

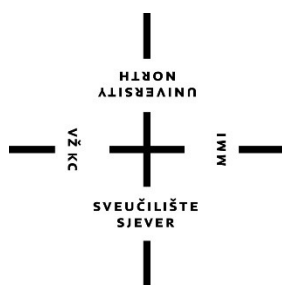
**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 328/GR/2018

POTPORNE KONSTRUKCIJE: Proračun gabionskog zida

Martin Gregurović, 1054/336

Varaždin, rujan 2018. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 328/GR/2018

Potporne konstrukcije: Proračun gabionskog zida

Student

Martin Gregurović, 1054/336

Mentor

Dr.sc. Matija Orešković, dipl.ing.građ.

Varaždin, rujan 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Martin Gregurović	MATIČNI BROJ	1054/336
DATUM	12.06.2018.	KOLEGIJ	Geotehnika
NASLOV RADA	POTPORNE KONSTRUKCIJE, PRORAČUN GABIONSKOG ZIDA		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	RETAINING STRUCTURES, Design of gabion wall		
MENTOR	Dr.sc. Matija Orešković, dipl.ing.građ.	ZVANJE	Viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Aleksej Aniskin, viši predavač		
	2. Dr.sc. Matija Orešković, viši predavač		
	3. prof.dr.sc. Božo Soldo		
	4. Željko Kos, predavač		
	5. _____		

VŽKC

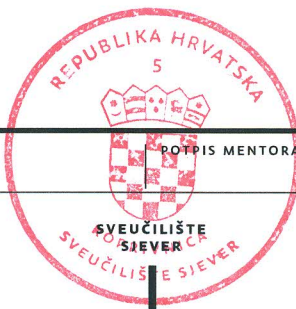
MMI

Zadatak završnog rada

BROJ	328/GR/2018
OPIS	U Završnom radu potrebno je provesti proračun gabionskog zida na realnom primjeru. Također je potrebno obraditi temu potpornih konstrukcija, njihovu namjenu, podjelu te osnove proračuna. Primjer proračuna zida obraditi detaljno uz nacрте.
Rad se sastoji od:	
1. Uvod	
2. Potporne konstrukcije, općenito	
3. Djelovanja na potporne konstrukcije	
5. Osnove proračuna po Eurokodu 7	
6. Proračun gabionskog zida	
5. Zaključak	
6. Literatura	
Popis slika	
Popis tablica	
Prilozi	

ZADATAK URUČEN

06.07.2018.



POTPIS MENTORA

Predgovor

Ovim putem želio bih se zahvaliti prof.dr.sc. Matiji Oreškoviću, koji mi je uvelike pomogao u izradi ovog završnog rada. Njegov način predavanja i stručnost na kolegiju Geotehnika, potakli su me da izaberem temu završnog rada baš iz spomenutog kolegija. Tijekom izrade završnog rada uvijek je izlazio u susret i bio spreman pomoći.

Najveću zahvalnost dugujem svojim roditeljima, koji su mi omogućili studiranje i bili velika podrška u teškim trenucima studija. Vjerovali su u mene kad nitko drugi nije i bez njih danas ne bih bio ovdje.

Hvala Vam!

Sažetak

Ovaj završni rad bazira se na kolegiju Geotehnika, cilj samog završnog rada je objasniti svrhu, podjelu i proračun potpornih konstrukcija. Na samom uvodu čitatelj može pronaći osnovne informacije o potpornim konstrukcijama, te su opisani načini i tehnologija gradnje potpornih konstrukcija. Sljedeće poglavlje ovoga završnog rada bazirano je na silama koje djeluju na potpornu konstrukciju. Detaljno je opisan način na koji je Charles-Augustin de Coulomb došao do formula za aktivni tlak i pasivni otpor.

Glavni dio, odnosno cilj ovoga završnoga rada je proračun potporne konstrukcije. Vrsta potporne konstrukcije, koja se proračunava je gabionski zid. Proračun se vrši pomoću Eurokoda 7, u kojem su detaljno objašnjene formule i metode kojima se proračunava.

Ključne riječi: potporna konstrukcija, aktivni tlak, pasivni otpor, gabionski zid, Eurokod 7

Summary

This thesis is based on subject Geotechnical Engineering, its goal being to explain the purpose, classification and calculus of supporting structures. In the first paragraph reader can learn about the basics of supporting structures combined with the ways and technologies of how they are built. The next section is based on the forces which have their effect on supporting structures. It is described in detail how Charles-Augustin de Coulomb discovered formuli for active pressure and passive resistance.

The main part of this thesis is the actual calculus of a supporting structure. The one that will be mentioned and calculated in this particular case is the gabion wall. The calculus is being done with the assistance of Eurocode 7, which contains detailed formuli and methods for its computing.

