| 2.3.1. Seizmička inercijalna sila na obalni zid .....                                     | 36 |
| 2.3.2. Seizmički potisak tla uslijed djelovanja korisnog opterećenja.....                 | 37 |
| 2.3.3. Aktivni seizmički pritisak tla na obalni zid .....                                 | 38 |
| 2.3.4. Seizmički pritisak vode iza obalnog zida .....                                     | 40 |
| 3. REKAPITULACIJA OPTEREĆENJA .....   | 41 |
| 3.1. Parcijalni koeficijenti za učinke djelovanja .....                                   | 41 |
| 3.2. Rekapitulacija djelovanja .....  | 43 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3. Kombinacije djelovanja.....  | 45 |
| 3.3.1. Stalna (statička) kombinacija .....  | 45 |
| 3.3.2. Stalna i prolazna kombinacija (prometno opt. + sila vala).....               | 47 |
| 3.3.3. Stalna i prolazna kombinacija (val + sila veza).....                         | 49 |
| 3.3.4. Stalna i prolazna kombinacija (prometno opt. + sila veza) .....              | 51 |
| 3.3.5. Stalna i prolazna kombinacija (sila vala + sila od rezidualne vode) .....    | 53 |
| 3.3.6. Stalna i prolazna kombinacija (prometno opt. + sila od rezidualne vode)..... | 55 |
| 3.3.7. Incidentna kombinacija (potres + sila vala + sila veza) .....                | 57 |
| 3.3.8. Incidentna kombinacija (potres + prometno opt. + sila vala).....             | 59 |
| 3.3.9. Potresna kombinacija (potres + prometno opt.) .....                          | 61 |
| 3.3.10. Potresna kombinacija (potres + sila vala) .....                             | 63 |
| 3.3.11. Dimenzioniranje karakterističnog presjeka .....                             | 66 |
| 4. PRORAČUN STABILNOSTI NASIPA ISPOD ZIDA.....                                      | 67 |
| 4.1. Ulazni podaci i proračunski pristup .....                                      | 67 |
| 4.2. Rezultati proračuna analize stabilnosti nasipa .....                           | 68 |
| 4.2.1. Potresna kombinacija (potres + prometno opt.) .....                          | 68 |
| 5. ZAKLJUČAK .....  | 70 |
| 6. NACRTI .....   | 71 |
| 6.1. Situacija – MJ 1:250.....  | 71 |
| 6.2. Karakteristični poprečni presjek obalne kosntrukcije .....                     | 71 |
| 7. LITERATURA .....   | 74 |

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. Uvod

Lokacija zahvata nalazi se u sklopu luke otvorene za javni promet lokalnog značaja Mala Pošta, na dijelu obalnog pojasa s istočne strane poluotoka Mali Milosavac u gradu Pločama. Radi se o obalnom potezu dužine približno 300 m, od hotela Bebić na sjeveru do svjetionika na jugu. Lokacija zahvata je u obuhvatu Prostornog plana uređenja Grada Ploča. Zahvat obuhvaća kopneni i morski dio postojeće obale, te ima površinu obuhvata 21.719 (m<sup>2</sup>).

Izgradnja podmorskog dijela obalnog zida nove operativne obalne luke je ujedno i prva faza projekta na kojem se temelji izrada ovog diplomskog rada. Slijedeći građevinski zahvati u sklopu uređenja obalne lučice su:

1. Izgradnja podmorskog dijela obalnog zida nove operativne obale luke
2. Izgradnja podmorskog dijela istezališta za brodove i spojne dionice
3. Izgradnja podmorskog dijela gata
4. Izgradnja podmorskog dijela obale od obrambenog kamenometa

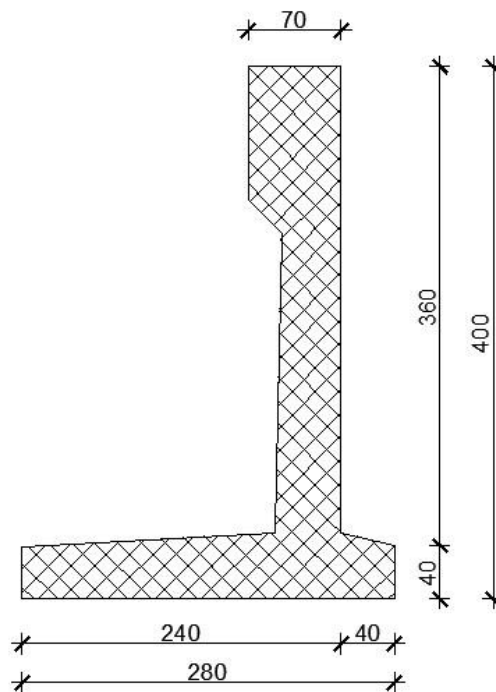
Radovi na izgradnji podmorskog dijela obalnog zida nove operativne obale luke započinju izvođenjem širokog konstruktivnog podmorskog iskopa. Generalno, iskop se vrši uklanjanjem gornjih stišljivih i nenosivih slojeva morskih sedimenata do detekcije sloja razlomljene stijenske mase. Geotehničkim elaboratom je utvrđen sastav i vrsta tla kao i njegove karakteristike. Prije i nakon izvedenog iskopa provodi se geodetsko snimanje profila po presjecima, kako bi se odredila ukupna debljina uklonjenih morskih sedimenata. Tijekom iskopa na svakom projektnom profilu potrebno je izvršiti pregled iskopanog materijala istresanjem na radnu platformu, te nakon sušenja ustanoviti sastav i kvalitetu. Nakon geodetske provjere vrši se i ronilački pregled iskopanog temeljnog tla s detekcijom preostalog sloja do nosivog sloja. Ovisno o položaju pojedinog projektnog presjeka, iskop se vrši do dubina od -5.0 m do, pa sve do -8.0 m.

Nakon pravilno izvedenog iskopa, pristupa se nasipanju temeljnog kamenog nasipa od kamenog materijala mase 1- 100 kg do kote -3,25 m. Na ovoj koti se vrši nasipanje tucanika 32-63 mm u debljini od 20 cm, na kojeg se postavlja jednoosna geomreža



minimalne nosivosti na vlačno opterećenje 61,58 kN/m'. Geomreža osigurava stabilnost nasipa ispod obalnog zida, a položaj geomreže mora biti takav da je nosivi smjer geomreže okomit na obalnu liniju. Postavljena geomreža se zasipa tucanikom 16-32 mm u debljini sloja od 20 cm, što je ujedno i izravnavajući sloj za polaganje predgotovljenih armiranobetonskih elemenata obalnog zida.

Nakon što se sloj poravna slijedi polaganje predgotovljenih armiranobetonskih L-elemenata tlocrtnih dimenzija 2,8 x 2,5 (m) i visine 3 (m), na koje nakon konsolidacije tla dolazi naglavna greda u visini od 1 (m) koja se betonira na licu mjesta. S prednje strane postavljenog L-elementa, polažu se predgotovljeni armiranobetonski blokovi čuvari dimenzija 1,5 x 2,0 x 0,40 (m).



*Slika 1.1. Odabrane dimenzije obalnog zida*

Prednja, morska strana temeljnog nasipa 1-100 kg zaštićuje se složenim kamenom mase 100-150 kg u debljini sloja od 100 cm i s nagibom pokosa 1:1,5. U zaleđu postavljenih L-elemenata obalnog zida, vrši se nasipanje materijala rasteretne prizme od kamena mase 50- 150 kg, te općeg kamenog nasipa 0,1-500 kg, sve do kote 0.00 m. Nakon ovoga potrebno je provesti predopterećenje i kontrolu konsolidacije obalnog zida u trajanju od 15 dana. Na obalni zid se postavljaju neugrađeni L-elementi, te se na svakom projektnom profilu ugrađuje po jedan par geodetskih točaka za praćenje slijeganja na rubnim točkama L-elemenata predopterećenja. Geodetska mjerenja vrše se svaka 2 dana

tijekom prvih 10 dana konsolidacije, te završno mjerenje nakon 15 dana. Ako se nakon zadnja dva mjerenja ustanovi slijeganje manje od 1 mm može se smatrati da je proces slijeganja zida završen i može se nastaviti s daljnjim radovima. U protivnom konsolidacija se nastavlja konstantnim mjerenjem svakih 7 dana dok se ne ustanovi razlika slijeganja od 1 mm tijekom dva uzastopna mjerenja. Nakon završene konsolidacije, slijedi izrada nadmorskog dijela obalnog zida, odnosno izvedba naglavne grede betoniranjem na licu mjesta, nakon čega slijedi uređenje šetnice, biciklističke staze i zaobalnog zelenog pojasa.



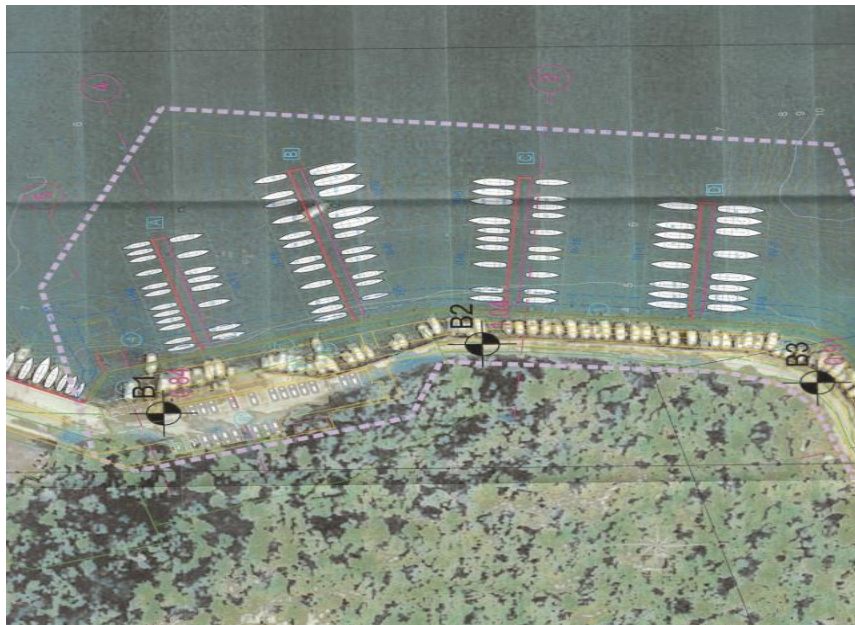
*Slika 1.2. Geodetska situacija obuhvata zahvata u prostoru*

## 1.2. Geotehnički istražni radovi

Prilikom izrade geotehničkog elaborata za predmetnu lokaciju napravljene su četiri istražne bušotine, te su određeni karakteristični parametri tla za svaku bušotinu. Geotehnički elaborat obuhvaća obradu i interpretaciju rezultata terenskih istraživanja, laboratorijskih ispitivanja i određivanja geotehničkih značajki lokacije. Sva navedena istraživanja provedena su u kolovozu i rujnu 2020.godine. Istražno bušenje se sastojalo od izvođenja istražnih bušotina s kontinuiranim jezgrovanjem, inženjerske identifikacije i opisa jezgre bušotina. Dubina istražnih bušotina bila je 10 m. U nastavku su prikazani rezultati istražnih radova.

| Oznaka bušotine | Datum ispitivanja | Koordinate istražnih bušotina |            |      | Dubina ispitivanja (m) |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|------------|------|------------------------|
|                 |                   | E                             | N          | Z    |                        |
| B 1             | 26.08.2020.       | 575897.55                     | 4768667.48 | 0.84 | 10.0                   |
| B 2             | 26.08.2020.       | 575920.80                     | 4768591.23 | 1.04 | 10.0                   |
| B 3             | 27.08.2020.       | 575905.73                     | 4768511.68 | 0.91 | 10.0                   |
| B 4             | 27.08.2020.       | 575808.61                     | 4768485.69 | 0.98 | 10.0                   |

Tablica 1.1. Tablični prikaz pozicija istražnih bušotina i dubina ispitivanja (preuzeto iz elaborata o geotehničkim istražnim radovima)



Slika 1.3. Tlocrtni prikaz rasporeda istražnih bušotina

### 1.3. Geotehničke karakteristike tla

#### Bušotina B1

Na mjestu bušotine B1 provedeno je istražno bušenje i terenska identifikacija, te su izvedeni laboratorijski pokusi na temelju čega je dobiven sljedeći profil tla:

Do dubine 6.3 m nalazi se nasip od slabo graduiranog šljunka s glinom i pijeskom (GP-GC), sivosmeđe boje s udjelom šljunka cca. 73 %, pijeska cca. 18 % i koherentnih čestica cca. 9 %. Od 6.3 m do 8.0 m nalazi se razlomljena stijenska masa vrlo slabe kvalitete (RQD indeks kreće se od 17 do 22 %) s glinenom ispunom tamno smeđe boje. Od 8.0 m do 10.0 m nalazi se razlomljena stijenska masa vrlo slabe kvalitete (RQD indeks je 0), bez ispune s udjelom kalcijevog karbonata cca. 93%. Razina podzemne vode za vrijeme bušenja bila je na dubini od 1.5 m. Karakteristične vrijednosti parametara materijala odabrane su na temelju provedenih istražnih radova za bušotinu B1 su:

#### 0.0-6.3 m

Zapreminska težina  $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$

Prirodna vlažnost  $w_0 = 2.75 \%$

#### 6.3 – 10.0 m

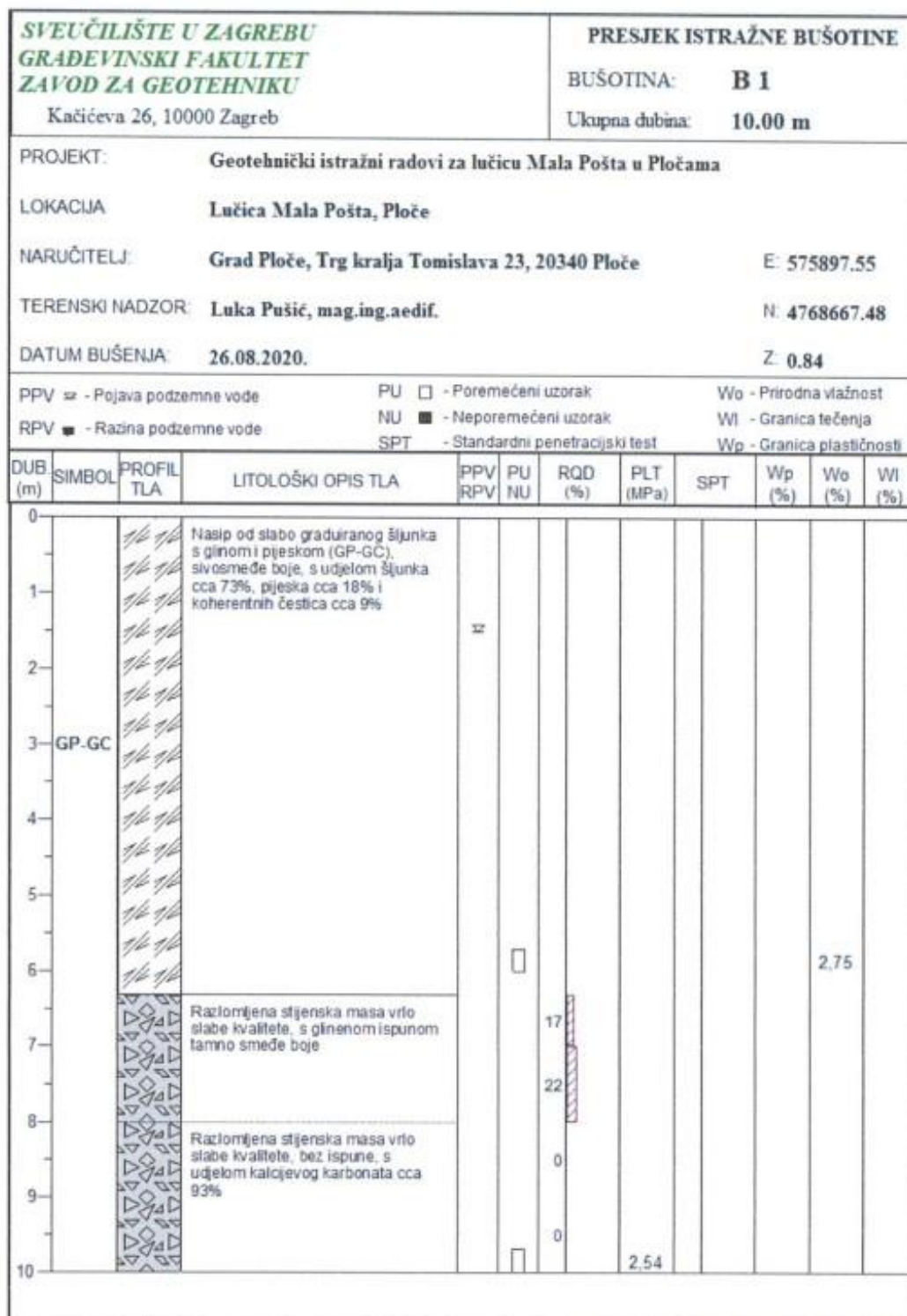
Zapreminska težina  $\gamma = 23.00 \text{ kN/m}^3$

Indeks točkaste čvrstoće  $I_{s(50)} = 2.54 \text{ MPa}$

Parametri posmične čvrstoće postojećeg nasipa su dobiveni na osnovu laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla metodom direktnog posmika. Pomoću uređaja za direktno smicanje u dreniranim uvjetima, tlo se podvrgava prisilnom smicanju po horizontalnoj ravnini. U pravilu se provode tri pokusa pri različitim vertikalnim opterećenjima. Svaki od tri pokusa provodi se u dvije faze, pri čemu se prva faza odnosi na konsolidaciju pod opterećenjem, a druga na smicanje.

$$c' = 0 \text{ (kPa)}$$

$$\varphi' = 35.5^\circ$$



Slika 1.4. Presjek sondažnog profila tla bušotine B1

## Bušotina B2

Na mjestu bušotine B2 provedeno je istražno bušenje i terenska identifikacija, te su izvedeni laboratorijski pokusi na temelju čega je dobiven sljedeći profil tla:

Do dubine 5.0 m nalazi se nasip od glinovitog šljunka s pijeskom (GC), slabo graduiranog smeđe boje s udjelom šljunka cca. 64 %, pijeska cca. 23 % i koherentnih čestica cca. 13%. Od 5.0 m do 10.0 m nalazi se razlomljena stijenska masa vrlo slabe kvalitete (najveća vrijednost RQD indeksa je 21 %) s ispunom od glinovitog šljunka s pijeskom smeđe do sivosmeđe boje. Udio kalcijevog karbonata je cca. 82 %. Razina podzemne vode za vrijeme bušenja bila je na dubini od 1.2 m.

Karakteristične vrijednosti parametara materijala odabrane su na temelju provedenih istražnih radova za bušotinu B2 su:

### 0.0-5.0 m

Zapreminska težina  $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$

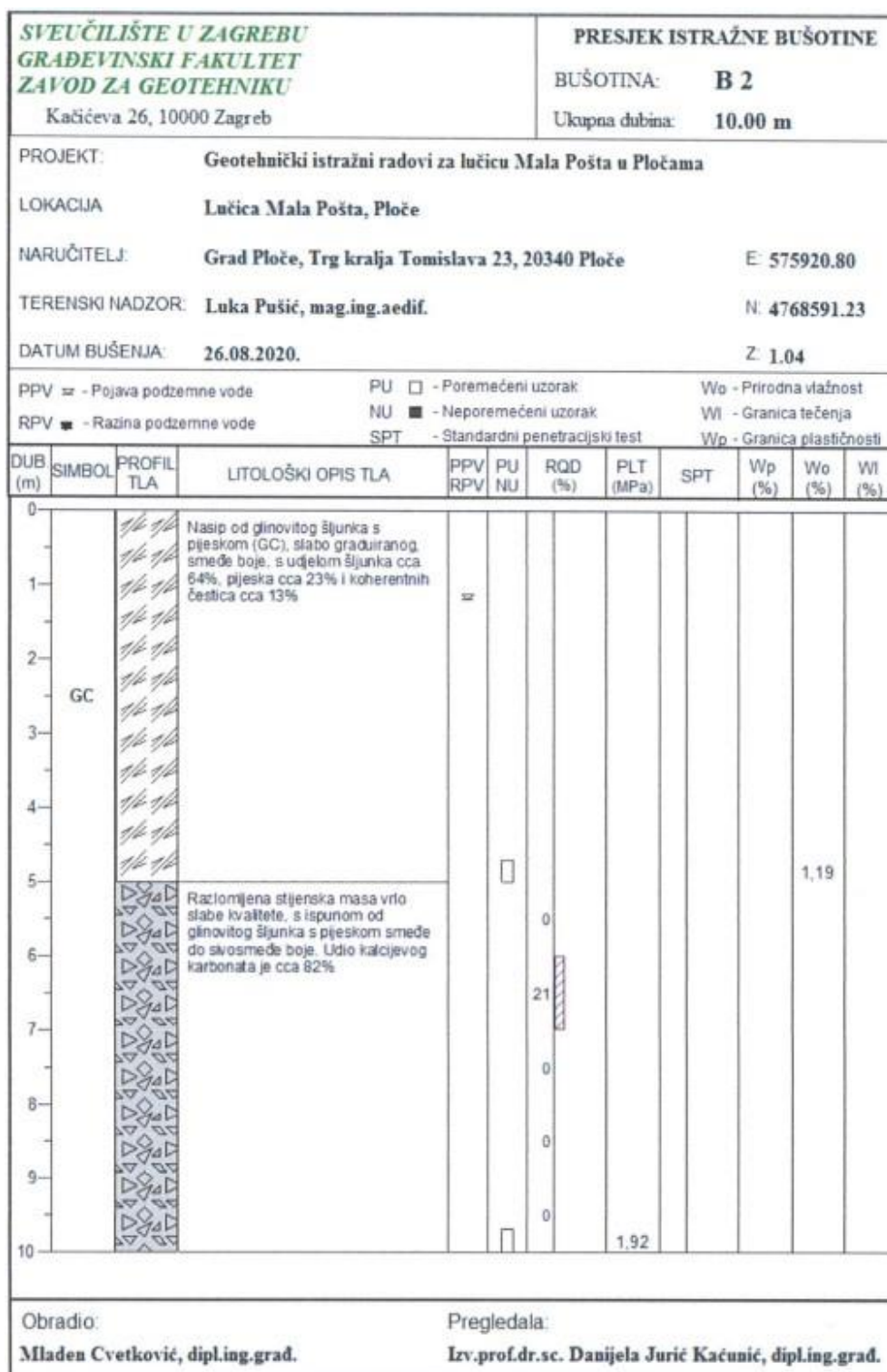
Prirodna vlažnost  $w_0 = 1.19 \%$

### 2.2 – 3.7 m

Zapreminska težina  $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Indeks točkaste čvrstoće  $I_{s(50)} = 1.92 \text{ MPa}$





Slika 1.5. Presjek sondažnog profila tla bušotine B2

### **Bušotina B3**

Na mjestu bušotine B3 provedeno je istražno bušenje i terenska identifikacija, te su izvedeni laboratorijski pokusi na temelju čega je dobiven sljedeći profil tla:

Do dubine 5.0 m nalazi se nasip od glinovitog šljunka s pijeskom (GC), slabo graduiranog smeđe boje s udjelom šljunka cca. 54 %, pijeska cca. 34 % i koherentnih čestica cca. 12 %. Od 5.0 m do 10.0 m nalazi se razlomljena stijenska masa vrlo slabe do slabe kvalitete ( RQD indeks je 0, osim u intervalu od 7.0 do 8.0 m gdje iznosi 32 %), s ispunom od glinovitog šljunka s pijeskom smeđe do sivosmeđe boje. Udio kalcijevog karbonata je cca. 90 %. Razina podzemne vode za vrijeme bušenja bila je na dubini od 1.6 m.