Key words: *supporting structure, active pressure, passive resistance, gabion wall, Eurocode 7*

Popis korištenih kratica

P_a	Aktivni tlak
k_a	Koeficijent aktivnog tlaka
P_p	Pasivni otpor
k_p	Koeficijent pasivnog otpora
q_p	Prometno opterećenje
α	Otklon osnovice od vodoravne crte
γ	Obujamska težina
δ	Kut trenja na spojnoj površini konstrukcije i temeljnoga tla
u	Porni tlak
H	Visina
σ_v	Vertikalno naprezanje
σ'_v	Efektivno naprezanje
σ_a	Totalno naprezanje
F_s	Faktor sigurnosti
N	Vertikalna sila
T	Horizontalna sila
c	Kohezija
L	Dužina
W	Težina
k	Krak
A	Površina
$E_{dst;d}$	Proračunska vrijednost učinka destabilizirajućih djelovanja
$E_{stb;d}$	Proračunska vrijednost učinka stabilizirajućih djelovanja
$\gamma_{G;dst}$	Parcijalni koeficijent za stalno destabilizirajuće djelovanje
$\gamma_{G;stb}$	Parcijalni koeficijent za stalno stabilizirajuće djelovanje
$\gamma_{Q;dst}$	Parcijalni koeficijent za destabilizirajuće djelovanje koje dovodi do hidrauličkog sloma
$\gamma_{Q;stb}$	Parcijalni koeficijent za stabilizirajuće djelovanje protiv hidrauličkog sloma
γ'_c	Parcijalni koeficijent za efektivnu koheziju
γ_γ	Parcijalni koeficijent za obujamsku težinu
$\gamma_{\phi'}$	Parcijalni koeficijent za kut unutarnjeg trenja
γ_{cu}	Parcijalni koeficijent za nedreniranu posmičnu čvrstoću
PP1	Projektni pristup jedan
PP2	Projektni pristup dva
PP3	Projektni pristup tri
GNS	Granično stanje nosivosti
GSU	Granično stanje uporabljivosti

Sadržaj

1. UVOD.....	1 str.
2. POTPORNE KONSTRUKCIJE, OPĆENITO.....	2 str.
2.1. Podjela potpornih konstrukcija.....	2-6 str.
3. DJELOVANJA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE.....	7-8 str.
3.1. Aktivni tlak zasipa i tla iza zida.....	8 str.
3.1.1. Metode određivanja aktivnog tlaka.....	8-10 str.
3.2. Pasivni otpor tla ispred stope temelja.....	11-12 str.
4. OSNOVE PRORAČUNA PO EUROKODU 7.....	13 str.
4.1. Općenito o eurokod-u.....	13 str.
4.2. Eurokod 7 (EN 1997): Geotehničko projektiranje.....	14 str.
4.3. Projektiranje prema EN 1997-1.....	15 str.
4.3.1. Granična stanja.....	15-19 str.
4.3.2. Četiri načina projektiranja.....	20 str.
4.3.3. Tri projektna pristupa.....	20-24 str.
5. PRORAČUN GABIONSKOG ZIDA.....	25-54 str.
6. ZAKLJUČAK.....	55 str.
7. LITERATURA.....	56 str.

Popis slika

Popis tablica

1. UVOD

Potporne građevine su stare koliko i graditeljstvo. Građene po iskustvu, neke su trajale duže, a neke su nestale u povijesti. Suhozidi su potporne građevine kojima obiluje mediteranska obala, te ujedno predstavljaju spomenik ljudskoj upornosti da se sačuva ono malo plodne zemlje i prehrani stanovništvo. Građeni bez veziva, potpuno propusni za vodu, odolijevaju stoljećima i vrše zadanu ulogu. Obrambeni zidovi oko gradova i naselja drugi su vid spomenika ovim građevinama, koje se još i danas može naći svugdje po svijetu od Dubrovnika i Stona u Hrvatskoj do Velikog zida u Kini.

U ovom radu biti će opisana podjela potpornih konstrukcija, a glavna usredotočenost na silama koje djeluju na potpornu konstrukciju i normama. Prije svega da bi se uopće krenulo u razrađivanje potpornog zida, potrebno je poznavati svojstva, kako gradiva od kojeg se potporna konstrukcija izvodi, tako i tvari (pretežito tla, ali i vode ili neke druge) koja na nju vrši opterećenje ili joj se odupire. I najsloženiji numerički modeli počivaju na ispravnom odabiru parametra tla, a što ostaje i dalje najsloženiji dio posla za geotehničkog inženjera. Glavnu ulogu oko sila koje djeluju na potpornu konstrukciju ima francuski inženjer Charles-Augustin de Coulomb. On je 1773. razradio teoriju bočnog pritiska na potporni zid, odnosno izučavao bočni pritisak na zid u slučaju kada se on pomiče u odnosu na tlo. Coulomb-ovo grafičko rješenje i Culmann-ov poligon sila, koriste se i danas kao brza grafička metoda za pronalaženje najmanje i najveće bočne sile, koja djeluje kao rezultanta pritiska na potporni zid.

Danas u svijetu, pa tako i Europi postoji želja za normiranjem odnosno standardiziranjem, pa možemo reći da je Eurokod nastao kao ljudska želja i potreba za osnovama proračuna, koji se primjenjuju u građevinarstvu. Također, glavna uloga Eurokoda je u tome da jasno definira pravila, formule i postupke za rješavanjem problema sa kojima se inženjeri svakodnevno susreću u raznim granama graditeljstva. Treba napomenuti da je glavna smisao Eurokoda u tome da se u svakoj državi Europe, pa tako i svijeta, koristi identičan način proračuna. U daljnjem nastavku ovoga rada biti će opisan Eurokod 7 (EN 1997-1): Geotehničko projektiranje.

U zadnjem poglavlju ovog završnog rada biti će proveden postupak proračuna realnog gabionskog zida, što je ujedno i cilj ovog završnog rada.

2. POTPORNE KONSTRUKCIJE, OPĆENITO

Potporne konstrukcije služe za osiguranje stabilnosti pri naglim promjenama visine u tlu. Prirodna promjena visine terena proizlazi iz mogućeg stabilnog nagiba određene padine. Ukoliko je potrebno promjenu visine izvesti na kratkom potezu, koji bi zahtijevao nagib površine terena strmiji od onoga koji može stabilno, trajno stajati bez potpore, potrebno je predvidjeti potpornu građevinu. Takve građevine mogu biti trajne ili privremene. Ako su privremene, za trajno rješenje mora postojati neka druga građevina koja će preuzeti pritiske onog dijela tla koji nije stabilan. Privremene potporne građevine sastavni su dio velikih građevnih jama.

Potporne građevine se primjenjuju prilikom izgradnje infrastrukturnih građevina u velikim gradovima. To se naročito odnosi na prostor za podzemnu željeznicu, ali sve više i za podzemna parkirališta, trgovačke centre, razna skladišta i slično. U gusto izgrađenim gradskim jezgrama potporne građevine dolaze do punog izražaja.

Potporne građevine preuzimaju opterećenja od tla, vode ili nekog drugog materijala koji se nalazi u njenom zaleđu i na nju se oslanja. Najčešće je to tlo, prirodno ili nasuto, voda ili neka druga tvar koju građevina pridržava. Kad god je to moguće nastoji se potpornu građevinu ne opteretiti hidrostatičkim tlakom, jer on uzrokuje veliko vodoravno opterećenje.

Da bi se moglo projektirati i izvoditi složene geotehničke građevine, kao što su potporne građevine, potrebno je prethodno upoznati njihove pojedinačne sastavne dijelove.

2.1. Podjela potpornih konstrukcija

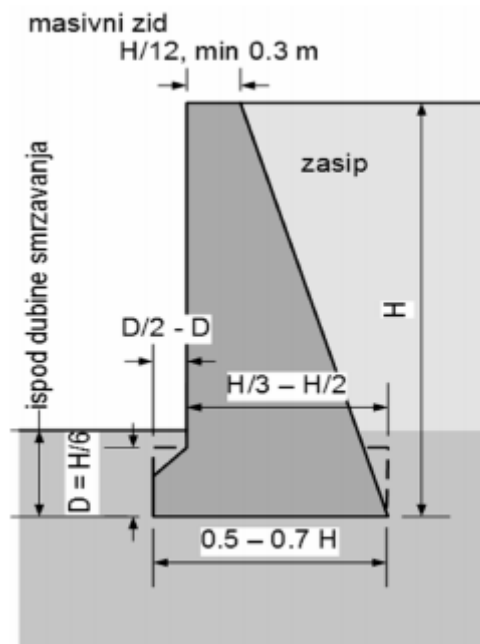
Potporne konstrukcije dijelimo u dvije široke skupine čija je jedina razlika u načinu njihove izgradnje. Osnovna podjela potpornih konstrukcija prema načinu njihove izgradnje je:

- zasipne potporne konstrukcije
- ugrađene potporne konstrukcije

Zasipne potporne konstrukcije

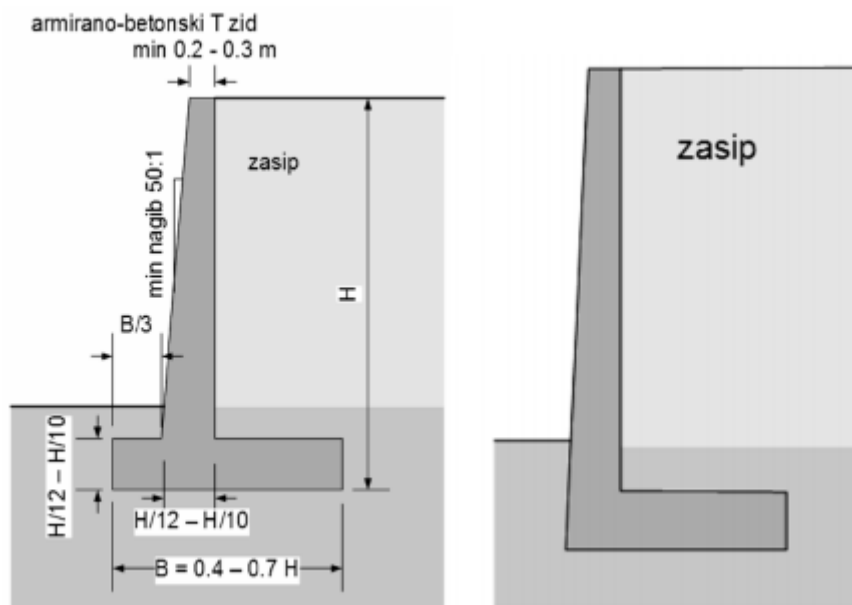
U zasipne potporne konstrukcije spada masivni potporni ili gravitacijski zid, armirano-betonski L i T zidovi, razni tipovi montažnih zidova, gabioni i konstrukcije od armiranog tla. Za izgradnju ovih zidova potrebno je osloboditi prostor na kojima se oni mogu nesmetano graditi, da bi se nakon završetka gradnje prostor iza zida zasipao nekim pogodnim ili priručnim zemljanim materijalom.

Gravitacijski masivni zid najjednostavnija je vrsta zida. Ime je dobio prema uzroku njegove stabilnosti, a to je težina samog zida. Nekad su se takvi zidovi izvodili iz kamena ili opeke, ali danas obično iz ne armiranog betona.



Slika 1: Masivni betonski zid

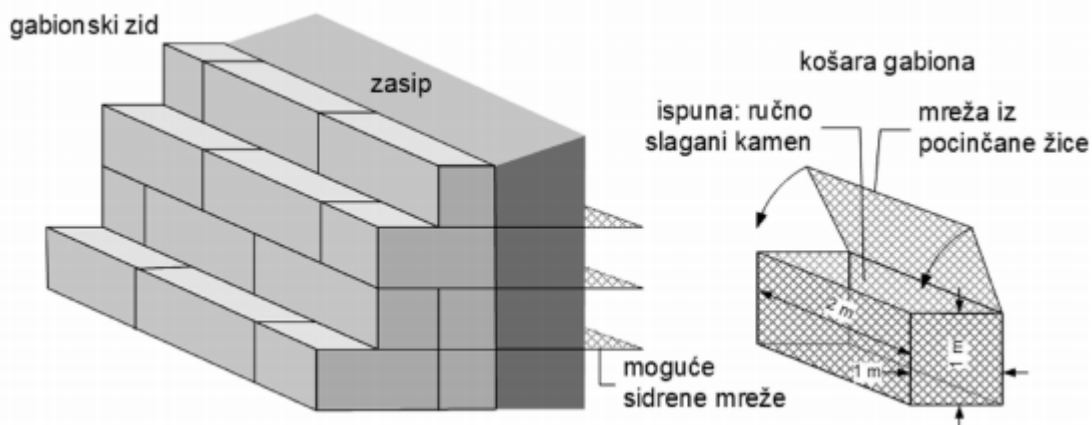
Armirano- betonski T i L zidovi su lakši i za njih je potrebno mnogo manje betona nego za masivni zid. Stabilnost zida se postiže oblikovanjem samog zida kao i težinom tla koja pritišće stopu u pozadini zida.



Slika 2: Armirano- betonski T i L zid

Posebnu vrstu gravitacijskih zidova čine često korišteni gravitacijski gabionski zidovi. Oni se izgrađuju slaganjem gabiona, obično dimenzija 1x1x2 m, izgrađeni od pletenih mreža pocinčane, a ponekad i plastičnim premazom zaštićene čelične žice. Košara se iz pred gotovljenim elemenata slaže na licu mjesta, te puni odgovarajućim lomljenim ili priručnim kamenom. Zid je vrlo pogodan jer osigurava dobro dreniranje tla iza zida, a njegova podatljivost omogućuje primjenu u tlima nejednolikih krutosti koja mogu izazivati probleme krutim zidovima. Nepovoljna im je strana što

punjenje kamenom zahtjeva puno ručnog rada koji danas postaje sve skuplji. Upitna strana ovakvih zidova je i njihova trajnost. Iz tog razloga korištena čelična žica mora biti što bolje zaštićena kako s vremenom ne bi korodirala, a zid izgubio svoju stabilnost.