Karakteristične vrijednosti parametara materijala odabrane su na temelju provedenih istražnih radova za bušotinu B3 su:

#### 0.0-5.0 m

Zapreminska težina  $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$

Prirodna vlažnost  $w_0 = 4.66 \%$

#### 5.0 – 10.0 m

Zapreminska težina  $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Indeks točkaste čvrstoće  $I_{S(50)} = 3.08 \text{ MPa}$



| SVEUČILIŠTE U ZAGREBU<br>GRAĐEVINSKI FAKULTET<br>ZAVOD ZA GEOTEHNIKU<br>Kačićeva 26, 10000 Zagreb |        |  |  | PRESJEK ISTRAŽNE BUŠOTINE                              |           |         |           |               |        |        |        |
|---|--------|--|--|--|-----------|---------|-----------|---------------|--------|--------|--------|
|   |        |  |  | BUŠOTINA: <b>B 3</b>                                   |           |         |           |               |        |        |        |
|   |        |  |  | Ukupna dubina: <b>10.00 m</b>                          |           |         |           |               |        |        |        |
| PROJEKT:  |        | Geotehnički istražni radovi za lučicu Mala Pošta u Pločama |  |  |           |         |           |               |        |        |        |
| LOKACIJA  |        | Lučica Mala Pošta, Ploče                                   |  |  |           |         |           |               |        |        |        |
| NARUČITELJ:   |        | Grad Ploče, Trg kralja Tomislava 23, 20340 Ploče           |  |  |           |         |           | E: 575905.73  |        |        |        |
| TERENSKI NADZOR:  |        | Luka Pušić, mag.ing.aedif.                                 |  |  |           |         |           | N: 4768511.68 |        |        |        |
| DATUM BUŠENJA:  |        | 27.08.2020.  |  |  |           |         |           | Z: 0.91       |        |        |        |
| PPV $\equiv$ - Pojava podzemne vode   |        | PU $\square$ - Poremećeni uzorak                           |  | Wo - Prirodna vlažnost                                 |           |         |           |               |        |        |        |
| RPV $\blacksquare$ - Razina podzemne vode   |        | NU $\blacksquare$ - Neporemećeni uzorak                    |  | Wl - Granica tečenja                                   |           |         |           |               |        |        |        |
|   |        | SPT - Standardni penetracijski test                        |  | Wp - Granica plastičnosti                              |           |         |           |               |        |        |        |
| DUB (m)   | SIMBOL | PROFIL TLA   | LITOLOŠKI OPIS TLA   | PPV<br>RPV   | PU<br>NU  | RQD (%) | PLT (MPa) | SPT           | Wp (%) | Wo (%) | Wl (%) |
| 0   | GC     |  | Nasip od glinovitog šljunka s pijeskom (GC), slabo građiranog, smeđe boje, s udjelom šljunka cca 54%, pijeska cca 34% i koherentnih čestica cca 12%                | $\equiv$   |           |         |           |               |        |        |        |
| 5   |        |  |  |  |           |         |           |               |        | 4,66   |        |
| 5   |        |  | Razlomljena stjenjaka masa vrlo slabe do slabe kvalitete, s ispunom od glinovitog šljunka s pijeskom smeđe do sivosmeđe boje. Udio kalcijevog karbonata je cca 90% |  | $\square$ | 0       |           |               |        |        |        |
| 6   |        |  |  |  |           | 32      |           |               |        |        |        |
| 7   |        |  |  |  |           | 0       |           |               |        |        |        |
| 8   |        |  |  |  |           | 0       |           |               |        |        |        |
| 9   |        |  |  |  |           | 0       |           |               |        |        |        |
| 10  |        |  |  |  | $\square$ | 0       | 3,08      |               |        |        |        |
| Obradio:  |        |  |  | Pregledala:  |           |         |           |               |        |        |        |
| Mladen Cvetković, dipl.ing.građ.  |        |  |  | Izv.prof.dr.sc. Danijela Jurić Kačunić, dipl.ing.građ. |           |         |           |               |        |        |        |

Slika 1.6. Presjek sondažnog profila tla bušotine B3

## Bušotina B4

Na mjestu bušotine B4 provedeno je istražno bušenje i terenska identifikacija, te su izvedeni laboratorijski pokusi na temelju čega je dobiven sljedeći profil tla:

Do dubine 5.0 m nalazi se nasip. Od 0.0 do 1.5 m nalazi se slabo graduirani šljunak s glinom i pijeskom (GP-GC), sivosmeđe boje s udjelom šljunka cca. 72 %, pijeska cca. 20 % i koherentnih čestica cca. 8 %. Od 1.5 do 2.4 m nalazi se glinoviti šljunak s pijeskom (GC), slabo graduiran sivosmeđe boje s udjelom šljunka cca. 63 %, pijeska cca. 25 % i koherentnih čestica cca. 12 %. Od 2.4 do 5.0 m nalazi se slabo graduirani šljunak s glinom i pijeskom (GP-GC), sivosmeđe boje s udjelom šljunka cca. 72 %, pijeska cca. 19 % i koherentnih čestica cca. 9 %. Od 5.0 do 10.0 m nalazi se razlomljena stijenska masa vrlo slabe kvalitete, (najveća vrijednost RQD indeksa je 21 %), s ispunom od glinovitog šljunka s pijeskom smeđe do sivosmeđe boje. Udio kalcijevog karbonata je cca. 60 %. Razina podzemne vode za vrijeme bušenja bila je na dubini od 1.2 m. Karakteristične vrijednosti parametara materijala odabrane na temelju provedenih istražnih radova za bušotinu B4 su:

### 0.0 – 5.0 m

Zapreminska težina  $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$

Prirodna vlažnost  $w_0 = 1.19 - 2.70 \%$

### 5.0 – 10.0 m

Zapreminska težina  $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Indeks točkaste čvrstoće  $I_{S(50)} = 3.26 \text{ MPa}$

| SVEUČILIŠTE U ZAGREBU<br>GRAĐEVINSKI FAKULTET<br>ZAVOD ZA GEOTEHNIKU<br>Kačićeva 26, 10000 Zagreb |        |  |   | PRESJEK ISTRAŽNE BUŠOTINE                              |           |                           |              |               |           |           |           |
|---|--------|--|---|--|-----------|---------------------------|--------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
|   |        |  |   | BUŠOTINA: <b>B 4</b>                                   |           |                           |              |               |           |           |           |
|   |        |  |   | Ukupna dubina: <b>10.00 m</b>                          |           |                           |              |               |           |           |           |
| PROJEKT:  |        | Geotehnički istražni radovi za lučicu Mala Pošta u Pločama |   |  |           |                           |              |               |           |           |           |
| LOKACIJA  |        | Lučica Mala Pošta, Ploče                                   |   |  |           |                           |              |               |           |           |           |
| NARUČITELJ:   |        | Grad Ploče, Trg kralja Tomislava 23, 20340 Ploče           |   |  |           |                           |              | E: 575808.61  |           |           |           |
| TERENSKI NADZOR:  |        | Luka Pušić, mag.ing.aedif.                                 |   |  |           |                           |              | N: 4768485.69 |           |           |           |
| DATUM BUŠENJA:  |        | 27.08.2020.  |   |  |           |                           |              | Z: 0.98       |           |           |           |
| PPV $\approx$ - Pojava podzemne vode  |        |  |   | PU $\square$ - Poremećeni uzorak                       |           | Wo - Prirodna vlažnost    |              |               |           |           |           |
| RPV $\blacksquare$ - Razina podzemne vode   |        |  |   | NU $\blacksquare$ - Neporemećeni uzorak                |           | Wl - Granica tečenja      |              |               |           |           |           |
|   |        |  |   | SPT - Standardni penetracijski test                    |           | Wp - Granica plastičnosti |              |               |           |           |           |
| DUB.<br>(m)   | SIMBOL | PROFIL<br>TLA  | LITOLOŠKI OPIS TLA  | PPV<br>RPV   | PU<br>NU  | RQD<br>(%)                | PLT<br>(MPa) | SPT           | Wp<br>(%) | Wo<br>(%) | Wl<br>(%) |
| 0   | GP-GC  |  | Nasip od slabo graduiranog šljunka s glinom i pijeskom (GP-GC), sivosmeđe boje, s udjelom šljunka cca 72%, pijeska cca 20% i koherentnih čestica cca 8%   | $\approx$  | $\square$ |                           |              |               |           | 1,19      |           |
| 2   | GC     |  | Nasip od glinovitog šljunka s pijeskom (GC), slabo graduiranog, sivosmeđe boje, s udjelom šljunka cca 63%, pijeska cca 25% i koherentnih čestica cca 12%  |  | $\square$ |                           |              |               |           | 2,70      |           |
| 4   | GP-GC  |  | Nasip od slabo graduiranog šljunka s glinom i pijeskom (GP-GC), sivosmeđe boje, s udjelom šljunka cca 72%, pijeska cca 19% i koherentnih čestica cca 9%   |  | $\square$ |                           |              |               |           | 1,55      |           |
| 5   |        |  | Razlomljena stijenska masa vrlo slabe kvalitete, s ispunom od glinovitog šljunka s pijeskom smeđe do sivosmeđe boje. Udio kalcijevog karbonata je cca 60% |  | $\square$ | 12                        |              |               |           |           |           |
| 6   |        |  |   |  |           | 0                         |              |               |           |           |           |
| 7   |        |  |   |  |           | 0                         |              |               |           |           |           |
| 8   |        |  |   |  |           | 0                         |              |               |           |           |           |
| 9   |        |  |   |  |           | 21                        |              |               |           |           |           |
| 10  |        |  |   |  |           |                           | 3.26         |               |           |           |           |
| Obradio:  |        |  |   | Pregledala:  |           |                           |              |               |           |           |           |
| Mladen Cvetković, dipl.ing.grad.  |        |  |   | Izv.prof.dr.sc. Danijela Juric Kačunić, dipl.ing.grad. |           |                           |              |               |           |           |           |

Slika 1.7. Presjek sondažnog profila tla bušotine B4

## 1.5. Karakteristike i uvjeti gradiva AB zida

### 1.5.1. Uvjeti gradiva

Razredi izloženosti, razred tlačne čvrstoće betona i debljina zaštitnog sloja su:

1. Uvjeti okoliša: Stalno uronjeni elementi u lukama
2. Razred izloženosti: XS2; XS3 prema HRN EN 206
3. Najmanji potrebni razred tlačne čvrstoće betona: C 35/45

### 1.5.2. Karakteristike gradiva

Beton

Odabrani razred tlačne čvrstoće betona: C 35/45

Karakteristična tlačna čvrstoća valjka:  $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

Proračunata tlačna čvrstoća valjka:  $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 35 / 1.5 = 23.3 \text{ N/mm}^2$

Srednja osna vlačna čvrstoća:  $f_{ctm} = 3.2 \text{ N/mm}^2$

Sekantni modul elastičnosti:  $E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$

Čelik za armiranje

Naziv i oznaka čelika: šipka HRN EN 10080 + HRN 1130-2-B500B-Φ L

Karakteristična granica popuštanja:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435 \text{ N/mm}^2$

Karakteristična vlačna čvrstoća:  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$

Razred duktilnosti: razred (B), visoka duktilnost (H)

Modul elastičnosti:  $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$

## Vodonepropusnost i migracija klorida kod betona

Predgotovljeni element:

Razred izloženosti: XS3

Vodonepropusnost: VDP2

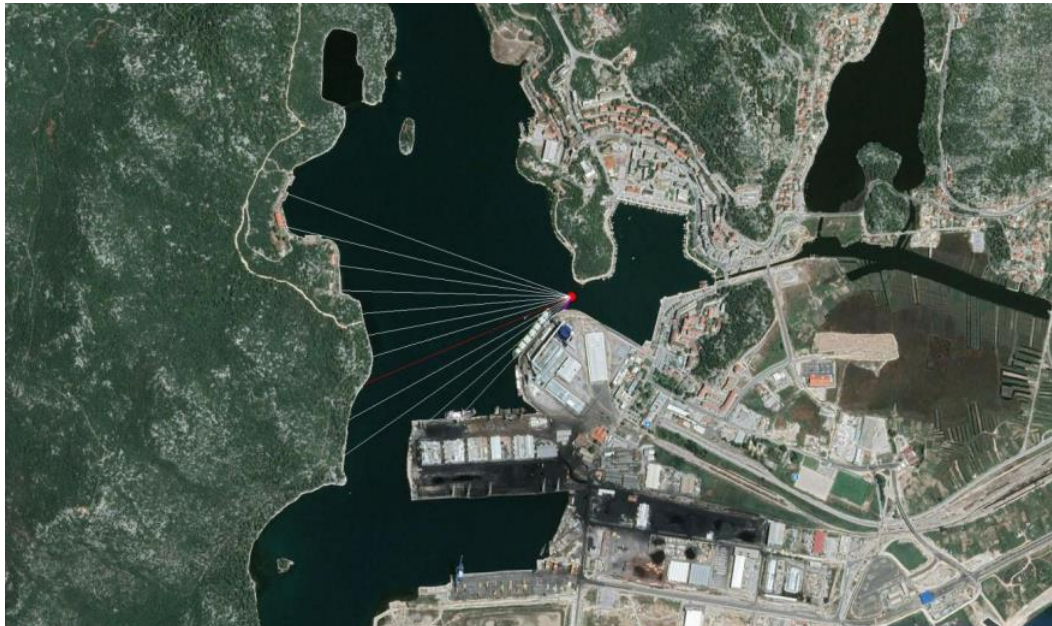
Migracija klorida:  $< 6 \cdot 10^{-12} \text{ (m}^2\text{/s)}$

## 2. DJELOVANJA NA OBALNI ZID

### 2.1. Promjenjiva djelovanja

#### 2.1.1. Djelovanje od valova na zid operativne obale

Predmetni obalni zid je s obzirom na položaj u prostoru zaštićen gotovo od svih smjerova valova. Vjetrovi koji bi mogli generirati značajne valove jesu vjetrovi koji djeluju iz 3. i 4. kvadranta, odnosno maestral, maestral – tramontana i pulenat, dok vjetrovi iz preostalih kvadranta nisu mjerodavni za promatranu mikrolokaciju. Kao najnepovoljniji smjer za lokaciju obalnog zida utvrđen je smjer WSW (247.5°) s dužinom efektivnog privjetrišta od 0.7 km.



Slika 2.1. Grafički prikaz centralne zrake u smjeru WSW s odklonom od 6 °

Prema vjetrovalnoj klimi izrađenoj prema idejnom projektu, parametri dubokovodnih valova dani su sljedećom tablicom:

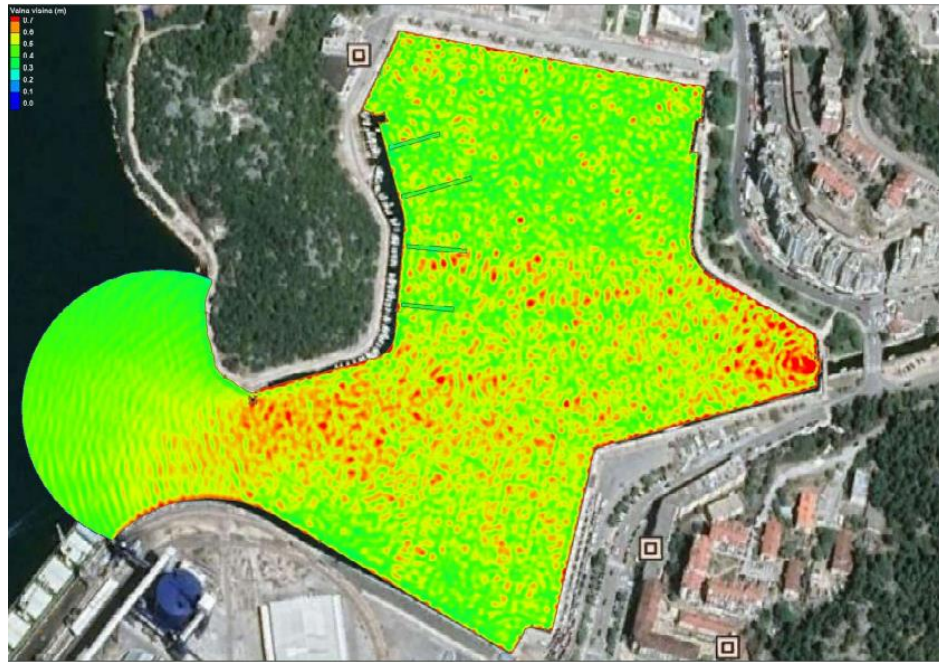
| H <sub>s</sub> | H <sub>1/10</sub> | H <sub>1/100</sub> | H <sub>max</sub> | T <sub>0</sub> | L <sub>0</sub> | T <sub>P</sub> |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| (m)            | (m)               | (m)                | (m)              | (s)            | (m)            | (s)            |
| 0.42           | 0.68              | 0.70               | 0.76             | 2.40           | 9.00           | 2.64           |
| 0.41           | 0.52              | 0.68               | 0.74             | 2.37           | 8.80           | 2.61           |
| 0.39           | 0.50              | 0.65               | 0.70             | 2.32           | 8.40           | 2.55           |
| 0.37           | 0.47              | 0.62               | 0.67             | 2.25           | 7.90           | 2.48           |
| 0.35           | 0.44              | 0.58               | 0.63             | 2.19           | 7.50           | 2.41           |

Tablica 2.1. Prikaz vrijednosti dubokovodnih valnih parametara



### 2.1.1.1. Parametri projektnog vala na lokaciji

Mjerenjem kratkoročnih stacionarnih stanja mora, dobivena je dugoročna valna prognoza. Kao podloga za proračun, korišteni su podaci kratkoročnih valnih situacija u periodu između 2001.-2006. godine, te se statističkom obradom i mjerenjima došlo do parametara valnog profila, odnosno značajne valne visine  $H_s$ . Na osnovu dugoročne valne prognoze i parametara dubokovodnog vala provedeno je modeliranje valovanja za 100-godišnji povratni period.



Slika 2.2. Polje značajnih valnih visina za simulaciju valovanja iz smjera WSW ( $247,5^\circ$ ) i povratni period  $PP = 100$  godina

Očitanjem rezultata valovanja numeričkog modela, gdje su uključeni procesi transformacije vala (difrakcija, refrakcija, refleksija, lom), dobivene su vrijednosti parametara projektnog vala.

|                      |       |
|----------------------|-------|
| $H_s$ (m)            | 0.9   |
| $H_{max}$ (m)        | 1.62  |
| $T_p$ (s)            | 2.4   |
| $L_p$ (m)            | 9     |
| $L_p'$ (m)           | 7.63  |
| $\rho_w$ ( $t/m^3$ ) | 1.025 |
| $\beta$ ( $^\circ$ ) | 60    |

Tablica 2.2. Očitane vrijednosti valnih parametara iz numeričkog modela

### 2.1.1.2 Proračun valnog opterećenja

Valno opterećenje na parapetni zid i stražnju stranu zida unutarnje privezne obale lukobrana izračunava se pod pretpostavkom da je zid zaštićen kamenometom. (Takahashi, Tanimoto, Shimosako, 1990.). Parametri kojima je izvršen proračun su dani sljedećom tablicom:

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| H <sub>proj.</sub> (m)              | 0.90  |
| η <sub>proj.</sub> (m)              | 1.01  |
| h <sub>c</sub> (m)                  | 1.00  |
| h <sub>s</sub> (m)                  | 8.00  |
| h' (m)                              | 2.50  |
| λ <sub>1</sub> , λ <sub>3</sub>     | 1.00  |
| λ <sub>2</sub>                      | 0.00  |
| α <sub>1</sub>                      | 0.60  |
| α <sub>2</sub>                      | 0.00  |
| α <sub>3</sub>                      | 0.69  |
| γ <sub>w</sub> (kN/m <sup>3</sup> ) | 10.00 |
| B (m)                               | 2.80  |

Tablica 2.3. Parametri za proračun valnog opterećenja

$$P_1 = 0.5(1 + \cos\beta) \cdot (\lambda_1 \cdot \alpha_1 + \lambda_2 \cdot \alpha_2 \cdot \cos^2\beta) \cdot \gamma \cdot H_{\text{proj.}} \quad (2.1.)$$

$$P_1 = 4.15 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$P_2 = (1 - h_c / \eta_{\text{proj.}}) \cdot P_1 \quad (2.2.)$$

$$P_2 = 0.05 \text{ kN/m}^2$$

$$P_3 = \alpha_3 \cdot P_1 \quad (2.3.)$$

$$P_3 = 2.86 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$P_u = 0.5(1 + \cos\beta) \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \gamma \cdot H_{\text{proj.}} \quad (2.4.)$$

$$P_u = 0.09 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\eta_{\text{proj.}} = 0.75(1 + \cos\beta) \cdot H_{\text{proj.}} \quad (2.5.)$$

$$\eta_{\text{proj.}} = 1.01 \text{ (m)}$$

$$F_H = 0.5(P_1 + P_2) \cdot h_c + 0.5(P_1 + P_3) \cdot h' \quad (2.6)$$



$$F_H = 10.87 \text{ (kN/m')}$$

$$F_V = 0.5 \cdot P_u \cdot B \tag{2.7.}$$

$$F_V = 0.13 \text{ (kN/m')}$$

gdje je;

$H_{proj.}$  – visina vala na lokaciji ( očitana iz numeričkog modela)