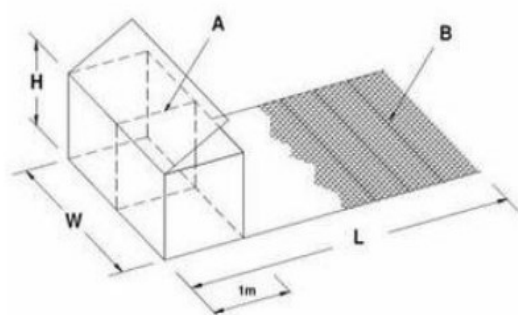
Slika 3: Gabionski zid

Gabionske zidove prema imenima proizvođača dijelimo na:

- TERRAMESH gabioni (sustav)
- MACCAFERI gabioni

TERRAMESH sustav je kombinacija gabiona i horizontalno postavljenih mreža (vlačnih elemenata) za „armiranje tla“. To su gabioni čija se donja mreža produžuje kao zatega. Kod ugradnje takvih gabiona mora se istovremeno sa punjenjem gabiona na čelu zida zasipavati i mreže zatega, nasipani materijal koji se zasipava na mreže treba zbiti valjanjem ili vibriranjem.

H – visina, W – dužina, A – pregrada, B – mreža zatega, L – dužina mreže

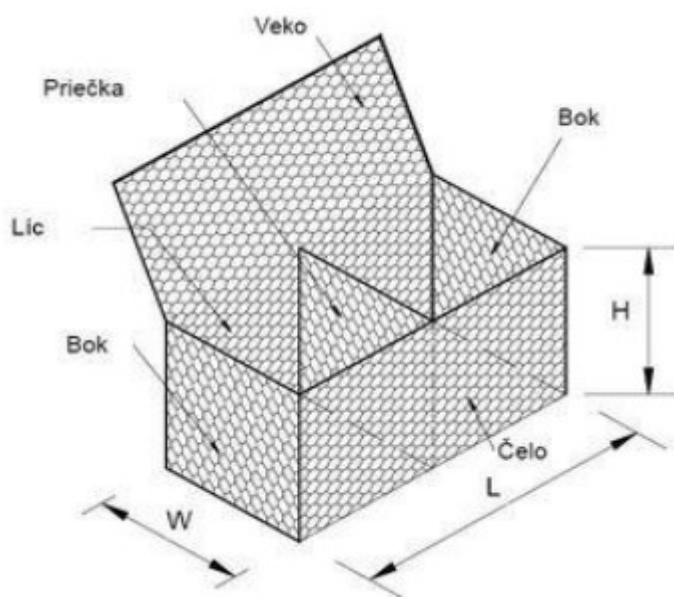


Slika 4: Terramesh sustav

W=dužina(m)	Širina(m)	H=visina(m)
3	1	0.5
4	1	0.5
5	1	0.5
6	1	0.5
3	1	1
4	1	1
5	1	1
6	1	1

Tablica 1: Prikaz dimenzija za sustav

MACCAFERI gabioni je vrsta gabiona kod kojih je košara podijeljena u ćelije pomoću pregrade, koje se nalaze na razmaku od svakih jedan metar. Izgrađuju se u velikom rasponu standardnih veličina.



Slika 5: Maccaferi gabion

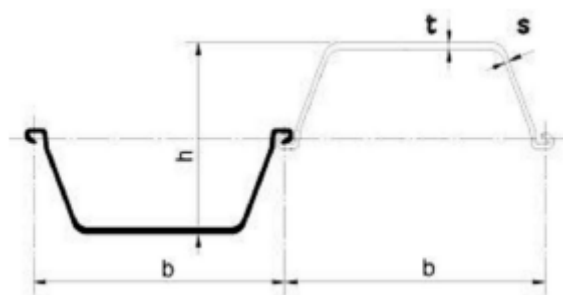
L dužina(m)	W širina(m)	H visina(m)	Broj ćelija
2	1	0.5	2
3	1	0.5	3
4	1	0.5	4
1.5	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	1	4