$\eta_{proj.}$  – projektna visina vala

$h_c$  – udaljenost projektne razine od vrha konstrukcije

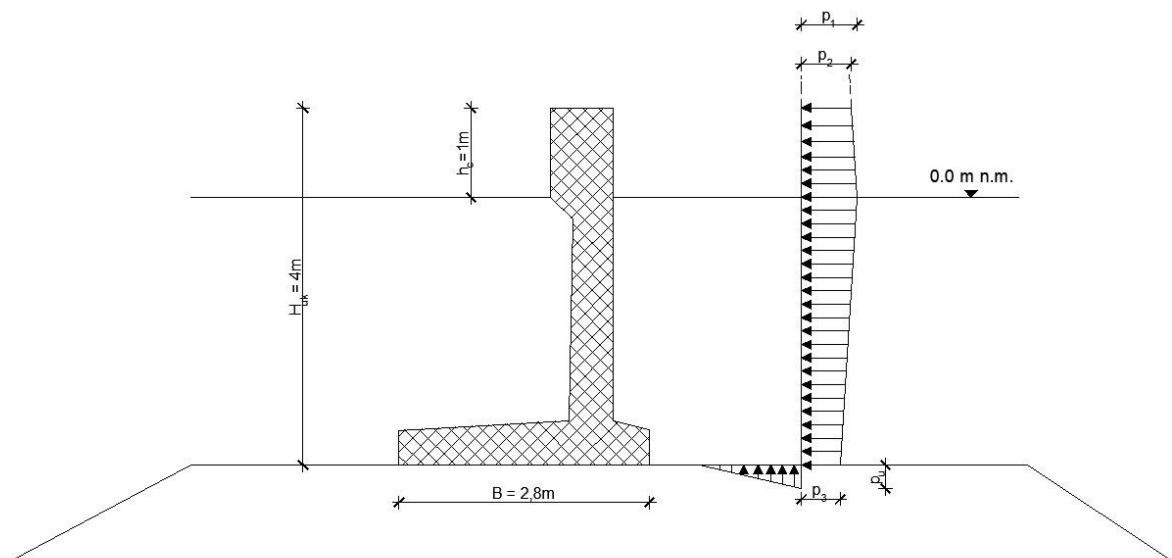
$h_s$  – dubina mora

$h'$  – udaljenost projektne razine od vrha berme

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – faktori modifikacije ovisni o tipu konstrukcije

$\gamma$  – jedinična težina vode

$B$  – širina temelja konstrukcije



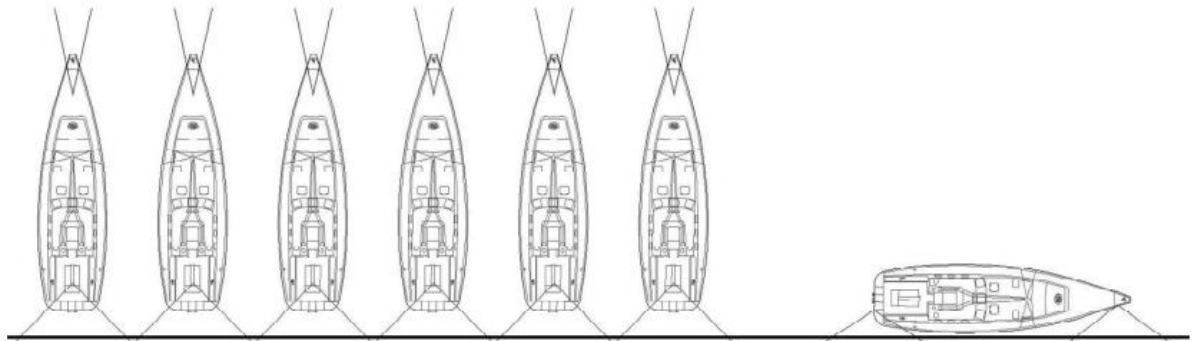
Slika 2.3. Grafički prikaz valnog opterećenja na obalni zid (MJ: 1kN = 15 cm)

### 2.1.2. Djelovanje brodova na obalni zid

Uređenjem lučice realizirat će se dodatni dio luke za prihvat plovila lokalnog stanovništva. Na prostoru promatranog akvatoriju planira se minimalno 120 vezova za prihvat brodova veličine 6.5 do 14 (m). Osim priveza brodova na gatove, dio se veže duž obalne linije lukobrana stoga je potrebno uračunati djelovanje brodova na konstrukciju obalnog zida. S obzirom da se sile koje generira vjetar prenose preko plovila, određene su mjerodavne karakteristike plovila. Kategorija plovila je IV. kategorija, a plovila se vezuju okomito na priveznu liniju.

| KAT.    | DULJINA PREKO | DULJINA PREKO | NADM.  | GAZ   | BOČNA NADM.           | FRONTALNA NADM.       | BOČNA PODV.           | FRONTALNA PODV.      |
|---------|---------------|---------------|--------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| PLOVILA | SVEGA         | SVEGA         | VISINA |       | POVRŠINA              | POVRŠINA              | POVRŠINA              | POVRŠINA             |
|         | LoA (m)       | B (m)         | H (m)  | D (m) | AWT (m <sup>2</sup> ) | AWL (m <sup>2</sup> ) | ACT (m <sup>2</sup> ) | ACL(m <sup>2</sup> ) |
| IV.     | 11            | 3,25          | 3,5    | 1,75  | 38,5                  | 11,38                 | 19,25                 | 5,69                 |

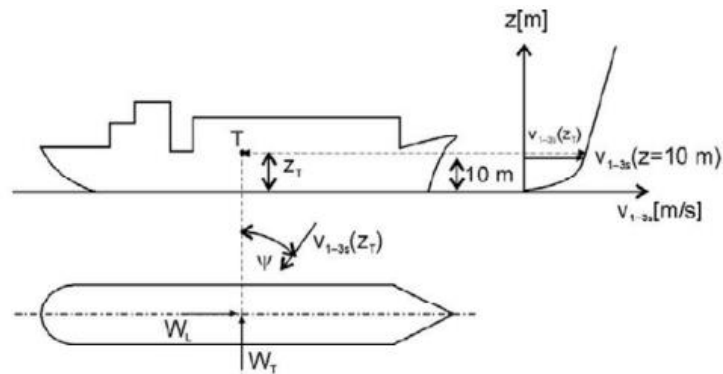
Tablica 2.4. Prosječni parametri mjerodavnih plovila



Slika 2.4. Planirani raspored priveza brodova duž obalnog zida

### 2.1.2.1. Ukupna sila koja djeluje na privezana plovila

Na temelju mjerodavnih smjerova vjetra i tablice kontigencije, određena je brzina udara vjetra koja iznosi 30 (m/s). U skladu s proračunom, projektna brzina vjetra se skalira kako bi se dobila brzina koja djeluje u težištu broda  $z_T$ .



Slika 2.5. Grafički prikaz parametara

U nastavku je prikaz proračun ukupne sile vjetra sukladno parametrima plovila kategorije IV.

$$z_T = 1.75 \text{ (m)}$$

$$v_{\text{udar}(z_T)} = v_{\text{udar}(10)} \cdot \left[ \ln(z_T/0.06) / \ln(10/0.06) \right] \quad (2.8.)$$

$$v_{\text{udar}(z_T)} = 19.78 \text{ (m/s)}$$

$C_{DL} = 0.95$  – frontalni koeficijent otpora broda

$C_{DT} = 1.0$  – bočni koeficijent otpora broda

$$W_L = 0.5 \cdot C_{DL} \cdot \rho_a \cdot A_{WL} \cdot v_{\text{udar}(z_T)}^2 \quad (2.9.)$$

$$W_L = 2.59 \text{ (kN)}$$

$$W_T = 0.5 \cdot C_{DT} \cdot \rho_a \cdot A_{WT} \cdot v_{\text{udar}(z_T)}^2 \quad (2.10.)$$

$$W_T = 9.23 \text{ (kN)}$$

gdje je;

$A_{WL}$  – ukupna lateralna nadvodna površina broda

$A_{WT}$  – ukupna frontalna nadvodna površina

$W_L$  – ukupna sila vjetra na frontalnu površinu broda

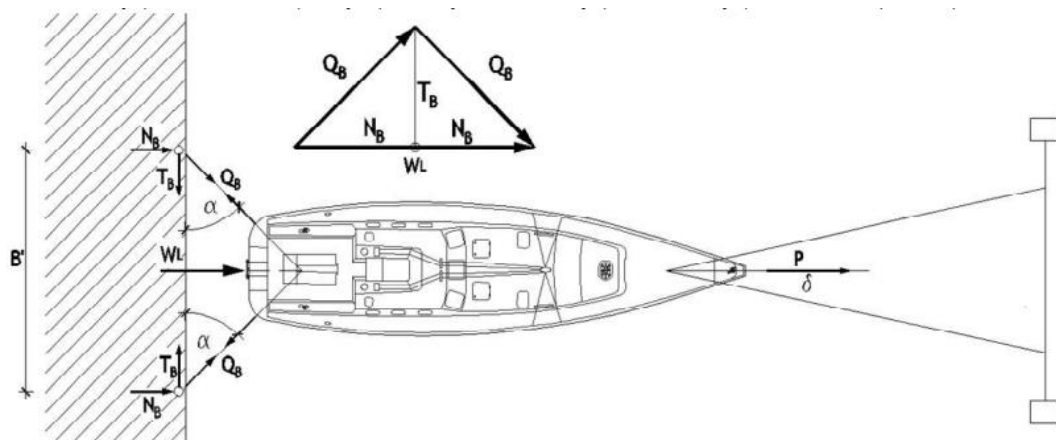
$W_T$  – ukupna sila vjetra na bočnu površinu broda

### 2.1.2.2. Proračun sila na privezne elemente

Ovisno o načinu priveza plovila duž obalne linije, razlikuje se proračun sila koje privezani brodovi prenose na privezne elemente. U praksi postoji cijeli niz mogućih kombinacija priveza i djelovanja sila koja se mogu pojaviti. U nastavku su prikazane najnepovoljnije kombinacije.

#### Kombinacija 1

Prva kombinacija podrazumijeva vezivanje plovila u četverovez, odnosno situaciju kada plovilo leži okomito na obalu, dok je krma redovito privezana uz obalu. Četverovez je u pravilu sigurniji od bočnog priveza, naročito u slabije zaštićenom akvatoriju. Djelovanje vjeta se promatra kao frontalno djelovanje na plovila iz smjera kopna, dok se prijenos sila vrši putem zatezanja polera na obali.

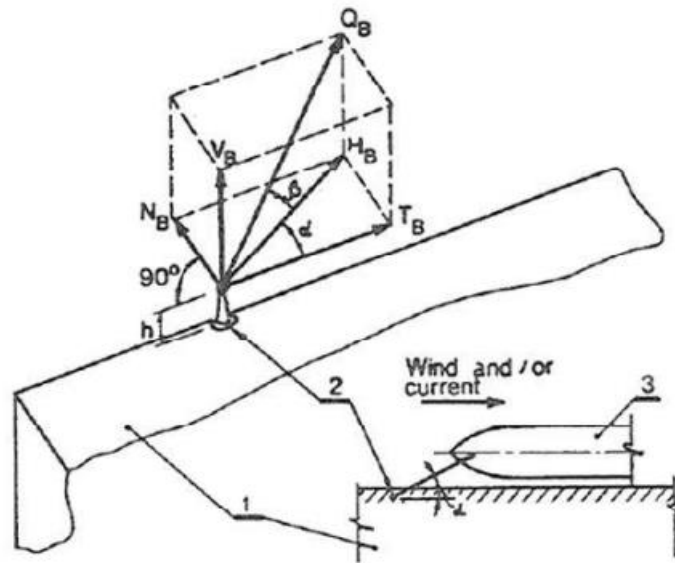


Slika 2.6. Shema prve kombinacije priveza plovila

Privezani konopi su postavljeni pod određenim horizontalnim i vertikalnim kutovima u prostoru, te se usvajaju kao sljedeći:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$



Slika 2.7. Grafički prikaz djelovanja sila veza

Ukupna sila vjetra koja djeluje frontalno na brod se dovodi u ravnotežu s horizontalnim komponentama  $N_B$ , iz čega slijedi:

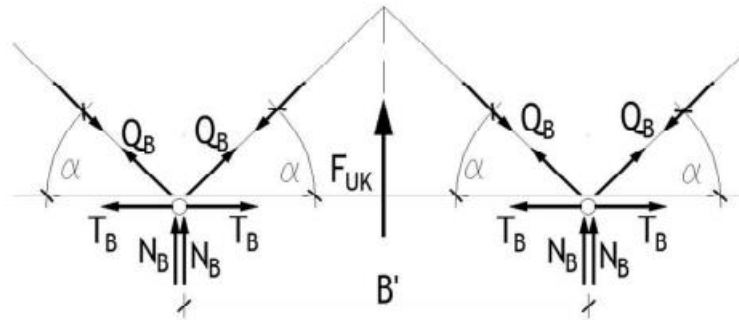
$$W_L = 2 \cdot N_B$$

Poznavajući silu vjetru na frontalnu stranu plovila ( $W_L$ ), izračunata je vrijednost horizontalne komponente  $N_B$ , kao i ostale komponente sila priveza na jedan poler.

|            |      |  |
|------------|------|--|
| $Q_B$ (kN) | 2,02 | $Q_B = N_B / \cos\beta \cdot \sin\alpha$     |
| $N_B$ (kN) | 1,29 | $N_B = Q_B \cdot \cos\beta \cdot \sin\alpha$ |
| $H_B$ (kN) | 1,83 | $H_B = Q_B \cdot \cos\beta$                  |
| $T_B$ (kN) | 1,29 | $T_B = H_B \cdot \cos\alpha$                 |
| $V_B$ (kN) | 0,85 | $V_B = Q_B \cdot \sin\beta$                  |

Tablica 2.5. Prikaz djelovanja komponenti sila na jedno privezno mjesto od jednog broda

Na osnovu proračunatih komponenti sila, može se odrediti raspodijeljeno opterećenje u sva tri smjera (horizontalno -  $n_p$ , vertikalno -  $v_p$  i uzdužno -  $t_p$ ). Pretpostavka je da se na jedan poler veže po jedan konop od dva susjedna broda (slika 2.8.). Razmak između dva polera se uzima kao 4 (m).



Slika 2.8. Shematski prikaz raspodijeljenog opterećenja na jedan poler

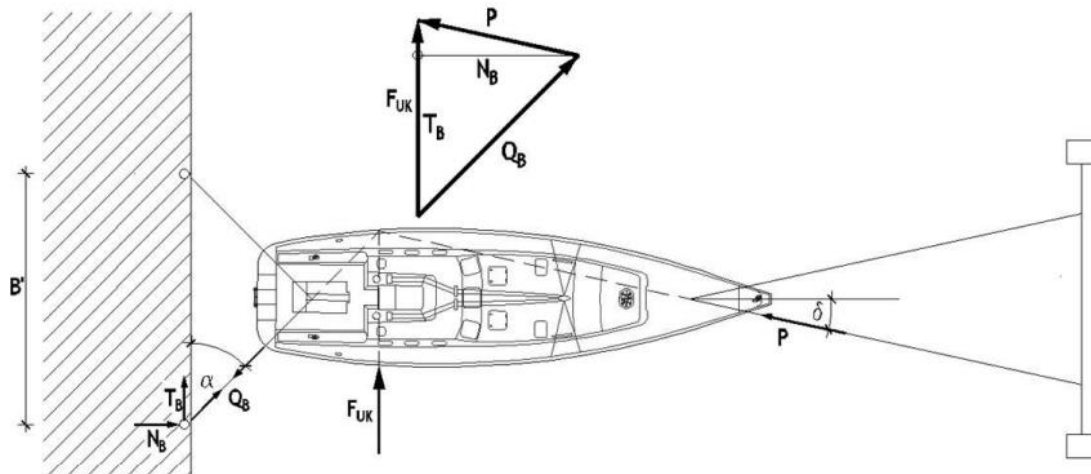
|               |      |                          |
|---------------|------|--------------------------|
| $n_p$ (kN/m') | 0,65 | $n_p = 2 \cdot N_B / B'$ |
| $v_p$ (kN/m') | 0,43 | $v_p = 2 \cdot V_B / B'$ |
| $t_p$ (kN/m') | 0,00 | $t_p = (T_B - T_B) / B'$ |

Tablica 2.6. Proračun raspodijeljenih opterećenja po m' privezne obale

Na osnovu rezultata proračuna uočava se da je horizontalno raspodijeljeno opterećenje najveće, dok je uzdužno opterećenje jedanko nuli zbog poništavanja sila  $T_B$  koje su istog iznosa, ali suprotnog smjera. Kao mjerodavna sila za proračun promatra se sila  $Q_B$  koja za kombinaciju 1 iznosi 2.02 (kN).

## Kombinacija 2

Druga kombinacija podrazumijeva vezivanje brodova u četvervez kao i početna kombinacija, ali je u ovom slučaju djelovanje vjetra zadano bočno na privezana plovila. Osim djelovanja vjetra s bočne strane, mijenja se i način pridržanja, te se dio opterećenja prenosi na konstrukciju putem polera, a dio na sidreni sustav.



Slika 2.9. Shema druge kombinacije priveza plovila

Za ovaj slučaj djelovanja vjetra uzima se proračunati iznos ukupne sile vjetra  $W_T$  na bočnu površinu broda u iznosu:

$$W_T = 9.23 \text{ kN}$$

Usljed bočnog djelovanja vjetra na brod, potrebno je pretpostaviti kut otklona rezultantne sile sa sidrenih blokova:

$$\delta = 10^\circ$$

Ukupna sila na privezani brod uslijed djelovanja vjetra se uravnotežuje slijedećim komponentama sile:

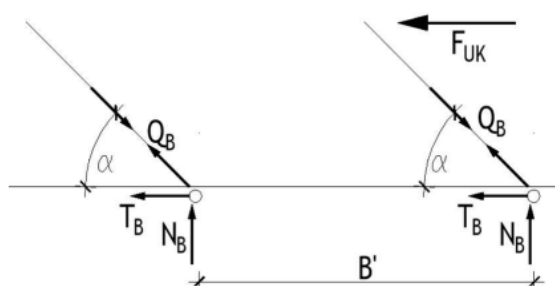
$$W_T = P_T \cdot \sin\delta + H_B \cdot \cos\alpha$$

Slijedi sličan proračun komponenti sile kao u kombinaciji 1, uključujući proračun sile  $P_H$  od sidrenog sustava.

|         |       |  |
|---------|-------|--|
| PH (kN) | 7,96  | $PH = HB \cdot \sin\alpha / \cos\delta$                          |
| QB (kN) | 12,24 | $QB = HB / \cos\beta$  |
| NB (kN) | 7,84  | $NB = HB \cdot \sin\alpha$                                       |
| HB (kN) | 11,09 | $HB = WT(\sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\delta + \cos\alpha)$ |
| TB (kN) | 7,84  | $TB = HB \cdot \cos\alpha$                                       |
| VB (kN) | 5,17  | $VB = QB \cdot \sin\beta$  |

Tablica 2.7. Prikaz djelovanja komponenti sila za kombinaciju 2

Računaju se raspodijeljena opterećenja između dva privezna mjesta, te i dalje vrijedi ista pretpostavka da se na jedan poler veže po jedan konop od dva susjedna broda.



Slika 2.10. Shematski prikaz djelovanja sila za kombinaciju 2

|               |      |               |
|---------------|------|---------------|
| $n_p$ (kN/m') | 1,96 | $n_p = NB/B'$ |
| $v_p$ (kN/m') | 1,29 | $v_p = VB/B'$ |
| $t_p$ (kN/m') | 1,96 | $t_p = TB/B'$ |

Tablica 2.8. Proračun raspodijeljenih opterećenja po m' privezne obale

Proračunato raspodijeljeno opterećenje je potrebno reducirati s obzirom na položaj brodova jer dolazi do zasjenjenja susjednih brodova. Prema tome, sila kojom je opterećen prvi brod uzima se kao izvorno određeno opterećenje jer je prvi brod izložen maksimalnom utjecaju sile. Drugi brod je opterećen s 50 % sile, dok su ostali s 30 %. Nakon redukcije sile dobivene su slijedeće ukupne vrijednosti. Na promatranom segmentu od 24 (m), nakon redukcije sila, dobiva se ukupno opterećenje obale :

Horizontalno opterećenje ' $n_p$ ' : 21,18 (kN)

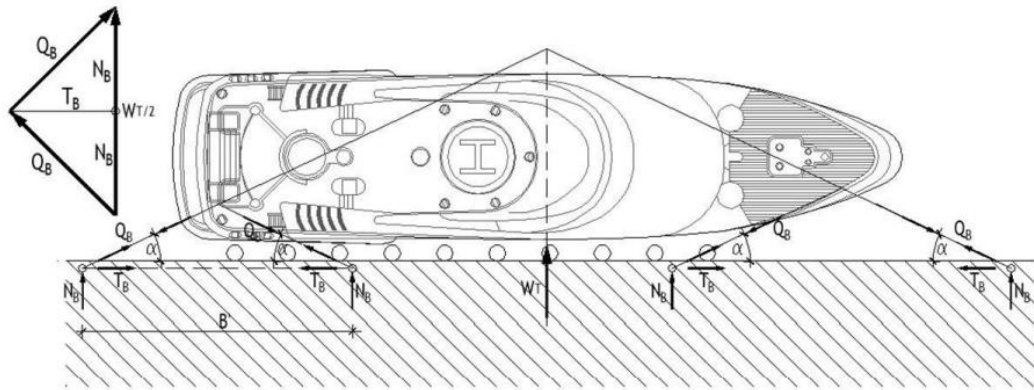
Vertikalno opterećenje ' $v_p$ ' : 13,96 (kN)

Uzdužno opterećenje ' $t_p$ ' : 21,18 (kN)



### Kombinacija 3

U trećoj kombinaciji vezova, promatra se vezivanje broda na četiri polera duž obalne linije uz djelovanje vjetra iz smjera kopna. Pretpostavlja se da poleri zatežu jednakom silom.



Slika 2.11. Shema treće kombinacije priveza plovila

Za daljnji proračun usvajaju se sljedeće vrijednosti kutova pod kojim se zatežu konopi u prostoru:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\beta = 25^\circ$$

Polovica od ukupne sile  $W_T$  koju generira djelovanje vjetra, uravnotežuje se s horizontalnim silama  $N_B$ :

$$W_T/2 = 2 \cdot N_B$$

Kao i kod prve kombinacije koriste se iste formule za određivanje mjerodavne sile  $Q_B$ , kao i ostalih komponenti djelovanja. Pregled izračunatih djelovanja za kombinaciju 3 prikazan je *tablicom 2.9.*

|            |      |  |
|------------|------|--|
| $Q_B$ (kN) | 3,39 | $Q_B = NB/\cos\beta \cdot \sin\alpha$        |
| $N_B$ (kN) | 1,54 | $N_B = Q_B \cdot \cos\beta \cdot \sin\alpha$ |
| $H_B$ (kN) | 3,07 | $H_B = Q_B \cdot \cos\beta$                  |
| $T_B$ (kN) | 2,66 | $T_B = H_B \cdot \cos\alpha$                 |
| $V_B$ (kN) | 1,43 | $V_B = Q_B \cdot \sin\beta$                  |

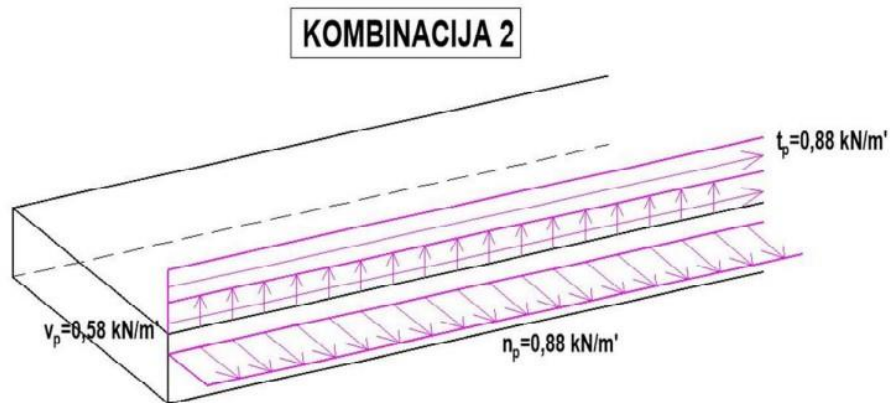
*Tablica 2.9. Prikaz djelovanja komponenti sila za kombinaciju 3*

|               |      |                        |
|---------------|------|------------------------|
| $n_p$ (kN/m') | 0,77 | $n_p = 2 \cdot N_B/B'$ |
| $v_p$ (kN/m') | 0,72 | $v_p = 2 \cdot V_B/B'$ |
| $t_p$ (kN/m') | 0,00 | $t_p = (T_B - T_B)/B'$ |

*Tablica 2.10. Proračun raspodijeljenih opterećenja po  $m'$  privezne obale*

### 2.1.2.3. Odabrano opterećenje

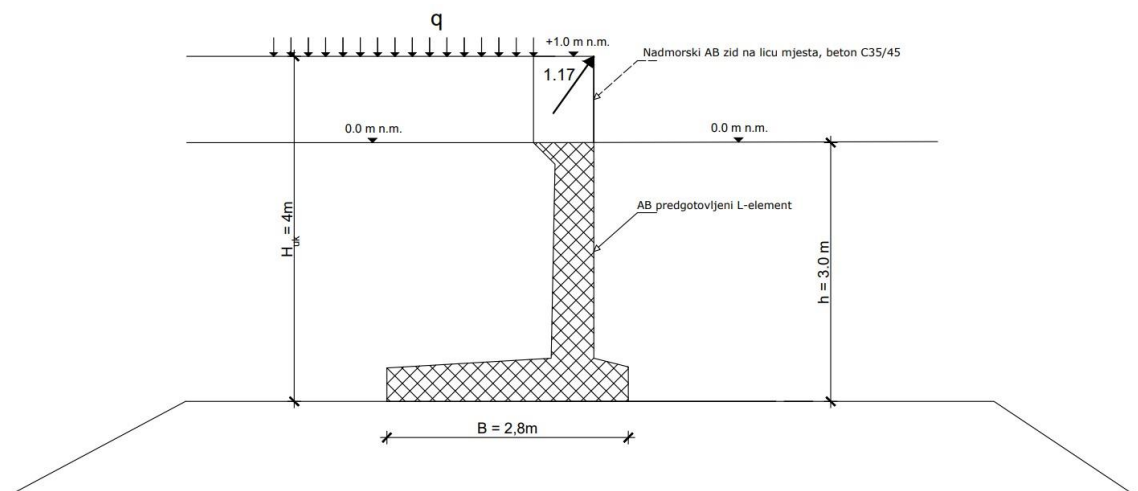
Nakon proračuna navedenih kombinacija veza, odabrana je 2. kombinacija kao mjerodavno opterećenje od privezanih brodova na obalnu liniju zida.



Slika 2.12. Shematski prikaz mjerodavnog raspodijeljenog opterećenja po priveznoj obali

Maksimalna sila koja se može javiti u konopima duž obalnog zida iznosi:

$$Q_{B,max.} = 12,24 \text{ (kN)}$$



Slika 2.13. Grafički prikaz rezultatne djelovanja sile veza

### 2.1.3. Djelovanje sila na obalni zid uslijed rezidualne vode i prometnog opterećenja

#### 2.1.3.1. Djelovanje vode na obalni zid od rezidualne vode iznad razine mora

$\gamma_w = 10.25 \text{ (kN/m}^3\text{)}$  – jedinična težina mora

$h_{\text{rez.}} = 0.20 \text{ (m)}$  – nivo rezidualne vode iza obalnog zida

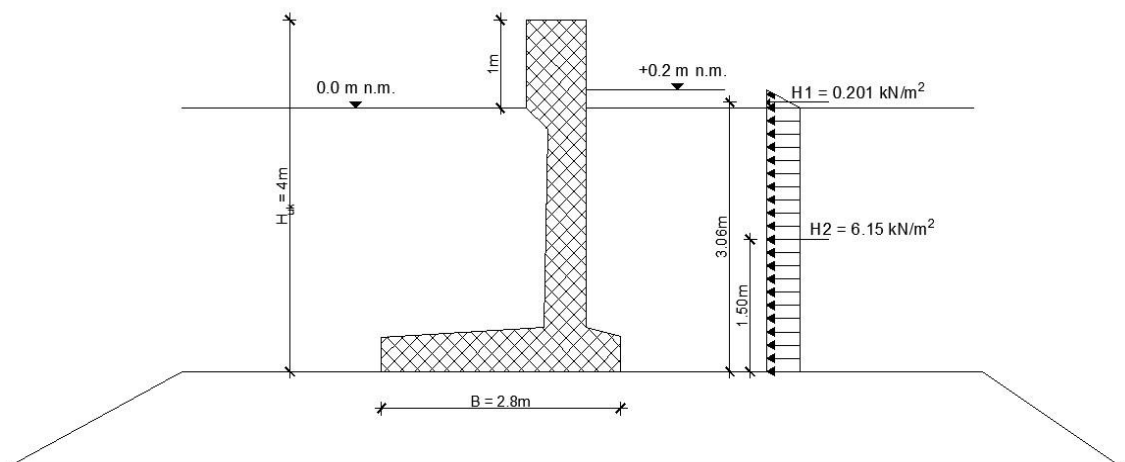
$h_z = 3.0 \text{ (m)}$  – visina elementa do morske razine

$$P_{\text{rez.}} = \gamma_w \cdot h_{\text{rez.}}; \quad P_{\text{rez}} = 10 \cdot 0.20; \quad P_{\text{rez}} = 2.05 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H_1 = P_{\text{rez}} \cdot h_{\text{rez.}} / 2; \quad H_1 = 2.05 \cdot 0.20 / 2 \quad H_1 = 0.201 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H_2 = P_{\text{rez}} \cdot h_z; \quad H_2 = 2.05 \cdot 3.0 \quad H_2 = 6.15 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H_{\text{uk.}} = H_1 + H_2; \quad H_{\text{uk.}} = 0.201 + 6.15 \quad \mathbf{H_{\text{uk.}} = 6.35 \text{ (kN/m}^2\text{)}}$$



Slika 2.14. Grafički prikaz djelovanja sile uslijed utjecaja rezidualne vode (MJ: 1kN=20cm)

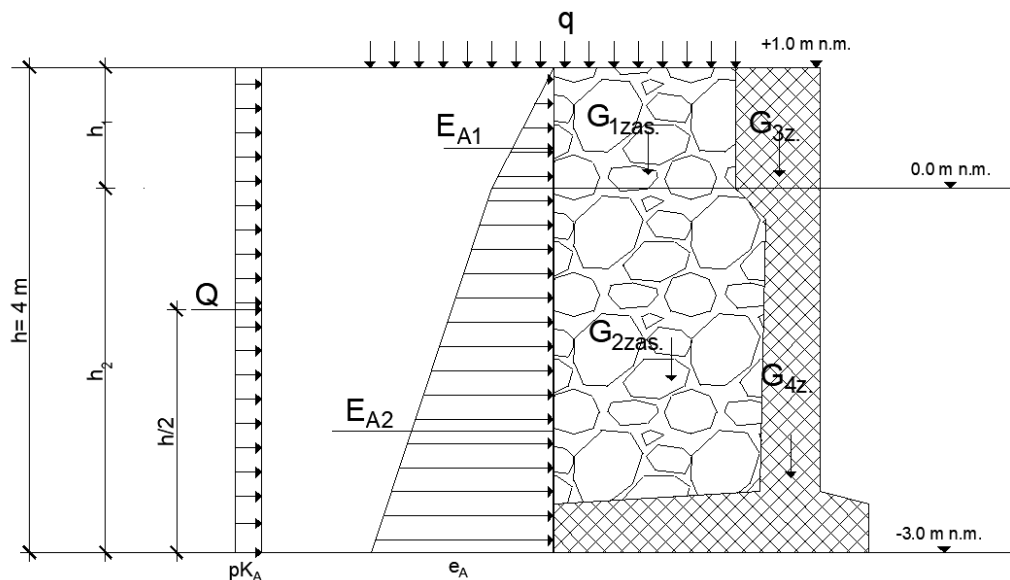
### 2.1.3.2. Pritisak tla na obalni zid od vertikalnog prometnog opterećenja

Horizontalni tlak od površinskog prometnog opterećenja 'q' određen je pretpostavkom da se površinsko opterećenje proteže na dovoljno velikoj površini, te da je po cijeloj visini zida vertikalno dodatno naprezanje ( $\Delta\sigma(z)$ ) jednako raspodijeljenom promjenjivom opterećenju 'q'. Proračunska rezultanta djelovanja djeluje u težištu raspodjele, odnosno na polovici ukupne visine H.

$q = 16.67 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  – opterećenje od prometa neposredno uz obalni zid

$H = 4.0 \text{ (m)}$  – ukupna razina horizontalnog potiska za vozilo na rubu stope zida

$$Q_{uk.} = K_a \cdot q \cdot H; \quad Q_{uk.} = 0.284 \cdot 16.67 \cdot 4.0; \quad \mathbf{Q_{uk.} = 18.93 \text{ (kN/m')}}$$



Slika 2.15. Skica raspodjele vertikalnog površinskog opterećenja na obalnu konstrukciju

## 2.2. Stalna djelovanja (G)

### 2.2.1. Djelovanje aktivnog tlaka i statičko djelovanje od zida i zasipa

#### 2.2.1.1. Geometrija obalnog zida

|   |                |
|---|----------------|
| Kota vrha obale:                                  | +1.0 (m n.m.)  |
| Kota temeljenja elementa:                         | - 3.0 (m n.m.) |
| Ukupna visina obalnog zida:                       | 4.0 (m)        |
| Ukupna visina zasipa iza obalnog zida:            | 4.0 (m)        |
| Širina obalnog zida na kontaktu s temeljnim tlom: | 2.8 (m)        |
| Širina nadmorskog dijela obalnog zida:            | 0.7 (m)        |
| Istak L elementa:                                 | 0.4 (m)        |

#### 2.2.1.2. Karakteristike materijala zasipa iza zida

Prilikom proračuna projektnih vrijednosti parametara posmične čvrstoće koristi se projektni pristup PP3 ( $A_{1d}$  ili  $A_{2e}$ ) +  $M_2$  + R3.

Parcijalni koeficijenti za parametre tla ( $\gamma_M$ ) (STR i GEO):

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| - tangens efektivnog kuta trenja | $\gamma_{tg\phi'} = 1.25$ |
| - efektivna kohezija             | $\gamma_{c'} = 1.25$      |
| - težinska gustoća               | $\gamma_y = 1.00$         |

Vrijednosti ostalih parametara:

|   |                      |
|---|----------------------|
| $\gamma_n = 18.0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$   | $\alpha = 90^\circ$  |
| $\gamma_{n'} = 8.0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$ | $\beta = 0.0^\circ$  |
| $\gamma_w = 10.05 \text{ (kN/m}^3\text{)}$  | $\delta = 0.0^\circ$ |
| $\phi_{k'} = 40^\circ$                      |                      |

gdje su;

$\gamma_n$  – jedinična težina tla

$\gamma_n'$  – jedinična težina tla u zasićenom stanju

$\gamma_w$  – jedinična težina vode

$\varphi_k'$  – karakteristična vrijednost kuta trenja

$\alpha$  – kut nagiba zida (uz nasip) u odnosu na horizontalu

$\beta$  – kut nagiba terena iza zida

$\delta$  – kut trenja između tla i površine zida

### 2.2.1.3. Proračun koeficijenta aktivnog tlaka i određivanje virtualne ravnine

$$K_A = \frac{\sin^2[\alpha + \varphi]}{\sin^2 \cdot \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\varphi'_d = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg} \varphi'_k}{1,25} \right)$$

$$\varphi'_d = 33,87^\circ$$

$$K_{A,k} = 0,217$$

$$K_{A,d} = 0,284$$

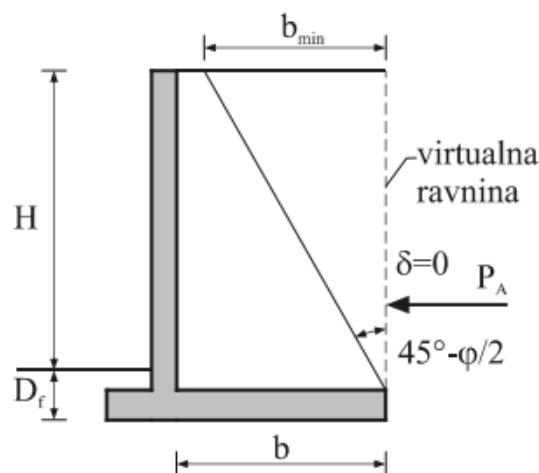
Određivanje virtualne plohe sastoji se u provjeri širine "pete" armirano betonskog zida. U slučaju da je širina pete dovoljno velika da se mogu ostvariti Rankine-ovi uvjeti, tada se prihvaća pojednostavljenje da je virtualna ravnina djelovanja bočnog tlaka vertikalna. Provjera se vrši na sljedeći način:

$$b > b_{\min} = H \cdot \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi'_d / 2)$$

$b = 2,40$  (m) – širina pete obalnog zida

$b_{\min} = 2,13$  (m) – zona formiranja aktivnog klina

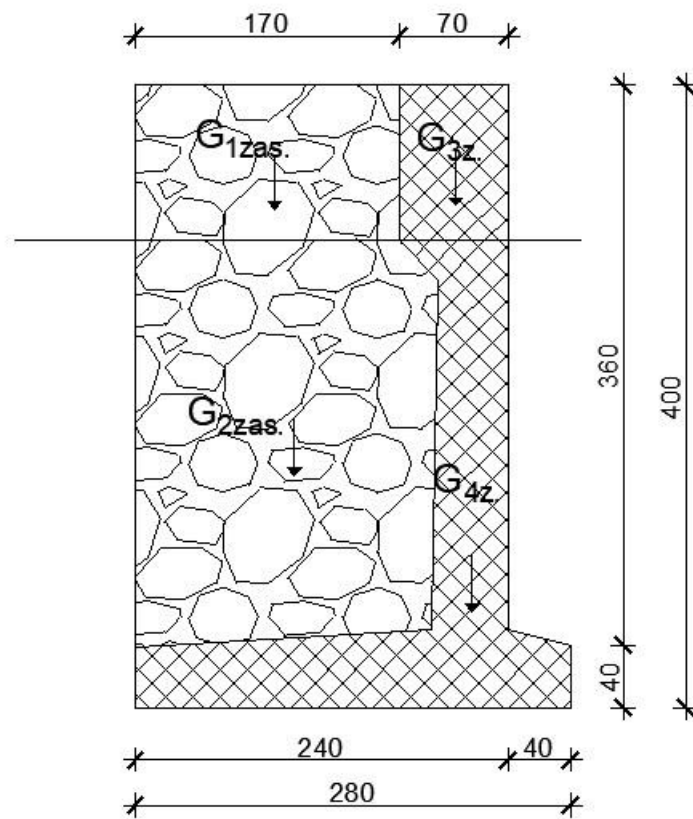
U ovom slučaju širina "pete" ima veću dimenziju u odnosu na minimalnu širinu  $b_{\min}$ , te je zadovoljen uvjet korištenja vertikalne virtualne ravnine.



Slika 2.16. Grafički prikaz vertikalne virtualne ravnine



### 2.2.1.4. Proračun težine zida i zasipa



Slika 2.17. Prikaz djelovanja težina zida i zasipa

$$P_1^{ZAS.} = 1.7 \cdot 1.0 = 1.7 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$P_2^{ZAS.} = 4.89 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$P_3^{ZID} = 0.7 \cdot 1.0 = 0.7 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$P_4^{ZID} = 2.480 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$P_{UK.} = 8.98 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_1^{ZAS.} = P_1^{ZAS.} \cdot 1.0 \text{ m}' \cdot \gamma_{n'} ; W_1^{ZAS.} = 1.7 \cdot 1.0 \cdot 18.0 ; W_1^{ZAS.} = 30.6 \text{ (kN/m')}$$

$$W_2^{ZAS.} = P_2^{ZAS.} \cdot 1.0 \text{ m}' \cdot \gamma_{n'} ; W_2^{ZAS.} = 4.89 \cdot 1.0 \cdot 8.0 ; W_2^{ZAS.} = 39.12 \text{ (kN/m')}$$

$$W_3^{ZID.} = P_3^{ZID.} \cdot 1.0 \text{ m}' \cdot \gamma_{n'} ; W_3^{ZID.} = 0.7 \cdot 1.0 \cdot 25.0 ; W_3^{ZID.} = 17.5 \text{ (kN/m')}$$

$$W_4^{ZID.} = P_4^{ZID.} \cdot 1.0 \text{ m}' \cdot \gamma_{n'} ; W_4^{ZID.} = 2.48 \cdot 1.0 \cdot 15.0 ; W_4^{ZID.} = 37.2 \text{ (kN/m')}$$

$$W_{UK}^{UR.} = 124.54 \text{ (kN/m')}$$

Zasip do granice virtualne ravnine se promatra kao dio zida, te njihova težina djeluje kao stabilizirajuća sila. Proračun je proveden s uronjenom težinom koristeći uronjene jedinične težine materijala.

Ukupna destabilizirajuća horizontalna komponenta aktivnog tlaka tla se računa na način da se odredi koeficijent aktivnog tlaka "e". Koeficijent aktivnog tlaka se mijenja po dubini, te je raspodijeljen na uronjeni dio zida i dio zida iznad razine mora.

(EQU/GEO)

$$e_1 = \gamma_n \cdot h_1 \cdot K_{a,d}$$

$$e_1 = 18 \cdot 1.0 \cdot 0.284 ; \quad e_1 = 5.112 \text{ (kN/m')}$$

$$e_2 = e_1 + \gamma_n \cdot h_2 \cdot K_{a,d}$$

$$e_2 = 5.112 + 8 \cdot 3.0 \cdot 0.284 \quad e_2 = 11.928 \text{ (kN/m')}$$

$$E_{1A,h} = 0.5 \cdot e_1 \cdot h_1$$

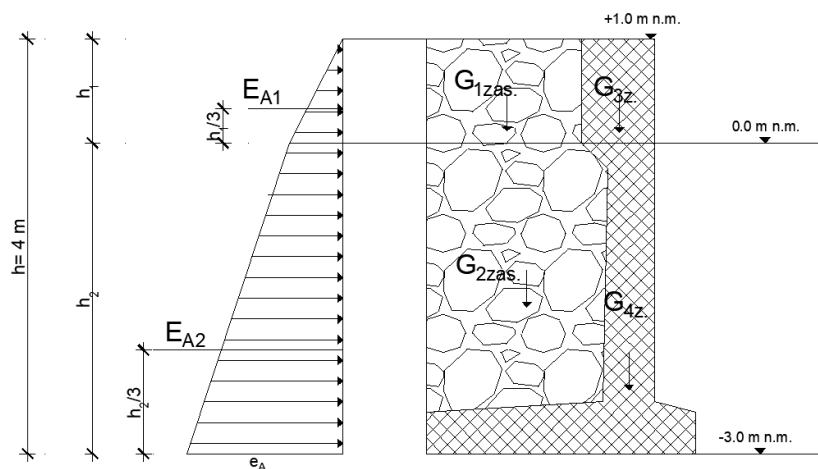
$$E_{1A,h} = 0.5 \cdot 5.112 \cdot 1.0 \quad E_1 = 2.556 \text{ (kN/m')}$$

$$E_{2A,h} = 0.5(e_1 + e_2) \cdot h_2$$

$$E_{2A,h} = 0.5(5.112 + 11.928) \cdot 3.0 \quad E_2 = 25.56 \text{ (kN/m')}$$

Ukupna destabilizirajuća sila aktivnog tlaka tla prema Rankine-ovoj teoriji iznosi:

$$E_{A,UK.} = 28.14 \text{ (kN/m')}$$



Slika 2.18. Djelovanje rezultanti aktivnog tlaka na obalni zid (MJ: 1kN=10 cm)

## 2.3. Seizmičko djelovanje (E)

### 2.3.1. Seizmička inercijalna sila na obalni zid

Predmetna lokacija se nalazi u Pločama, te stoga pripada među seizmički najaktivnija područja Republike Hrvatske. Podloga za određivanje vršnih ubrzanja navedene lokacije je potresna karta područja Republike Hrvatske s povratnim periodom od 475 godina. Tlo je definirano kao tip A, iz čega proizlazi da je parametar tla  $S = 1$ .