Tablica 2: Prikaz dimenzija

Ugrađene potporne konstrukcije

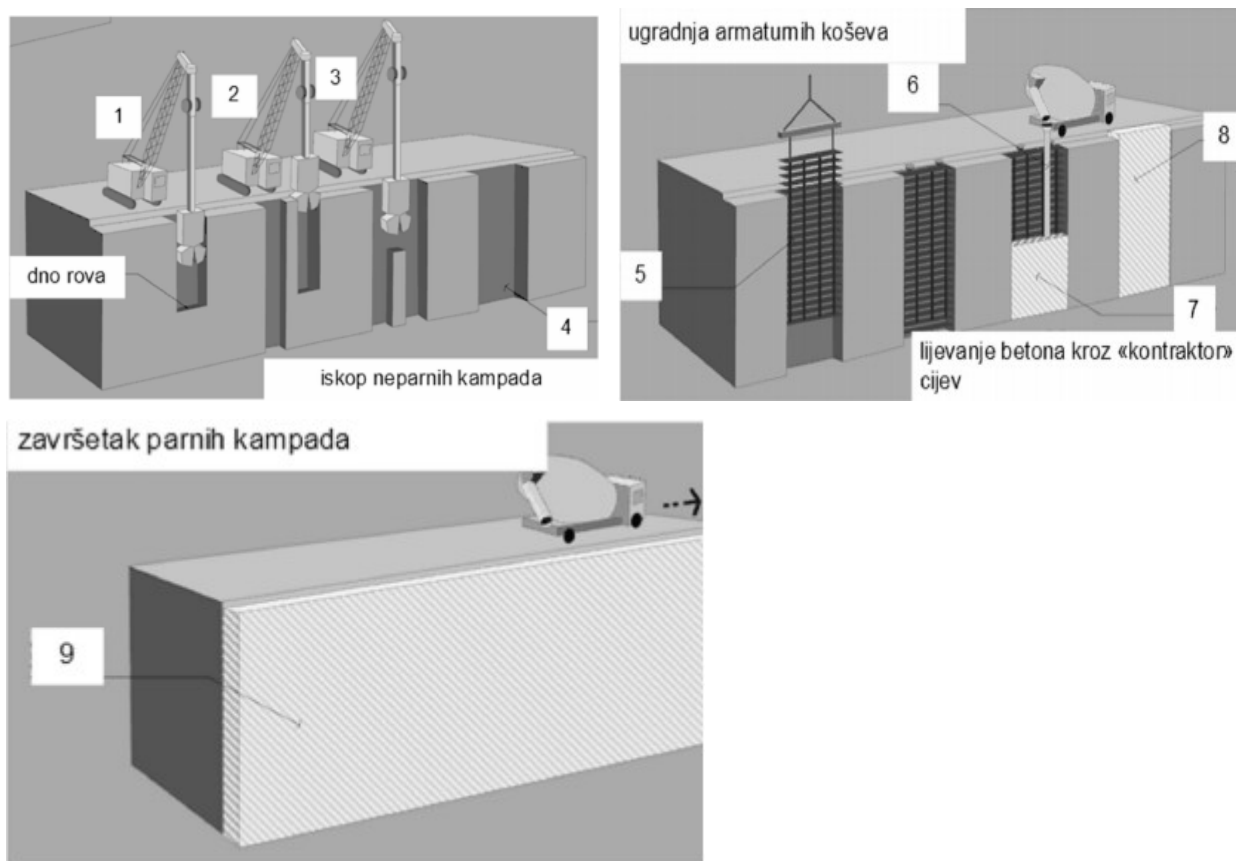
Karakteristika ugrađenih potpornih konstrukcija je da za njihovu izgradnju ne treba prvo iskopati tlo, a kasnije ga zatrpati iza gotovog zida, već se one posebnim tehnologijama izvode neposredno u tlo. Takve konstrukcije se mogu izvoditi i u okolnostima koje su nepovoljne za gravitacijske zidove, na primjer u neposrednoj blizini postojećih zgrada ili za izvedbu u vodi i slično. Ugrađene potporne konstrukcije obično se grade tako da se pred gotovljeni elementi zabijaju u tlo posebnim strojevima ili se izvode opet posebnim strojevima, rovovi u koje se ugrađuje prvo armatura, a zatim se lijeva svježi beton. U prvu grupu spadaju stijene od zbijenih čeličnih talpi, a u drugu armirano-betonske dijafragme i pilotne stijene. Pred gotovljeni elementi mogu biti armirano-betonske ili čelične talpe. Danas se češće koriste čelične talpe, u mekanim tlima i izvan urbanističkih naselja zbog velikih vibracija.

Čelične talpe su posebni dugački i uski čelični elementi izrađeni od valjanog čelika, koji su na svojim rubovima posebno oblikovani kako bi omogućili spajanje niza takvih elemenata u zidove. Ovi posebno oblikovani rubovi talpi nazivaju se bravice. Prednost čeličnih talpi posebno dolazi do izražaja pri izvedbi privremenih zaštitnih građevnih jama. Naime kad se jama konačno izvede, a u njoj buduća građevina, čelične se talpe mogu izvaditi za kasnije ponovno korištenje. Čelične talpe mogu se varenjem produživati na licu mjesta, pa je moguće izvođenje i vrlo dubokih potpornih konstrukcija.



Slika 6: Čelične talpe

U ovu skupinu spadaju i sidrene armirano-betonske dijafragme. One se izvode na način da se izvodi poseban rov u kampadama, koji će poslije služiti kao oplata armirano-betonskoj konstrukciji stijene. Širina rova će uvjetovati debljinu buduće stijene. Uobičajene debljine su oko 0,5 i 1,2 m. Stroj za izvedbu rova ima posebnu grabalicu koja je stabilno vođena, kako bi se osigurala ravnina buduće stijene. Da se rov tijekom izvedbe ne bi urušio, iskop se radi pod isplakom od betonita. Kod dodataka obično se dodaje visoko plastična glina (bentonit), koji na stijenci rova stvara tanki slabo propusni sloj. Ova mješavina vode i bentonita s mogućim drugim dodacima naziva se „isplakom“.