Očitana vrijednost horizontalnog koeficijenta ubrzanja tla iznosi:

$$\alpha_g = 0.337 g$$

Na osnovu navedenih parametara izvršen je proračun seizmičke inercijalne sile od težine zida u vidu horizontalne i vertikalne komponente djelovanja.

$$F_h = k_h \cdot W_{UK.}^{UR}$$

$$F_v = k_v \cdot W_{UK.}^{UR}$$

$$W_{UK.}^{UR} = 124.54 \text{ (kN/m')}$$

$$\alpha = \alpha_g / g; \quad \alpha = 0.337 - \text{omjer proračunskog ubrzanja i ubrzanja sile teže}$$

$$g = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)} - \text{gravitacijsko ubrzanje}$$

$$S = 1 - \text{parametar tla}$$

$$r = 2 - \text{faktor za proračun potresnog koeficijenta za horizontalni smjer}$$

$$k_h = \alpha \cdot S / r; \quad k_h = 0.337 \cdot 1 / 2; \quad k_h = 0.169$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h; \quad k_v = 0.5 \cdot 0.169 \quad k_v = 0.085$$

$$F_h = 0.169 \cdot 124.54; \quad F_h = \mathbf{21.04 \text{ (kN/m')}}$$

$$F_v = 0.085 \cdot 124.54; \quad F_v = \mathbf{10.58 \text{ (kN/m')}}$$

### 2.3.2. Seizmički potisak tla uslijed djelovanja korisnog opterećenja

$P_a(x) = 5 / 12 \cdot p \cdot a(x) \cdot H$  – rezultanta seizmičkog pritiska

$H = 4.0$  (m) – visina utjecaja korisnog opterećenja

$p = K_s \cdot q$

$K_s = 0.15$

$q = 16.67$  (kN/m<sup>2</sup>)

$a(x) = 0.5$

$p = 0.15 \cdot 16.67$  ;  $p = 2.50$  (kN/m<sup>2</sup>)

$P_a(x) = 5 / 12 \cdot 2.5 \cdot 0.5 \cdot 4.0$  ;  **$P_a(x) = 2.08$  (kN/m')**

### 2.3.3. Aktivni seizmički pritisak tla na obalni zid

Kako bi se odredio seizmički pritisak tla, potrebno je prvo odrediti koeficijent tlaka tla  $K$  (statički + dinamički). Uslijed horizontalne površine iza zida koja nema nagib, ispunjen je uvjet:

$$\beta \leq \varphi'_d - \Theta_{MO}$$

gdje se koeficijent tlaka za zadane parametre računa na sljedeći način:

$$E_d = 0.5 \cdot \gamma'(1 \pm k_v) \cdot K_e \cdot H^2$$

$$H = 4.0 \text{ (m)} - \text{ukupna visina zasipa}$$

$$\Psi = 90^\circ - \text{kut nagiba površine zida uz nasip u donosu na vertikalu}$$

$$\beta = 0.0^\circ - \text{kut nagiba terena iza zida}$$

$$\delta_d = 0.0^\circ - \text{projektni kut trenja između tla i površine zida}$$

$$\gamma'_n = 8.0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\varphi'_k = 40.0^\circ - \text{karakteristična vrijednost kuta unutarnjeg trenja}$$

$$\text{tg}\Theta = \gamma_n \cdot k_h / (\gamma'(1 - k_v)); \quad \Theta = 22.56^\circ$$

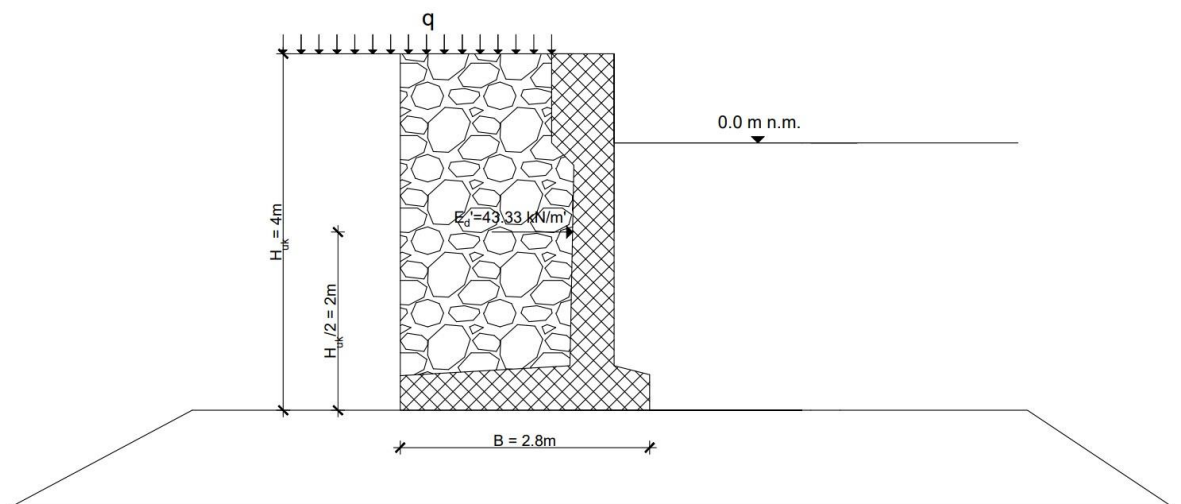
$$K = \frac{\sin^2[\Psi + \varphi'd - \theta]}{\cos\theta \cdot \sin^2\Psi \cdot \sin(\Psi - \theta - \delta d) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi'd + \delta d) \cdot \sin(\varphi'd - \beta - \theta)}{\sin(\Psi - \theta - \delta d) \cdot \sin(\Psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$K = 0.624$$

$$E_{d'} = 36.54 \text{ (kN/m')}$$

$$E_{d'} = 43.33 \text{ (kN/m')}$$

Rezultanta dinamičkog aktivnog pritiska djeluje na polovici ukupne visine zasipa (H/2).



Slika 2.19. Prikaz rezultatante djelovanje dinamičkog aktivnog pritiska

### 2.3.4. Seizmički pritisak vode iza obalnog zida

U proračunu se analizira nepovoljna kombinacija kada tlak vode djeluje prema vanjskoj strani zida. Rezultanta hidrodinamičkog tlaka vode  $E_{wd}$  za jako propusno tlo se proračunava na sljedeći način:

$$E_{wd} = 7/12 \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot h_w^2$$

$$h_w = 3.0 \text{ (m)}$$

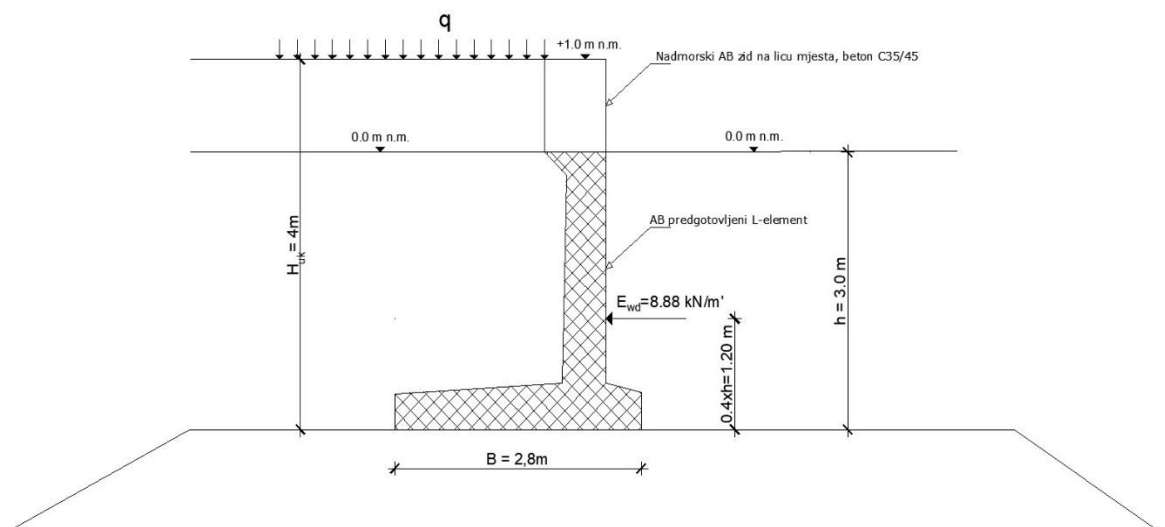
$$k_h = 0.169$$

$$E_{wd} = 7/12 \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot h_w^2$$

$$E_{wd} = 7/12 \cdot 0.169 \cdot 10 \cdot 3.0^2$$

$$E_{wd} = \mathbf{8.88 \text{ (kN/m')}}$$

Rezultanta djeluje na visini  $0.4 \cdot h$ , odnosno na visini od 1.2 (m).



Slika 2.20. Prikaz rezultatante djelovanja hidrodinamičkog tlaka vode uslijed potresnog djelovanja

### 3. REKAPITULACIJA OPTEREĆENJA

#### 3.1. Parcijalni koeficijenti za učinke djelovanja

Prema EC 7 djelovanja na konstrukciju su podijeljena u dvije grupe na stalno (G) i promjenjivo djelovanje (Q). Konkretno za ovaj tip konstrukcije obalnog zida, stalna djelovanja su težina zasipa i zida koji se proračunavaju kao uronjene težine jer se djelovanje tlaka vode promatra također kao stalno djelovanje, te horizontalne sile aktivnog tlaka. Pod promjenjiva djelovanja se ubraja djelovanje sile vala, sile veza, potresa, te sile od korisnog prometnog opterećenja.

Usljed male vjerojatnosti da se ostvare istovremeno sva navedena djelovanja, u praksi se prema EC 7 određuje reprezentativno djelovanje  $F_{rep.}$  iz karakterističnih vrijednosti djelovanja  $F_k$  uz upotrebu kombinacijskih faktora čija vrijednost može biti jednaka ili manja od jedan.

$$F_{rep.} = F_k \cdot \Psi$$

Za stalna djelovanja i vodeće promjenjivo opterećenje kombinacijski faktor  $\Psi$  poprima vrijednost jedan, dok se za ostala promjenjiva djelovanja uzima s vrijednošću manjom od jedan. Važno je naglasiti da se prilikom proračuna kombiniraju samo nepovoljna promjenjiva djelovanja, odnosno povoljna djelovanja se uzimaju s kombinacijskim faktorom  $\Psi = 0$



Parcijalni koeficijenti djelovanja ( $\gamma_F$ ) i učinka djelovanja ( $\gamma_E$ )- STR i GEO (PP3)

| Djelovanje  |            | Simbol           | Vrijednost  |     |
|-------------|------------|------------------|-------------|-----|
|             |            |                  | A1          | A2  |
| Stalno      | nepovoljno | $\gamma_{G;sup}$ | <b>1,35</b> | 1   |
|             | povoljno   | $\gamma_{G;inf}$ | <b>1</b>    | 1   |
| Promjenjivo | nepovoljno | $\gamma_Q$       | <b>1,5</b>  | 1,3 |
|             | povoljno   | $\gamma_Q$       | <b>0</b>    | 0   |

Parcijalni koeficijenti djelovanja ( $\gamma_F$ ) - EQU

| Djelovanje  |            | Simbol           | Vrijednost |
|-------------|------------|------------------|------------|
| Stalno      | nepovoljno | $\gamma_{G;dst}$ | 1,1        |
|             | povoljno   | $\gamma_{G;stb}$ | 0,9        |
| Promjenjivo | nepovoljno | $\gamma_{Q;dst}$ | 1,5        |
|             | povoljno   | $\gamma_{Q;stb}$ | 0          |

Parcijalni koeficijenti otpornosti ( $\gamma_R$ )

| Granično stanje | Simbol           | Vrijednost |     |          |
|-----------------|------------------|------------|-----|----------|
|                 |                  | R1         | R2  | R3       |
| Nosivost        | $\gamma_{G;dst}$ | 1          | 1,4 | <b>1</b> |
| Klizanje        | $\gamma_{G;stb}$ | 1          | 1,1 | <b>1</b> |
| Otpor tla       | $\gamma_{Q;dst}$ | 1          | 1,4 | <b>1</b> |
| Prevrtanje      | $\gamma_{Q;stb}$ | 1          | 1   | <b>1</b> |

## 3.2. Rekapitulacija djelovanja

### Stalna djelovanja (G)

1. Težina zida + klin tla ( $G_u$ ) – 124.54 (kN/m')
2. Aktivni tlak ( $E_u$ ) – 28.14 (kN/m')

### Promjenjiva djelovanja (Q)

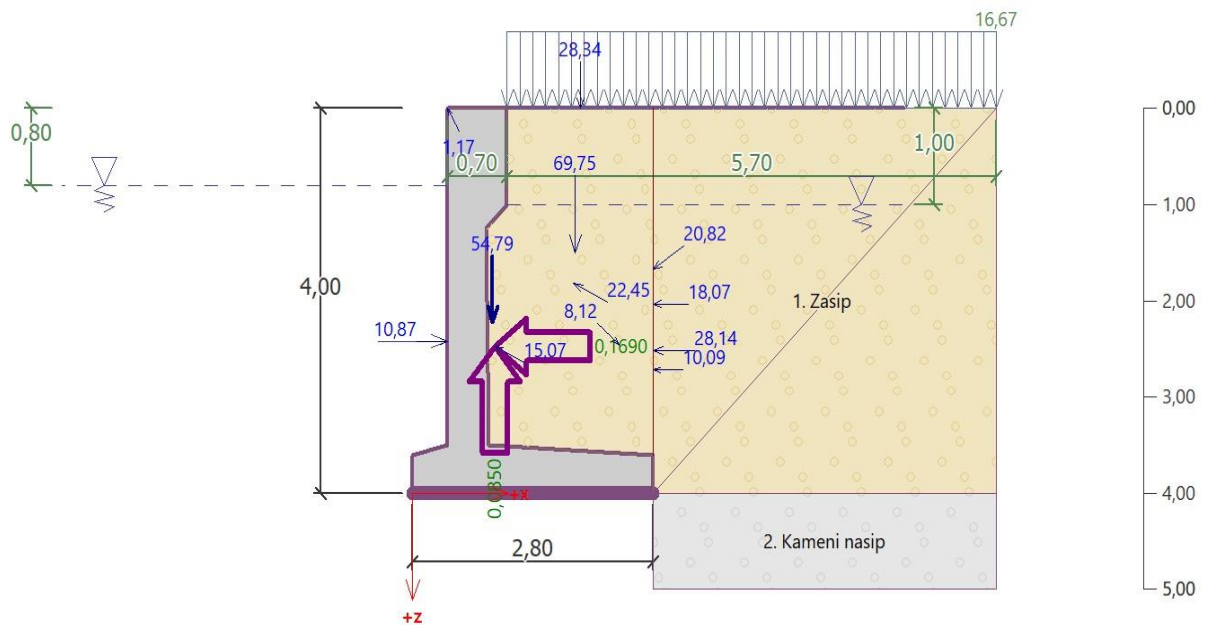
1. Prometno opterećenje ( $Q_1$ ) – 16.67 (kN/m')
2. Opterećenje od veza broda ( $Q_2$ ) – horizontalna ( $Q_{2,h}$ ) – 1.0 (kN/m')  
– vertikalna ( $Q_{2,v}$ ) – 0.6 (kN/m')
3. Sila od tlaka rezidualne vode ( $Q_3$ ) – horizontalna ( $Q_{3,h}$ ) – 6.20 (kN/m')  
– vertikalna ( $Q_{3,v}$ ) – 5.24 (kN/m')
4. Sila od vala ( $Q_4$ ) – horizontalna ( $Q_{4,h}$ ) – 10.87 (kN/m')  
– vertikalna ( $Q_{4,v}$ ) – 0.13 (kN/m')

### Seizmička djelovanja (E)

1. Seizmička inercijalna sila ( $E_1$ ) – horizontalna ( $E_{1,h}$ ) – 21.04 (kN/m')  
– vertikalna ( $E_{1,v}$ ) – 10.58 (kN/m')
2. Seizmički potisak tla uslijed korisnog opterećenja ( $E_2$ ) – 2.08 (kN/m')
3. Aktivni seizmički pritisak na obalni zid ( $E_{d,3}$ ) – 36.54 (kN/m')  
– 43.33 (kN/m')
4. Seizmički pritisak vode iza obalnog zida ( $E_4$ ) – 8.88 (kN/m')

### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                                   | $F_{hor}$<br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | $F_{vert}$<br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>napreznj<br>e |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------------|
| Težina - zid                            | 0,00                | -1,78               | 54,79                | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,350                  |
| Potres - konstr.                        | 13,46               | -1,53               | -6,77                | 0,96                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Težina - zemljani klin                  | 0,00                | -2,50               | 69,75                | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Potres - klin tla                       | 20,06               | -2,18               | -10,09               | 1,87                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Aktivni pritisak                        | 28,14               | -1,48               | 0,00                 | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Pritisak od vode                        | -6,20               | -1,55               | 5,24                 | 2,40                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Pritisak uzgona                         | 0,00                | -4,00               | 0,00                 | 0,40                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Potres - akt.pritisak                   | 17,35               | -2,33               | 11,51                | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Din. pritisak od vode na prednoj strani | 10,09               | -1,28               | 0,00                 | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Prometno opterećenje (Q1)               | 18,07               | -1,97               | 0,00                 | 2,80                | 1,300            | 1,300             | 1,300                  |
| Prometno opterećenje (Q1)               | 0,00                | -4,00               | 28,34                | 1,95                | 0,000            | 0,000             | 1,300                  |
| Sila veza (Q3)                          | 0,60                | -4,00               | -1,00                | 0,40                | 0,900            | 0,900             | 0,000                  |
| Sila vala (Q2)                          | -10,87              | -1,58               | 0,00                 | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 0,900                  |



Slika 3.1. Grafički prikaz djelovanja svih promatranih sila

### 3.3. Kombinacije djelovanja

#### 3.3.1. Stalna (statička) kombinacija

- Provjera stabilnosti na prevrtanje

Provjera stabilnosti na prevrtanje se provodi oko rubne točke obalnog zida (morske strane). Prema Eurokodu 7 to je granično stanje nosivosti označeno kao STR i GEO. Analizom momenata sila oko rubne točke određen je odnos između stabilizirajućih sila (težina zasipa i zida) i djelovanja sile koja nastoji prevrnuti konstrukciju (aktivni tlak).

$$M_{dst} = 41.78 \text{ (kN/m')}$$

$$M_{stb} = 182.91 \text{ (kN/m')}$$

Faktor sigurnosti na prevrtanje predstavlja omjer dva momenta:

$$F_s = M_{stb} / M_{dst} ; \quad F_s = 4.37$$

Stupanj iskoristivosti je izražen kao recipročna vrijednost faktora sigurnosti, te iznosi:

$$22.8 \%$$

- Provjera stabilnosti na klizanje

Gubitak stabilnosti uzrokovan klizanjem obalnog zida po temeljnoj podlozi predstavlja analizu posmičnog loma na kontaktnoj površini temelj – tlo. Do posmičnog loma dolazi kroz tlo koji je slabiji materijal, pa se prilikom proračuna promatra granično stanje GEO. Težina zasipa i zida predstavljaju povoljno stalno djelovanje, dok djelovanje aktivnog tlaka nastoji pokrenuti obalni zid. Stabilnost na klizanje izražena je " tradicionalnim " faktorom sigurnosti, gdje se za koeficijent trenja  $\mu_d$  uzima vrijednost iz izraza  $\text{tg}\varphi'_d$ , koja iznosi 0.671.

$$H_{pas} = 83.60 \text{ (kN/m')}$$

$$H_{akt} = 28.14 \text{ (kN/m')}$$

$$F_s = 2.97$$

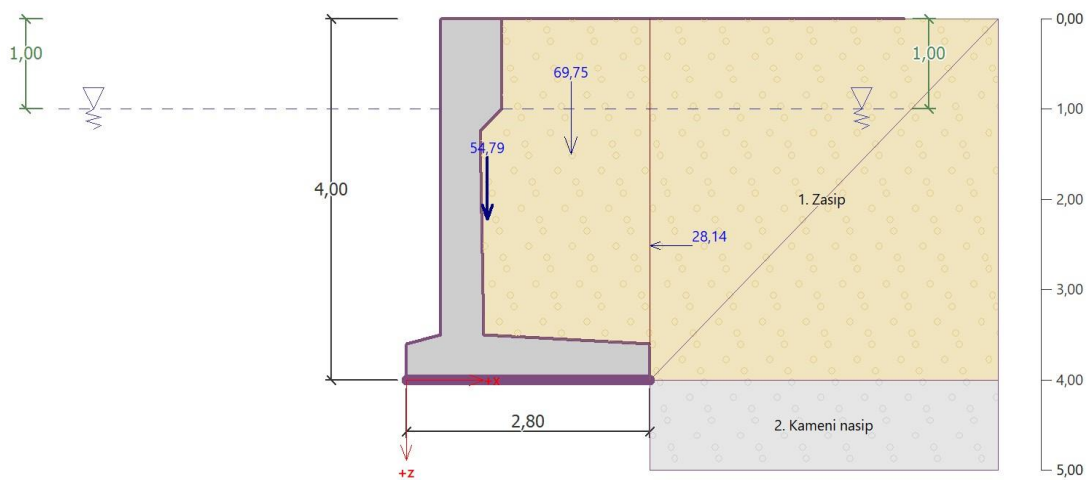
Stupanj iskoristivosti iznosi:  $33.6 \%$

### - Kontrola kontaktnih napreznja

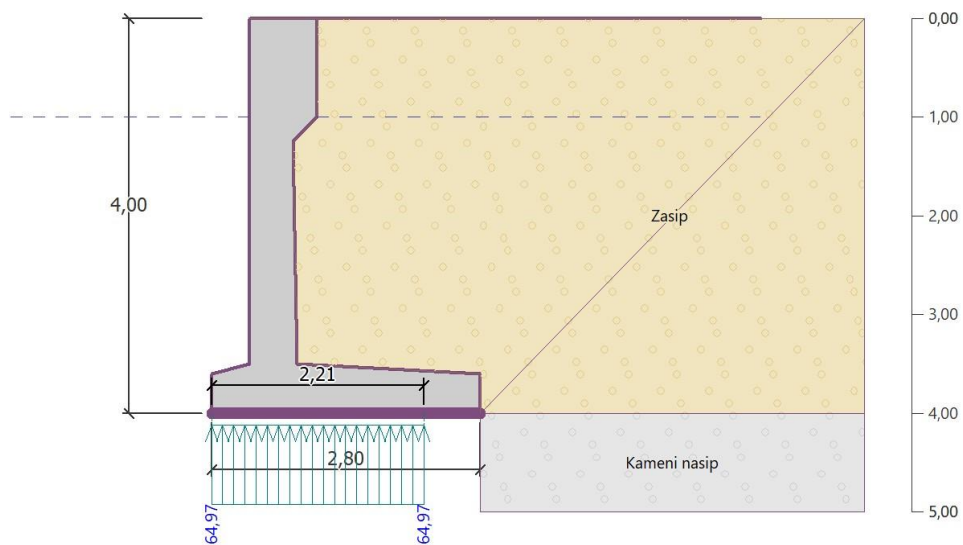
Gubitak stabilnosti uzrokovan lomom u temeljnom tlu je rezultat loma koji se događa kroz tlo, pa se analizira granično stanje GEO. Vršni se usporedba napreznja na kontaktu temelj- tlo s proračunskom nosivošću temeljnog tla. Nosivost temeljnog tla iznosi 450 (kPa).

Maksimalno napreznje za stalnu kombinaciju koje se ostvaruje na dodirnoj površini temelj – tlo iznosi:

$$\sigma = 64.97 \text{ (kPa)}$$



Slika 3.2. Prikaz djelovanja sila za statičku kombinaciju na modelu zida izrađenom u GEO5 softveru



Slika 3.3. Prikaz vrijednosti kontaktnog napreznja za statičku kombinaciju

### 3.3.2. Stalna i prolazna kombinacija (prometno opt. + sila vala)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                     | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid              | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,350               |
| Težina - zemljani klin    | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak          | 28,14                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode          | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Prometno opterećenje (Q1) | 18,07                      | -1,97               | 0,00                        | 2,80                | 1,300            | 1,300             | 1,300               |
| Prometno opterećenje (Q1) | 0,00                       | -4,00               | 28,34                       | 1,95                | 0,000            | 0,000             | 1,300               |
| Sila vala (Q2)            | -10,87                     | -1,58               | 0,00                        | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 1,500               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 182,91$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 88,01$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 83,60$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 51,63$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 81,73 kPa

Ova kombinacija uzima u obzir stalna djelovanja (težina zasipa i zida), te dva nepovoljna promjenjiva opterećenja od kojih je jedno ' vodeće ' (prometno opterećenje), a drugo ' prateće ' (horizontalna sila vala) djelovanje.

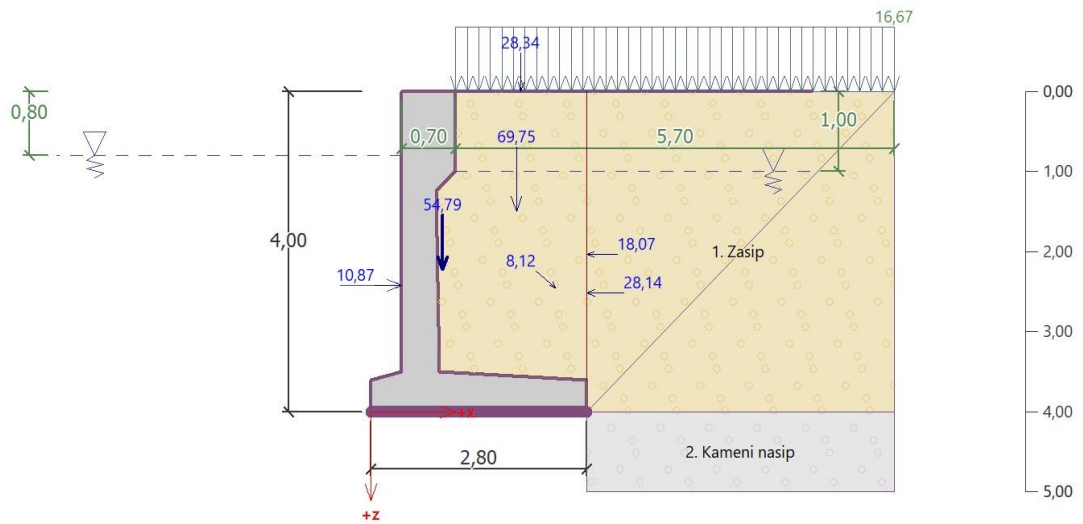
Faktor sigurnosti (prevrtanje): 2.07

Faktor sigurnosti (klizanje): 1.61

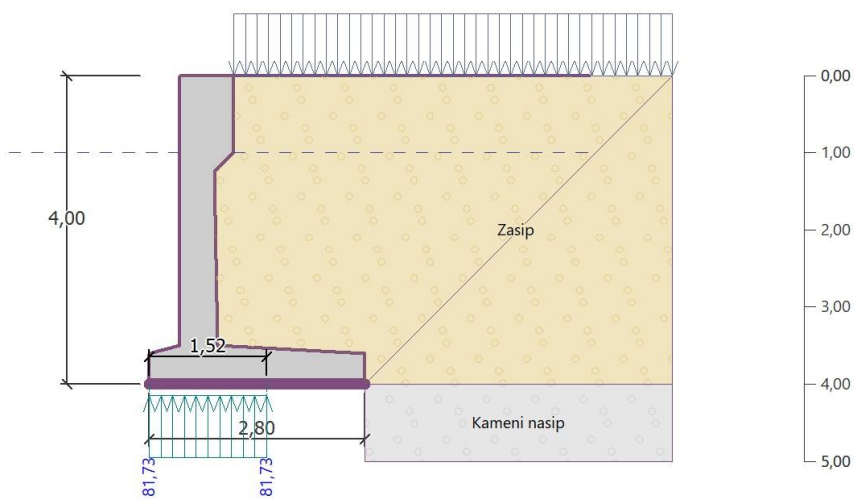
#### Kombinacijaki faktori

Prometno opterećenje (Q1) je promatrano kao vodeće djelovanje, te se prilikom proračuna uzima  $\Psi = 1$  kao kombinacijska vrijednost. Horizontalna sila vala za ovu kombinaciju je prateće opterećenje, te se reducira kombinacijskim faktorima za djelovanje vala:

$$\Psi_0 = 0.6 ; \quad \Psi_1 = 0.2; \quad \Psi_2 = 0$$



Slika 3.4. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 2



Slika 3.5. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 2. kombinaciju

### 3.3.3. Stalna i prolazna kombinacija (val + sila veza)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                  | $F_{hor}$<br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | $F_{vert}$<br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid           | 0,00                | -1,78               | 54,79                | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,350               |
| Težina - zemljani klin | 0,00                | -2,50               | 69,75                | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak       | 28,14               | -1,48               | 0,00                 | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode       | 0,00                | -4,00               | 0,00                 | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Sila veza (Q3)         | 0,60                | -4,00               | -1,00                | 0,40                | 1,500            | 1,500             | 0,000               |
| Sila vala (Q2)         | -10,87              | -1,58               | 0,00                 | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 1,500               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 182,91$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 45,98$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 82,59$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 29,04$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 55,91 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 3.97

Faktor sigurnosti (klizanje): 2.84

#### Kombinacijski faktori

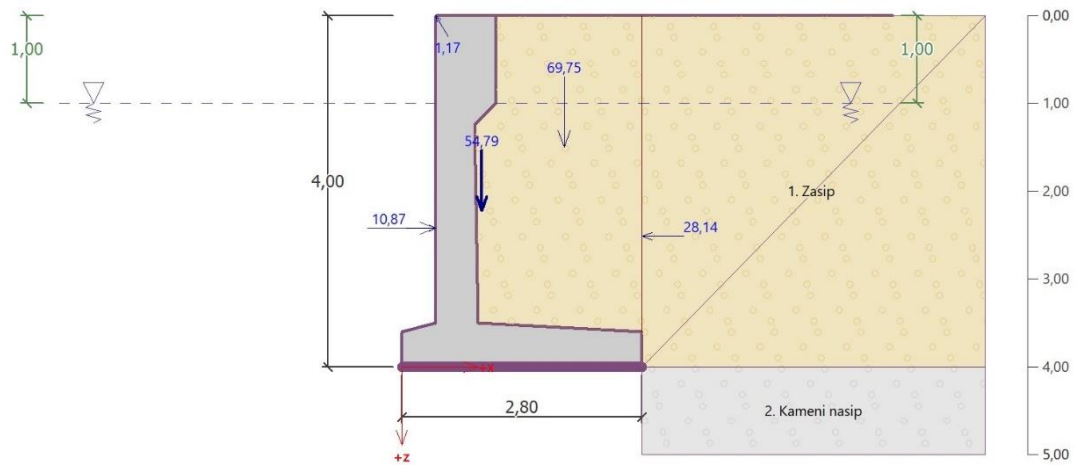
Za ovu kombinaciju djelovanja sila na obalni zid, sila vala u proračun ulazi kao vodeće promjenjivo opterećenje dok je sila veza prateće djelovanje s pripadajućim kombinacijskim vrijednostima:

$$\Psi_0 = 0.6$$

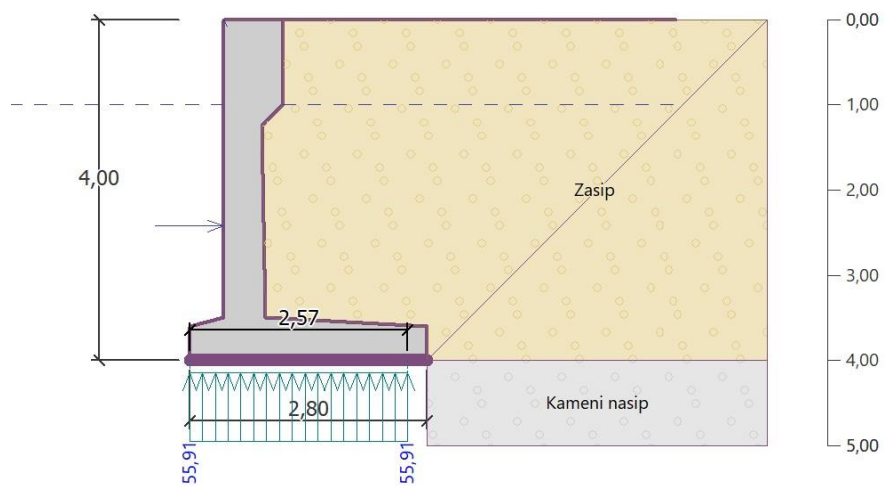
$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$





Slika 3.6. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 3



Slika 3.7. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 3. kombinaciju

### 3.3.4. Stalna i prolazna kombinacija (prometno opt. + sila veza)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                     | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid              | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,350               |
| Težina - zemljani klin    | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak          | 28,14                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode          | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Prometno opterećenje (Q1) | 18,07                      | -1,97               | 0,00                        | 2,80                | 1,300            | 1,300             | 1,300               |
| Prometno opterećenje (Q1) | 0,00                       | -4,00               | 28,34                       | 1,95                | 0,000            | 0,000             | 1,300               |
| Sila veza (Q3)            | 0,60                       | -4,00               | -1,00                       | 0,40                | 1,500            | 1,500             | 0,000               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 182,91$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 92,21$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 82,59$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 52,53$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 88,32 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 1.98

Faktor sigurnosti (klizanje): 1.57

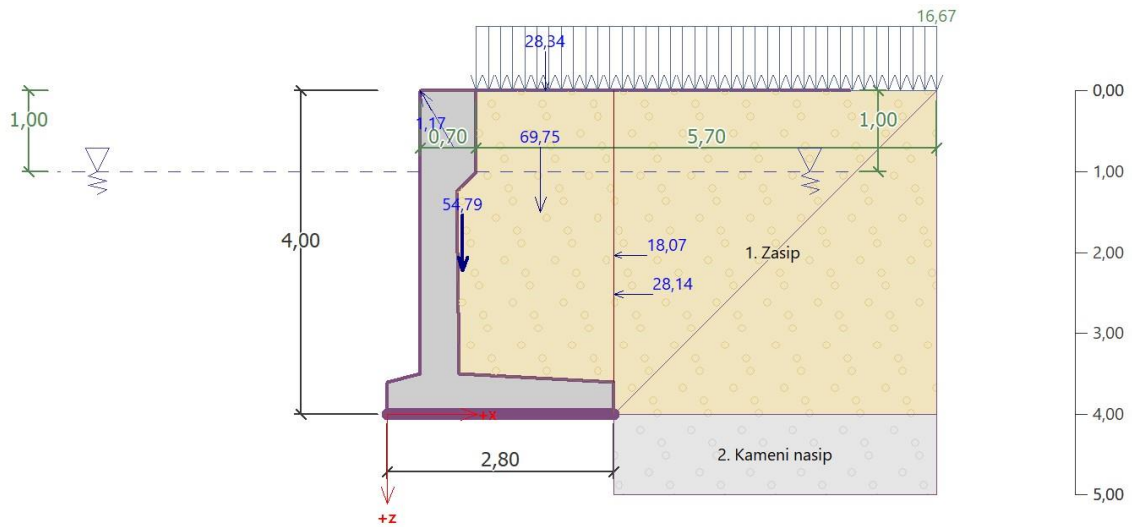
#### Kombinacijski faktori

Prateće promjenjivo djelovanje ove kombinacije je isto kao prethodne, iz čega slijedi da su kombinacijski faktori isti za djelovanje sile veza.

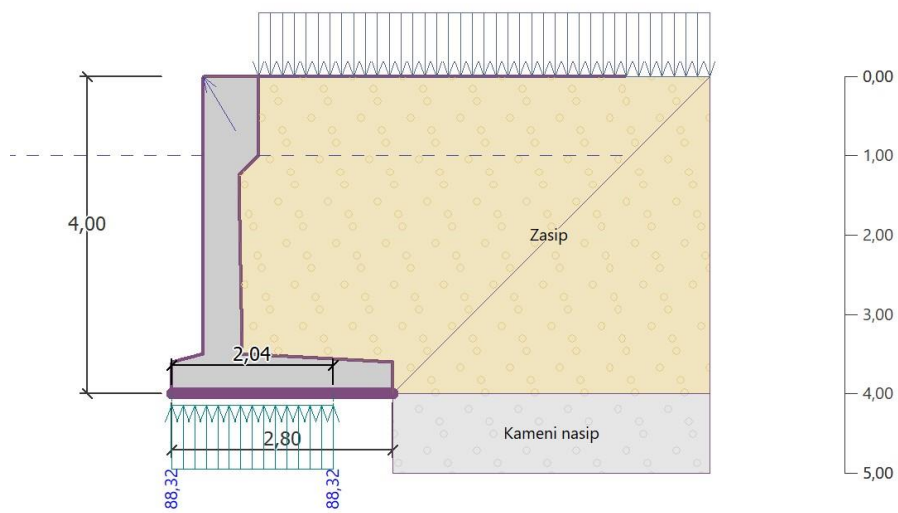
$$\Psi_0 = 0.6$$

$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$



Slika 3.8. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 4



Slika 3.9. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 4. kombinaciju

### 3.3.5. Stalna i prolazna kombinacija (sila vala + sila od rezidualne vode)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                  | $F_{hor}$<br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | $F_{vert}$<br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid           | 0,00                | -1,78               | 54,79                | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,350               |
| Težina - zemljani klin | 0,00                | -2,50               | 69,75                | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak       | 28,14               | -1,48               | 0,00                 | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode       | -6,20               | -1,55               | 5,24                 | 2,40                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak uzgona        | 0,00                | -4,00               | 0,00                 | 0,40                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Sila vala (Q2)         | -10,87              | -1,58               | 0,00                 | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 1,500               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 195,48$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 32,17$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 87,12$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 21,94$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 53,62 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 6.07

Faktor sigurnosti (klizanje): 3.97

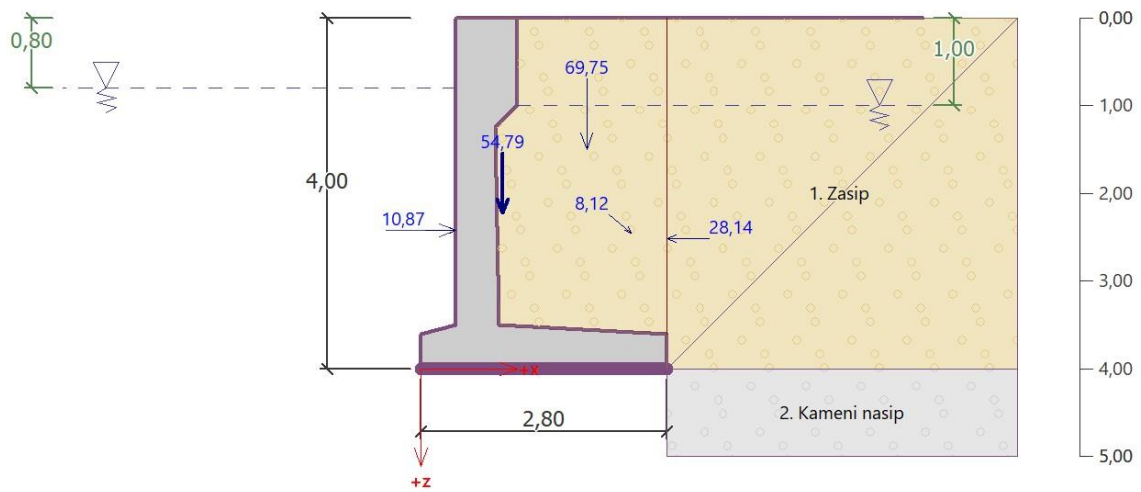
#### Kombinacijski faktori

Ova kombinacija uzima u obzir djelovanje tlaka rezidualne vode, te u proračun ulazi kao prateće djelovanje sa slijedećim vrijednostima:

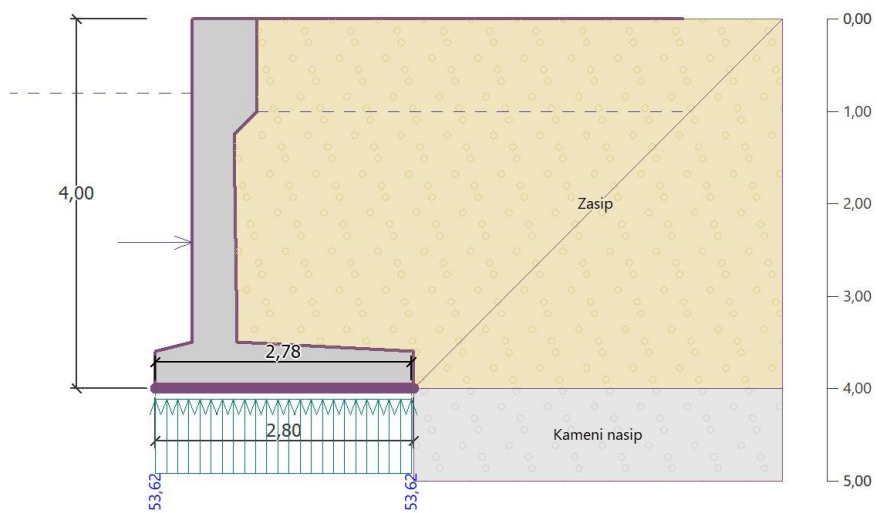
$$\Psi_0 = 0.6$$

$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$



Slika 3.10. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 5



Slika 3.11. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 5. kombinaciju

### 3.3.6. Stalna i prolazna kombinacija (prometno opt. + sila od rezidualne vode)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                     | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid              | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,350               |
| Težina - zemljani klin    | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak          | 28,14                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode          | -6,20                      | -1,55               | 5,24                        | 2,40                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak uzgona           | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 0,40                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Prometno opterećenje (Q1) | 18,07                      | -1,97               | 0,00                        | 2,80                | 1,300            | 1,300             | 1,300               |
| Prometno opterećenje (Q1) | 0,00                       | -4,00               | 28,34                       | 1,95                | 0,000            | 0,000             | 1,300               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 195,48$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 78,40$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 87,12$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 45,43$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 83,48 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 2.49

Faktor sigurnosti (klizanje): 1.91

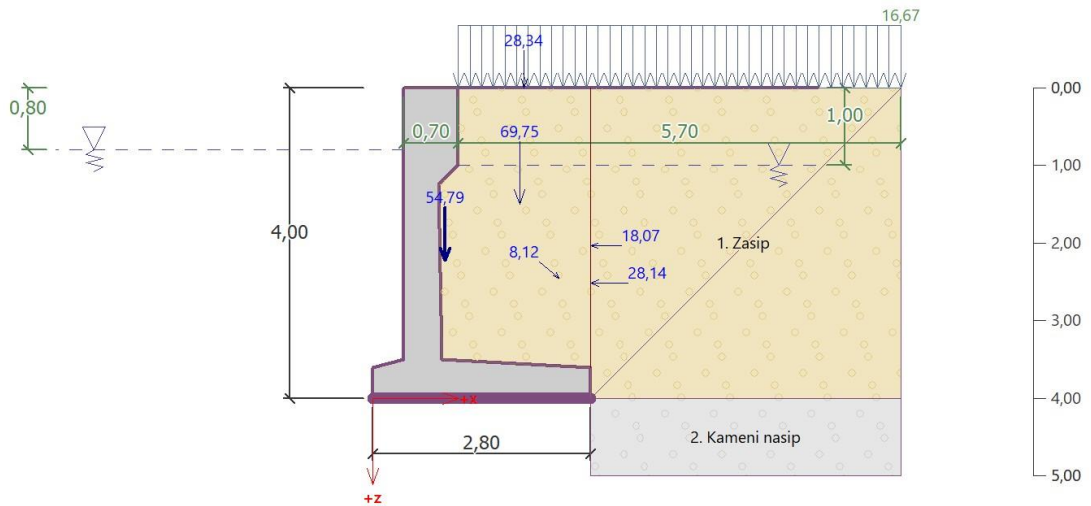
#### Kombinacijski faktori

Kombinacija ima isto prateće djelovanje tlaka rezidualne vode kao i prethodna, te se koriste iste kombinacijske vrijednosti:

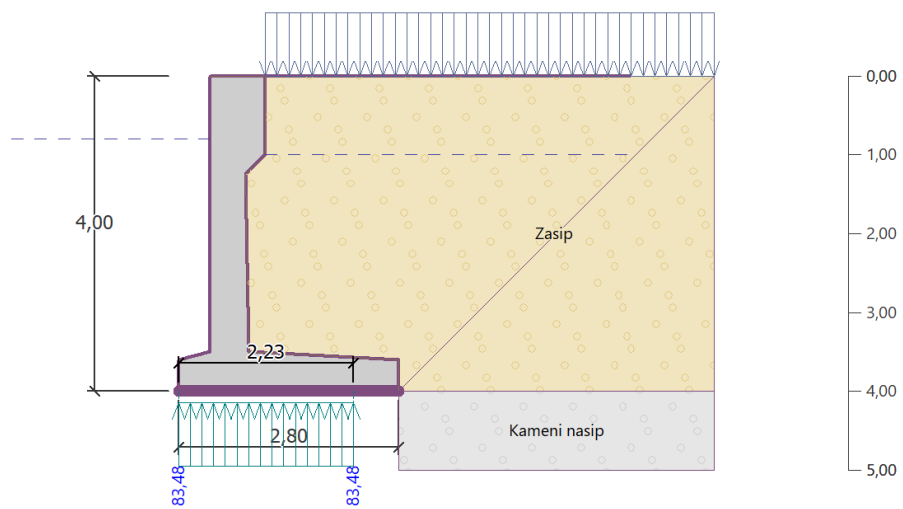
$$\Psi_0 = 0.6$$

$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$



Slika 3.12. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 6



Slika 3.13. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 6. kombinaciju

### 3.3.7. Incidentna kombinacija (potres + sila vala + sila veza)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                                   | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|---|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid                            | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - konstr.                        | 13,46                      | -1,53               | -6,77                       | 0,96                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Težina - zemljani klin                  | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - klin tla                       | 20,06                      | -2,18               | -10,09                      | 1,87                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak                        | 21,53                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode                        | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - akt.pritisak                   | 14,43                      | -2,34               | 11,97                       | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Din. pritisak od vode na prednoj strani | 8,87                       | -1,20               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Sila vala (Q2)                          | -10,87                     | -1,58               | 0,00                        | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 0,200               |
| Sila veza (Q3)                          | 0,60                       | -4,00               | -1,00                       | 0,40                | 0,200            | 0,200             | 0,000               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 191,04$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 141,17$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 100,23$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 78,47$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 143,05 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 1.35