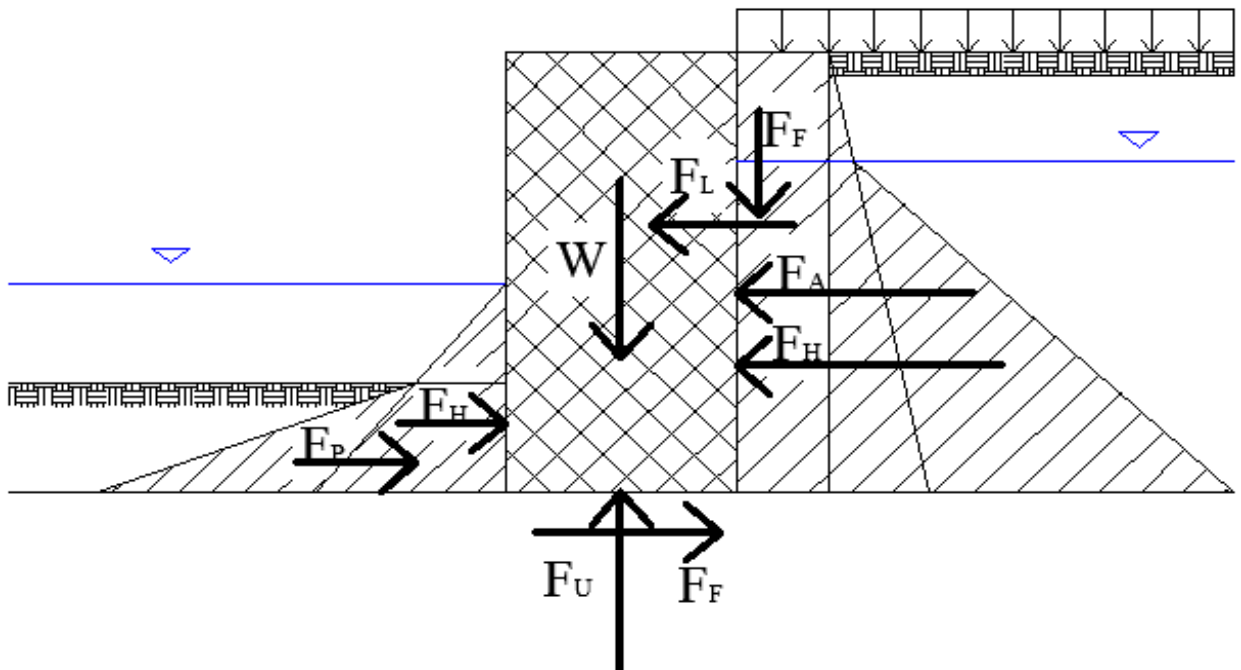


Slika 7: Prikaz izvedbe armirano-betonske dijafragme

3. DJELOVANJA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE

Sile koje djeluju na potpornu konstrukciju, su slijedeće:

- vlastita težina zida (W)
- aktivni tlak zasipa i tla iza zida (F_A)
- hidrostatski tlak (F_H)
- hidro-dinamičke sile (F_U)
- pasivni otpor tla ispred stope temelja (F_P)
- reakcija tla na razini temelja (F_F)
- seizmički inducirane sile (F_L)



Slika 8: Djelovanja na potpornu konstrukciju

Vlastita težina zida se dobiva kao volumen zida pomnožen sa zapreminskom masom materijala od kojega je zid napravljen. Za zid na suhom i za zidove u dreniranom tlu računamo težinu bez uzgona. Kada je zid djelomično ili potpuno, trajno ili privremeno uronjen u vodu, mora se uzeti i učinak uzgona na najnepovoljniji dio zidnog presjeka.

Hidrostatski tlak i hidro-dinamičke sile- kada je razina podzemne vode iznad stope zida, djeluje na njega hidrostatski tlak punim intenzitetom do visine vode ako nema drena. Hidrostatski tlak znatno je veći od razlike između aktivnog tlaka vlažnog i uronjenog materijala. Kada je materijal iza zida malo propustan, može razina podzemne vode biti privremeno ili trajno u području aktivnog klina. Tada na kliznu plohu djeluje još i hidrostatski pred tlak. Tu silu treba uzeti u obzir kod poligona sila, kada se određuje aktivni tlak. Hidrostatski tlak i hidrodinamičke sile povećavaju aktivni tlak na zid i zahtijevaju jače konstrukcije. Zato se u praksi nastoji ukloniti njihovo djelovanje različitim drenažnim sustavima.

3.1. Aktivni tlak zasipa i tla iza zida

Parametre čvrstoće za računanje aktivnog tlaka i otpora tla određujemo iz rezultata ispitivanja uzoraka u laboratoriju. Aktivni tlak je svako opterećenje koje vrši pritisak na zid i nastoji ga pomaknuti, odnosno urušiti.