Faktor sigurnosti (klizanje): 1.27

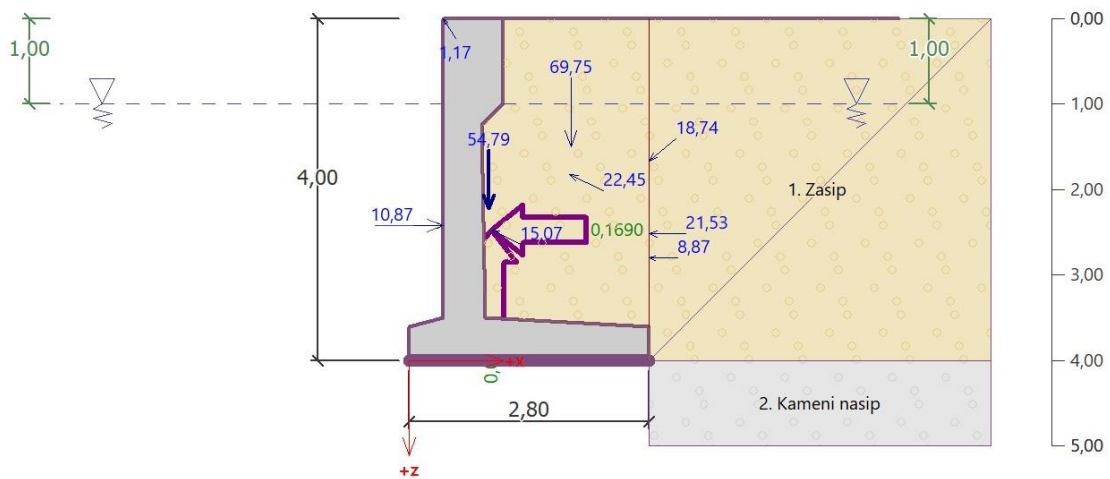
#### Kombinacijski faktori

$$\Psi_0 = 0.6$$

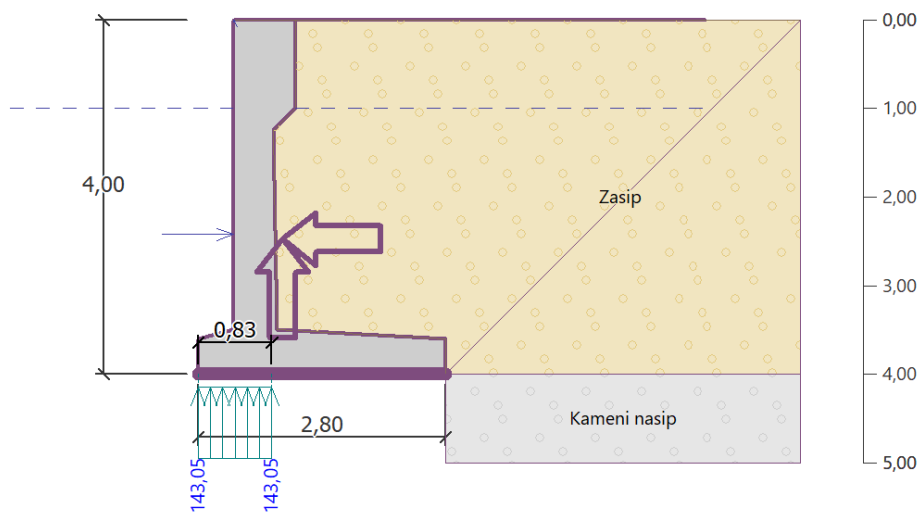
$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$





Slika 3.14. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 7



Slika 3.15. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 7. kombinaciju

### 3.3.8. Incidentna kombinacija (potres + prometno opt. + sila vala)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                                   | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>napreznj<br>e |
|---|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------------|
| Težina - zid                            | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Potres - konstr.                        | 13,46                      | -1,53               | -6,77                       | 0,96                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Težina - zemljani klin                  | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Potres - klin tla                       | 20,06                      | -2,18               | -10,09                      | 1,87                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Aktivni pritisak                        | 21,53                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Pritisak od vode                        | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Potres - akt.pritisak                   | 14,43                      | -2,34               | 11,97                       | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Din. pritisak od vode na prednoj strani | 8,87                       | -1,20               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000                  |
| Prometno opterećenje (Q1)               | 13,90                      | -1,98               | 0,00                        | 2,80                | 0,200            | 0,200             | 0,200                  |
| Prometno opterećenje (Q1)               | 0,00                       | -4,00               | 28,34                       | 1,95                | 0,000            | 0,000             | 0,200                  |
| Sila vala (Q2)                          | -10,87                     | -1,58               | 0,00                        | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 0,200                  |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 191,04$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 146,11$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 100,40$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 81,13$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 159,31 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 1.30

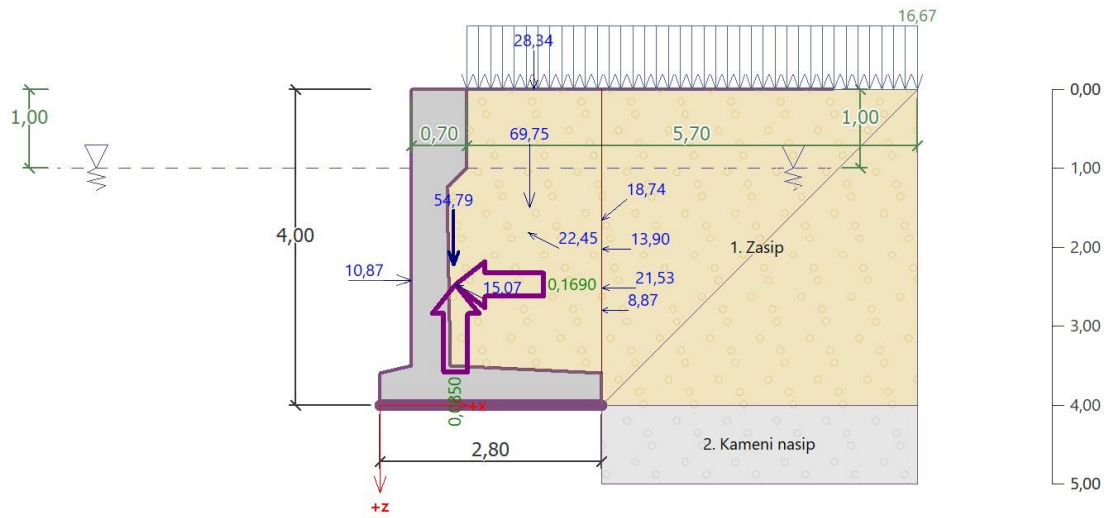
Faktor sigurnosti (klizanje): 1.23

#### Kombinacijski faktori

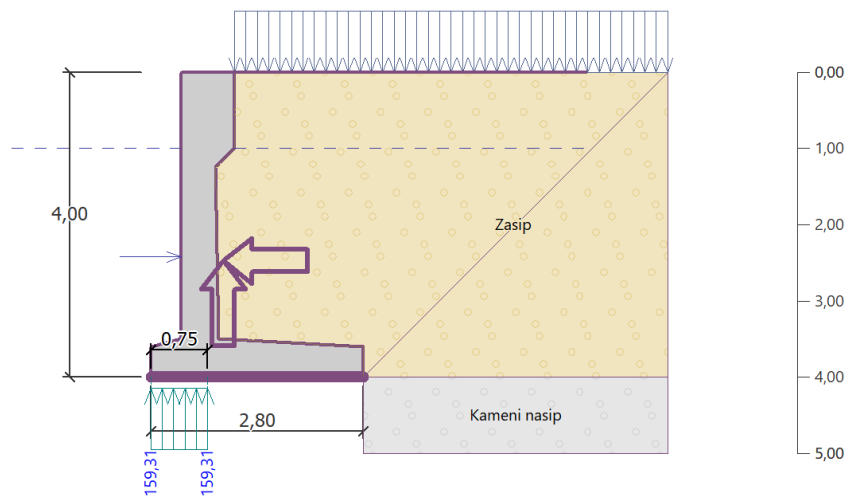
$$\Psi_0 = 0.6$$

$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$



Slika 3.16. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 8



Slika 3.17. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 8. kombinaciju

### 3.3.9. Potresna kombinacija (potres + prometno opt.)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                                   | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|---|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid                            | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - konstr.                        | 13,46                      | -1,53               | -6,77                       | 0,96                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Težina - zemljani klin                  | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - klin tla                       | 20,06                      | -2,18               | -10,09                      | 1,87                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak                        | 21,53                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode                        | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - akt.pritisak                   | 14,43                      | -2,34               | 11,97                       | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Din. pritisak od vode na prednoj strani | 8,87                       | -1,20               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Prometno opterećenje (Q1)               | 13,90                      | -1,98               | 0,00                        | 2,80                | 0,750            | 0,750             | 0,750               |
| Prometno opterećenje (Q1)               | 0,00                       | -4,00               | 28,34                       | 1,95                | 0,000            | 0,000             | 0,750               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 191,04$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 161,23$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 100,40$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 88,77$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 240,10 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 1.18

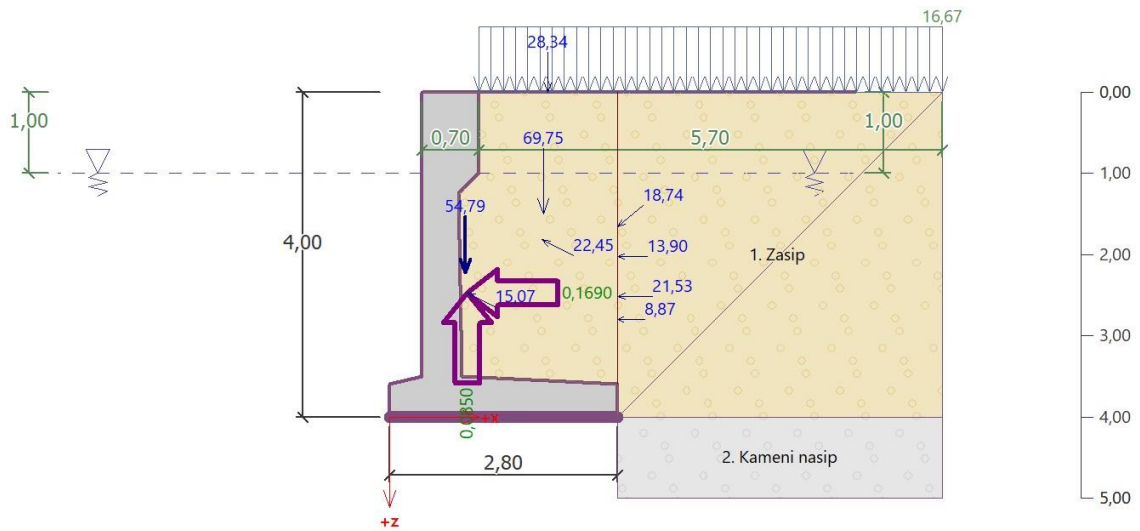
Faktor sigurnosti (klizanje): 1.13

#### Kombinacijski faktori

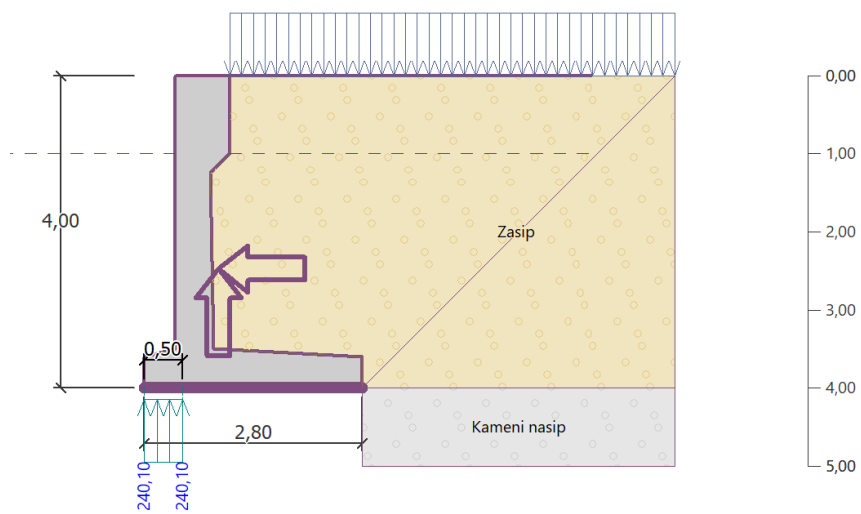
$$\Psi_0 = 0.75$$

$$\Psi_1 = 0.75$$

$$\Psi_2 = 0$$



Slika 3.18. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 9



Slika 3.19. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 9. kombinaciju

### 3.3.10. Potresna kombinacija (potres + sila vala)

#### Sile koje djeluju na konstrukciju

| Naziv                                   | F <sub>hor</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>z [m] | F <sub>vert</sub><br>[kN/m] | Toč.aplic.<br>x [m] | Koef.<br>prevrt. | Koef.<br>klizanje | Koef.<br>naprezanje |
|---|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Težina - zid                            | 0,00                       | -1,78               | 54,79                       | 0,93                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - konstr.                        | 13,46                      | -1,53               | -6,77                       | 0,96                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Težina - zemljani klin                  | 0,00                       | -2,50               | 69,75                       | 1,89                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - klin tla                       | 20,06                      | -2,18               | -10,09                      | 1,87                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Aktivni pritisak                        | 21,53                      | -1,48               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Pritisak od vode                        | 0,00                       | -4,00               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Potres - akt.pritisak                   | 14,43                      | -2,34               | 11,97                       | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Din. pritisak od vode na prednoj strani | 8,87                       | -1,20               | 0,00                        | 2,80                | 1,000            | 1,000             | 1,000               |
| Sila vala (Q2)                          | -10,87                     | -1,58               | 0,00                        | 0,40                | 0,000            | 0,000             | 0,200               |

#### Provjera cijelog zida

##### Provjera stabilnosti na prevrtanje

Moment otpora  $M_{res} = 191,04$  kNm/m

Moment prevrtanja  $M_{ovr} = 140,61$  kNm/m

Zid za prevrtanje ZADOVOLJAVAJUĆI

##### Provjera na klizanje

Horizontalna sila otpora  $H_{res} = 100,40$  kN/m

Aktivna horizontalna sila  $H_{act} = 78,35$  kN/m

Zid za klizanje ZADOVOLJAVAJUĆI

Sveukupna provjera - ZID ZADOVOLJAVAJUĆI

Maksimalno naprezanje u temeljnoj stopi : 141,94 kPa

Faktor sigurnosti (prevrtanje): 1.35

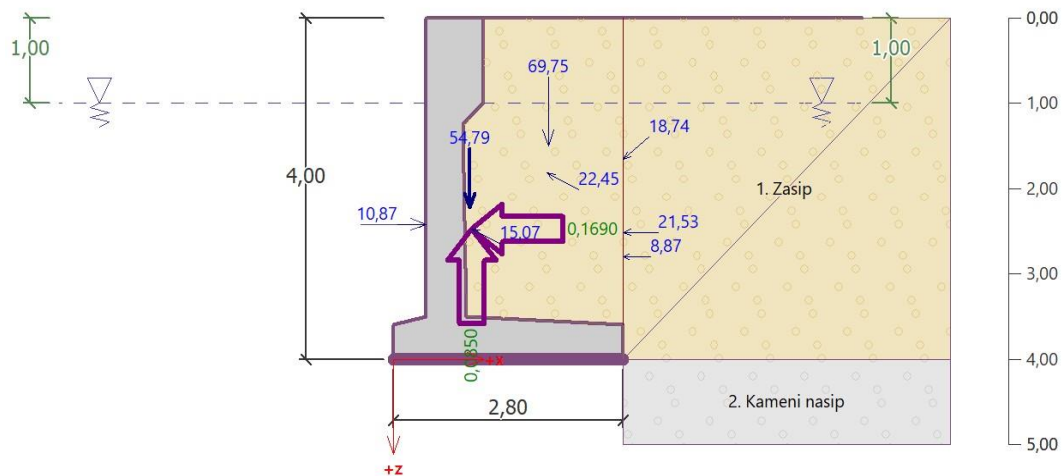
Faktor sigurnosti (klizanje): 1.28

#### Kombinacijski faktori

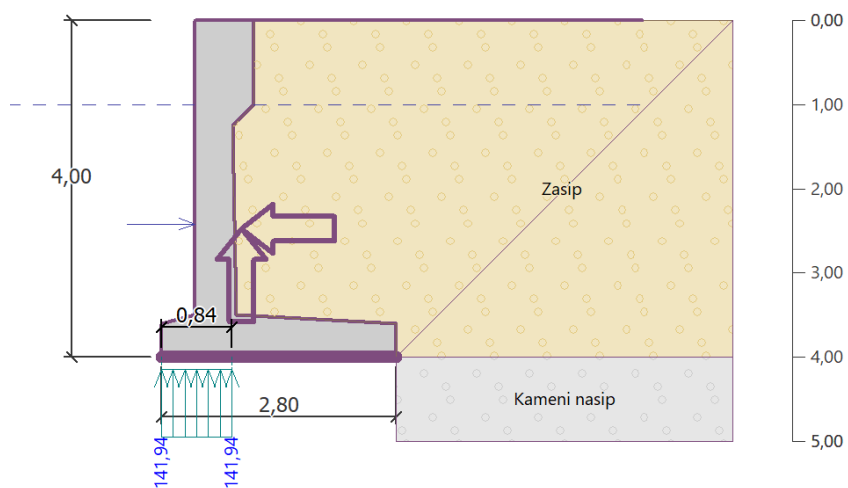
$$\Psi_0 = 0.6$$

$$\Psi_1 = 0.2$$

$$\Psi_2 = 0$$



Slika 3.20. Grafički prikaz djelovanja sila za kombinaciju 10



Slika 3.21. Prikaz vrijednosti kontaktnog naprezanja za 10. kombinaciju

U tablici 3.1 prikazana je rekapitulacija svih analiziranih kombinacija prezentiranih u radu, s pripadajućim kombinacijskim faktorima. Uz to su navedeni faktori sigurnosti svake kombinacije za granična stanja nosivosti (ULS), odnosno stabilnosti na prevrtanje i klizanje, te kontaktno naprezanje. Iz priloženog se uočava da je potresna proračunska situacija (potres + prometno opterećenje) najkritičnija kombinacija s najmanjim vrijednostima faktora sigurnosti i ujedno ona prema kojoj će se vršiti provjera stabilnosti kosine nasipa ispod zida.

| PRORAČUNSKA SITUACIJA | KOMBINACIJA                         | KOMBINACIJSKI FAKTORI |          |          | PREVRTANJE  | KLIZANJE    | KONTAKTNO NAPREZANJE |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------|----------|-------------|-------------|----------------------|
|                       |                                     | $\Psi_0$              | $\Psi_1$ | $\Psi_2$ | Fs          | Fs          | Fs                   |
| STALNA                | (1) STATIČKA                        | /                     | /        | /        | 4.37        | 2.97        | 6.92                 |
| STALNA I PROLAZNA     | (2) PROMETNO OPT. + SILA VALA       | 0.6                   | 0.2      | 0        | 2.07        | 1.61        | 5.5                  |
| STALNA I PROLAZNA     | (3) VAL + SILA VEZA                 | 0.6                   | 0.2      | 0        | 3.97        | 2.84        | 8.04                 |
| STALNA I PROLAZNA     | (4) PROMETNO OPT. + SILA VEZA       | 0.6                   | 0.2      | 0        | 1.98        | 1.57        | 5.09                 |
| STALNA I PROLAZNA     | (5) SILA VALA + REZIDUALNA VODA     | 0.6                   | 0.2      | 0        | 6.07        | 3.97        | 8.39                 |
| STALNA I PROLAZNA     | (6) PROMETNO OPT. + REZIDUALNA VODA | 0.6                   | 0.2      | 0        | 2.49        | 1.91        | 5.39                 |
| INCIDENTNA            | (7) POTRES + VAL + SILA VEZA        | 0.6                   | 0.2      | 0        | 1.35        | 1.27        | 3.14                 |
| INCIDENTNA            | (8) POTRES + PROMETNO OPT. + VAL    | 0.6                   | 0.2      | 0        | 1.3         | 1.23        | 2.82                 |
| POTRESNA              | (9) POTRES + PROMETNO OPT.          | 0.75                  | 0.75     | 0        | <b>1.18</b> | <b>1.13</b> | <b>1.87</b>          |
| POTRESNA              | (10) POTRES + SILA VALA             | 0.6                   | 0.2      | 0        | 1.35        | 1.28        | 3.17                 |

Tablica 3.1. Tablični prikaz rekapitulacije kombinacijskih djelovanja



### 3.3.11. Dimenzioniranje karakterističnog presjeka

#### Provjera zida na čvoru konstrukcije 2,41 m od vrha zida

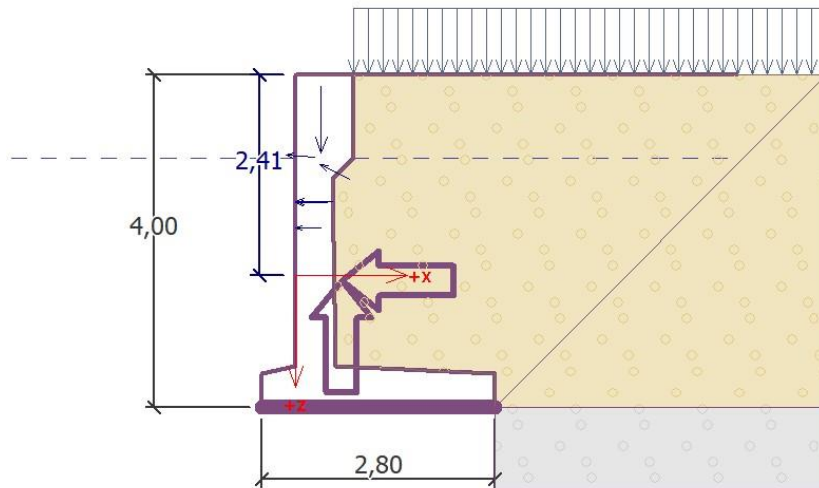
Dubina poprečnog presjeka  $h = 0,47$  m

Konačna posmična sila  $V_{Rd} = 210,30$  kN/m  $> 25,08$  kN/m  $= V_{Ed}$

Konačna tlačna sila  $N_{Rd} = 48,60$  kN/m  $> 24,42$  kN/m  $= N_{Ed}$

Konačni moment  $M_{Rd} = 46,01$  kNm/m  $> 24,07$  kNm/m  $= M_{Ed}$

Nosivost poprečnog presjeka ZADOVOLJAVAJUĆI



3.22. Prikaz odabrane visine kritičnog presjeka mjerodavnog za proračun armature

Za proračun potrebne armature odabran je kritični presjek na visini od 2.41 (m) od vrha konstrukcije, te je analizirana kritična potresna proračunska situacija (kombinacija 9). Promatrani konstrukcijski spoj zadovoljava po pitanju savijanja i posmika iz čega proizlazi da je nosivost poprečnog presjeka zadovoljavajuća.

## 4. PRORAČUN STABILNOSTI NASIPA ISPOD ZIDA

### 4.1. Ulazni podaci i proračunski pristup

Gubitak globalne stabilnosti uslijed klizanja u tlu, uzrokovan je posmičnim lomom tla pa se analizira granično stanje GEO. S obzirom na takvu vrstu loma, proračun klizne plohe je proveden na način da se u model postavi prethodno izračunato naprezanje na kontaktu temelj-tlo, te na taj način promatra najkritičniji slučaj, odnosno situacija loma u tlu.

Proračun je proveden prema normama HRN EN 1997-1:2012 8 (Eurokod 7), HRN EN 1998-1 i HRN EN 1998-5 (Eurokod 8). Proračun stabilnosti klizne plohe za promatranu obalnu konstrukciju je izvršen pomoću softverskog paketa Geo 5 – stabilnost kosina, a proveden je metodom Bishopa. Primjenjuje se proračunski pristup 3 (A1 ili A2 +M2 +R2), gdje se A1 odnosi na sile od konstrukcije, a A2 na geotehničke sile.

Parcijalni koeficijenti za parametre tla ( $\gamma_M$ ):

| Parametri tla          | Simbol           | Skupina |      |
|------------------------|------------------|---------|------|
|                        |                  | M1      | M2   |
| Kut unutarnjeg trenja  | $\gamma_{\phi'}$ | 1       | 1,25 |
| Efektivna kohezija     | $\gamma_{c'}$    | 1       | 1,25 |
| Nedr.posmična čvrstoća | $\gamma_{cu}$    | 1       | 1,4  |
| Jedinična tl.čvrstoća  | $\gamma_{qu}$    | 1       | 1,4  |
| Gustoća težine         | $\gamma$         | 1       | 1    |

Tablica 4.1. Parcijalni koeficijenti parametara tla

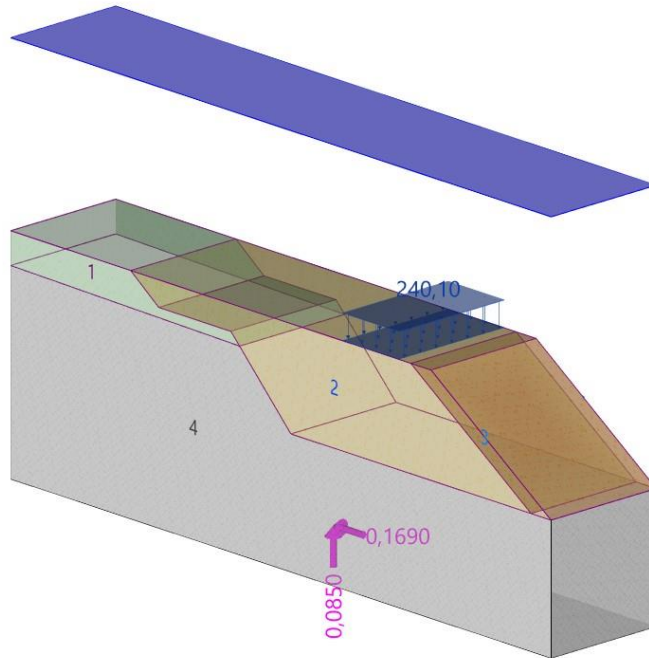
Parcijalni koeficijenti za djelovanja ili učinke djelovanja su isti kao i kod proračuna analize stabilnosti. Parametri navedeni u tablici 4.2. se koriste kod proračuna stabilnosti kosine nasipa za promjenjive i izvanredne kombinacije.

| Vrste materijala           | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{zas.}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $C_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\phi_k$ (°) |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------|
| Razlomljena stijenska masa | 25                            | 26                                   | 20                         | 48           |
| Kameni nasip               | 20                            | 22                                   | 0                          | 40           |
| Školjera                   | 17                            | 21                                   | 0                          | 48           |

Tablica 4.2. Ulazni podaci korišteni u modelu za proračun klizne plohe

## 4.2. Rezultati proračuna analize stabilnosti nasipa

### 4.2.1. Potresna kombinacija (potres + prometno opt.)



Slika 4.1. 3D model klizne plohe za maksimalnu potresnu kombinaciju

Kao mjerodavna kombinacija opterećenja, odabrana je seizmička kombinacija (potres + prometno opterećenje). Pripadajuće kontaktno naprezanje iznosi:

$$\sigma_{\max.} = 240.10 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Proračun kosine nasipa za potresne kombinacije izvršen je prema tehničkim standardima i preporukama za luke i lučke građevine japanskog razvojnog instituta za pomorsko obalno područje. U proračun se uvodi fiktivna kohezija za lomljeni kamen u moru. Primjenjuje se na slojeve školjere i kamenog nasipa.

| Vrste materijala           | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{\text{zas.}}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $C_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\phi_k$ (°) |
|----------------------------|-------------------------------|---|----------------------------|--------------|
| Razlomljena stijenska masa | 25                            | 26  | 20                         | 48           |
| Kameni nasip               | 20                            | 22  | 12.5                       | 35           |
| Školjera                   | 17                            | 21  | 12.5                       | 48           |

Tablica 4.3. Tablični prikaz parametara materijala korištenih pri izradi modela za seizmičko djelovanje proračuna klizne plohe

## Rezultat proračuna klizne plohe (Bishop)

### Provjera stabilnosti kosine (Bishop)

Suma aktivnih sila :  $F_a = 573,02$  kN/m

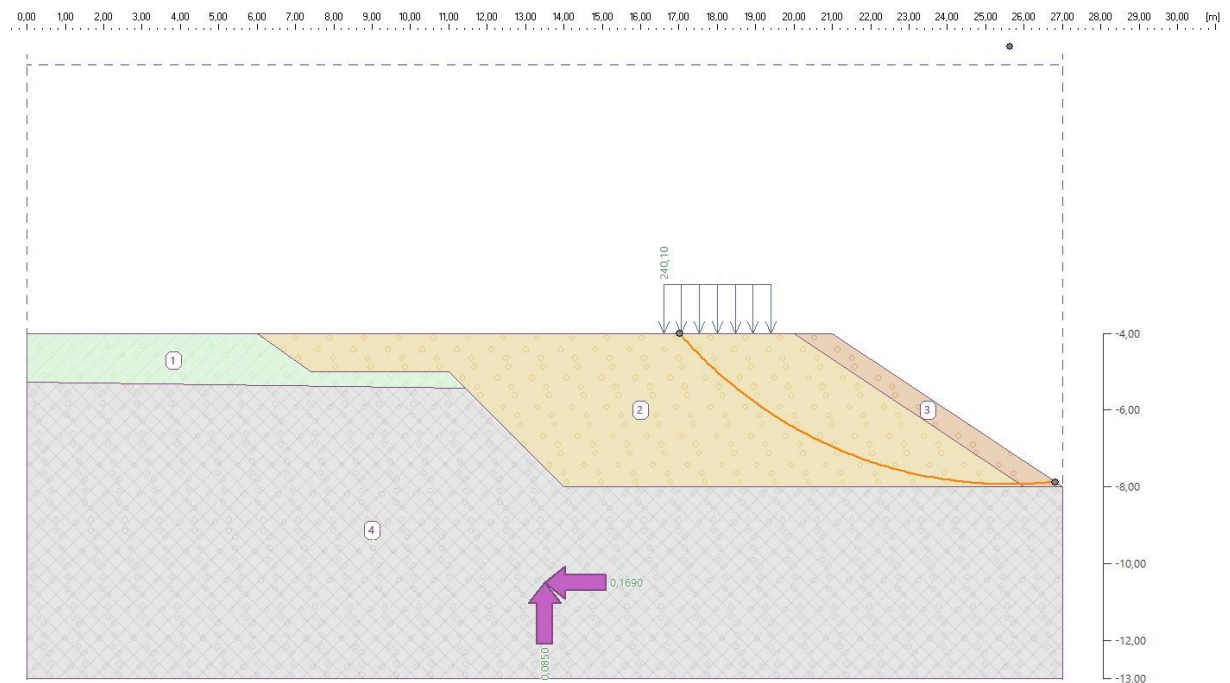
Suma pasivnih sila :  $F_p = 636,43$  kN/m

Moment klizanja :  $M_a = 6532,40$  kNm/m

Moment otpora :  $M_p = 7255,35$  kNm/m

Iskoristivost : 90,0 %

Stabilnost kosine PRIHVATLJIVO



Slika 4.2. Djelovanje klizne plohe za slučaj potresne kombinacije (Geo5-Slope Stability)

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom stabilnosti obalnog zida za navedena opterećenja, dokazano je da zid zadovoljava u pogledu stabilnosti na prevrtanje i klizanje. Najmanji faktor sigurnosti se javlja kod potresne kombinacije koja kombinira djelovanje potresa i prometnog opterećenja. Navedena kombinacija je zbog najvećih aktivnih sila i ona koja ima najveću iskoristivost kao i najveću vrijednost naprezanja između tla i temelja, te kao takva će biti mjerodavna za dimenzioniranje obalne konstrukcije. Najpovoljnija situacija koja se može ostvariti je stalna i prolazna kombinacija pri kojoj djeluje sila vala i sila rezidualne vode, pri čemu je ostvaren najveći faktor sigurnosti uslijed male razlike u tlaku od rezidualne vode.

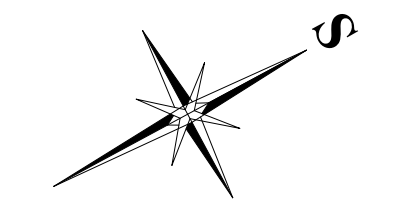
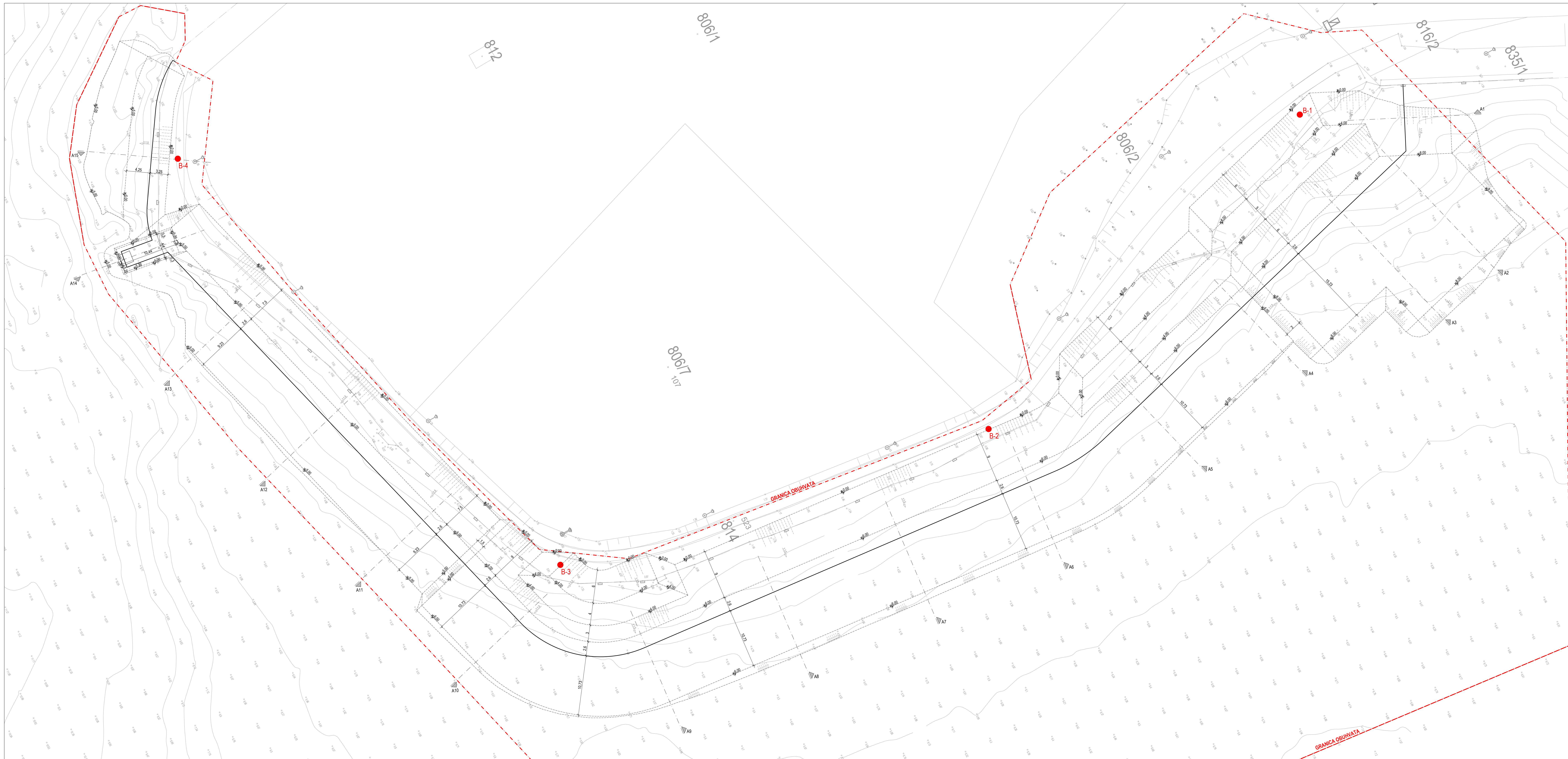
Prilikom proračuna analize stabilnosti nasipa, korišteni su isti parametri tla kao i kod analize stabilnosti s iznimkom da se prilikom proračuna potresne kombinacije koristila fiktivna vrijednost kohezije za kameni nasip i školjeru. Promatrajući posmični lom kroz tlo, analizirano je više nepovoljnih kombinacija, među kojima je potresna kombinacija bila vodeća, a ujedno i mjerodavna za projektiranje. Zaključno, u radu su optimizacijom prema Bishopu prikazane sve moguće iteracije nastanka klizne plohe za maksimalno naprezanje koje se ostvaruje pri potresnoj kombinaciji. Maksimalna iskoristivost koja je ostvarena putem proračuna iznosila je 90 %, čime je dokazano da se za navedenu maksimalnu kombinaciju u smislu ostvarenja klizne plohe, nalazimo na strani sigurnosti.

## **6. NACRTI**

**6.1. Situacija – MJ 1:250**

**6.2. Karakteristični poprečni presjek obalne kosntrukcije**



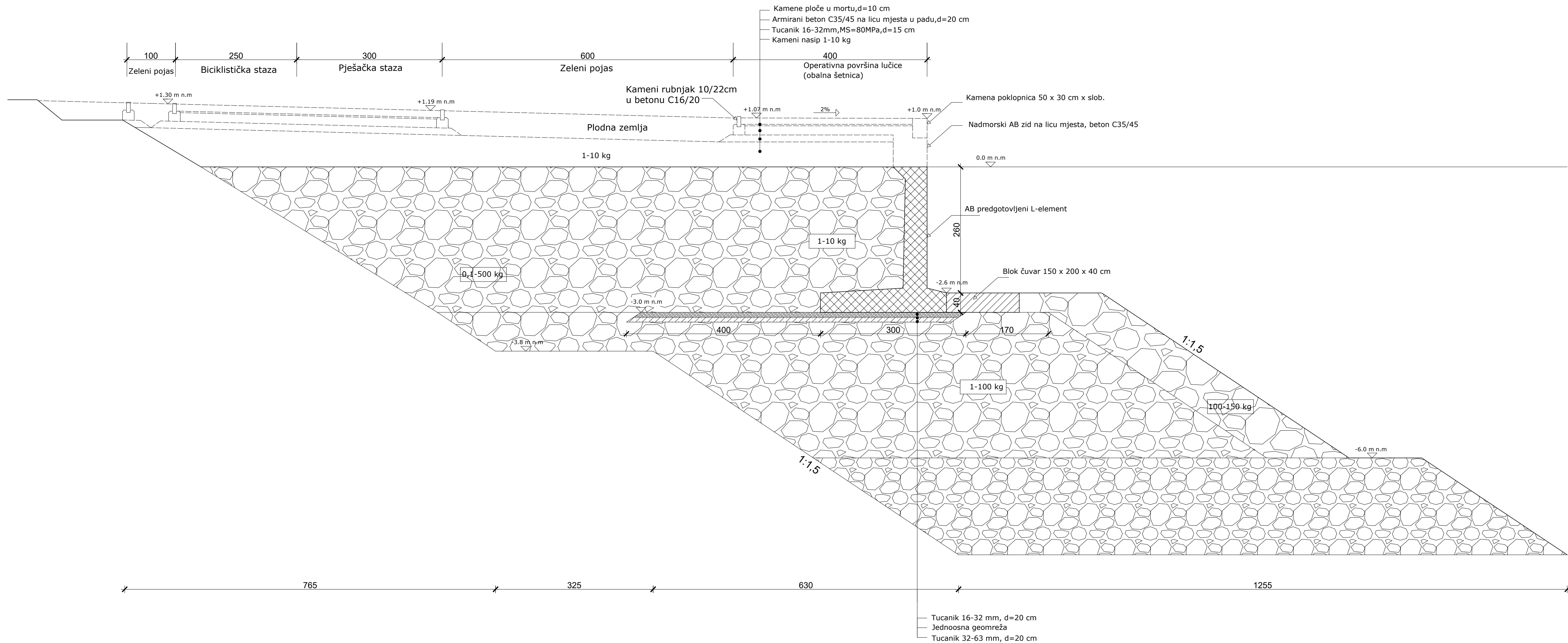


TLOCRT PODMORSKIH ISKOPA  
M.J. 1:250

**NAPOMENE:**  
 - NACRT JE U HORIZONTALNOM POLUŽANOM I HORIZONTALNOM SUSTAVU  
 - NACRT JE BAZIRAN NA SLUŽBENOJ GEODETSKOJ PODLOZI INVESTITORA  
 - NIJE DANA DIMENZJA NE SMIJE BITI OČMEREVA SA NACRTA ISPISANOG NA PAPIRU  
 - GEOTEHNIŠKI PODACI DOSTAVLJENI SU OD STRANE INVESTITORA

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|   | Broj projekta:<br><b>1282/23</b>   | Strukovna odrednica:<br>Z.O.P.  | GRAĐEVNSKI PROJEKT<br>GLAVNI PROJEKT<br>10/23-OB |
|   | Investitor:<br><b>GRAD PLOČE</b><br>Trg kralja Tomislava 23, 20340 Ploče |   |  |
| Naziv i lokacija zahvata:<br><b>UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET MALA POŠTA U PLOČAMA - 1.FAZA</b>                      |  |   |  |
| Redni broj, oznaka i naziv mape (projektirani dio):<br><b>MAPA 11 - GRAĐEVNSKI PROJEKT PODMORSKOG DIELA OBALNIH GRAĐEVINA</b> |  |   |  |
| Sadržaj:<br><b>TLOCRT PODMORSKIH ISKOPA</b>   |  |   |  |
| Projektant:<br>dr.sc. <b>GORAN VEGO</b> , dipl.ing.grad.  |  | dr.sc. <b>Goran Vego</b><br>dipl.ing.grad.<br>Ovlašteni inženjer građevinarstva<br>G 4124 |  |
| Projektirni tim:<br>mr.sc. <b>ŽELJAN PERNAT</b> , dipl.ing.grad.<br><b>MARKO BILANČIĆ</b> , mag.ing.aedif.                    |  | Datum:<br><b>listopad 2023.</b><br>Mjerilo:<br><b>1 : 250</b><br>List br.:<br><b>3.</b>   |  |





- Kamene ploče u mortu, d=10 cm
- Armirani beton C35/45 na licu mjesta u padu, d=20 cm
- Tucanik 16-32mm, MS=80MPa, d=15 cm
- Kameni nasip 1-10 kg

100 Zeleni pojas    250 Biciklistička staza    300 Pješačka staza    600 Zeleni pojas    400 Operativna površina lučice (obalna šetnica)

Kameni rubnjak 10/22cm u betonu C16/20

Plodna zemlja  
1-10 kg

Kamena poklopica 50 x 30 cm x slob.  
Nadmorski AB zid na licu mjesta, beton C35/45

AB predgotovljeni L-element

Blok čuvar 150 x 200 x 40 cm

1-10 kg

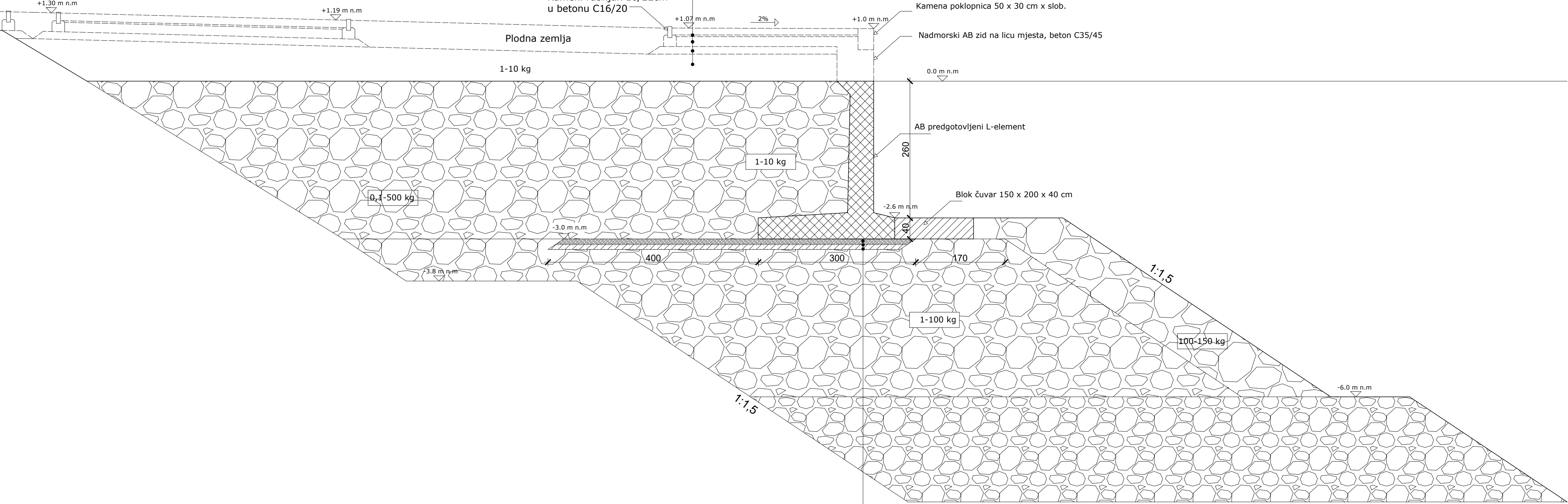
0,1-500 kg

1-100 kg

100-150 kg

- Tucanik 16-32 mm, d=20 cm
- Jednoosna geomreža
- Tucanik 32-63 mm, d=20 cm

765    325    630    1255





## 7. LITERATURA

[1] Predrag Mišćević, Nataša Štambuk Cvitanović, Goran Vlastelica (2020.). Dimenzioniranje gravitacijskih potpornih zidova. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.

[2] Vlasta Szavits – Nossan. (2015.) Mehanika tla i stijena: predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

[3] Tehnički standardi i komentari za lučke objekte u Japanu, 2009. Lučki ured, Ministarstvo zemlje, infrastrukture, prometa i turizma; Nacionalni institut za upravljanje zemljištem i infrastrukturom, Institut za istraživanje luka i zračnih luka. Izdavač: Japanski institut za razvoj prekomorskih obalnih područja