Potporne konstrukcije su najčešće od materijala koji imaju hrapavu površinu, te se na kontaktu sa tlom ostvaruje određeno trenje ($\delta \neq 0$). Stoga aktivni pritisak ne djeluje normalno na površinu zida, već pod nekim kutom δ u odnosu na normalu na zid i predstavlja odnos između napona trenja i normalnih napona na zid. Za ovakve slučajeve sila aktivnog tlaka znatno je manja od one koja se dobije po Rankine-ovom metodom. Zbog postojanja trenja između zida i tla se ne primjenjuje Rankine-ovo rješenje.

Intenzitet aktivnog tlaka ovisi o više faktora, u koje se kao najvažnije ubrajaju: fizičko-mehaničke osobine tla, visine zida, stanje podzemne vode i vlažnosti tla, intenzitet i vrsta vanjskog opterećenja, vrsta konstrukcije zida, hrapavost unutrašnjih površina zida.

Oblik klizne površine može biti i zakrivljen što ovisi o načinu pomaka zida, ali su analize pokazale da nije velika greška ako se linija klizanja kod aktivnog tlaka aproksimira ravnom.

3.1.1. Metode određivanja aktivnog tlaka

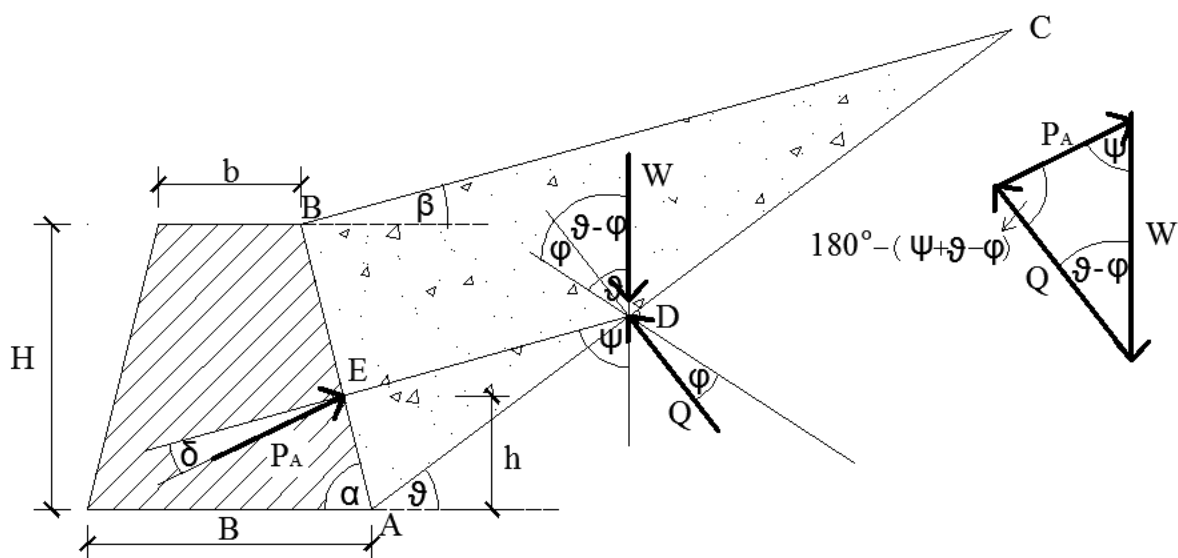
Postoji više analitičkih i grafičkih metoda za određivanje aktivnog tlaka tla sa kohezijom i bez nje, te za razne slučajeve potpornih konstrukcija i opterećenja. U daljnjem odlomku će se razraditi metoda koja ima najviše praktičnog značaja i primjenjiva je za više raznih slučajeva, koji se pojavljuju u inženjerskoj praksi.

Coulomb-ova teorija

Francuski inženjer Coulomb je već 1776. godine objavio teoriju aktivnog tlaka na potporne konstrukcije i dao rješenje za proračun tlaka i otpora tla pri aktivnom i pasivnom stanju sloma. Prvo je promatrao nekoherentno tlo koje je poduprto zidom i u jednom trenutku ga uklonio, pri čemu je materijal skliznuo po nekoj ravnini AC nagnutoj pod kutom ψ (slika 9). Težina W klizne plohe ABC djeluje istovremeno na potpornu konstrukciju AB i na ravninu klizanja AC.

Veličinu aktivnog tlaka Coulomb je odredio pod sljedećim pretpostavkama:

- da je potporna konstrukcija kruta
- da je površina klizanja ravna površina
- da se sve tri djelujuće sile: težina površine klina ABC, aktivni otpor potporne konstrukcije P_A i otpor trenja duž klizne površine Q , sijeku u jednoj točki D , što znači da je poligon sila zatvoren, odnosno da su sve tri sile u stanju ravnoteže (slika 9.)
- da je na kliznim površinama aktivirana puna vrijednost čvrstoće na klizanje
- da se klin tla ABC iza zida ponaša kao kruto tijelo
- da je između niza kliznih površina mjerodavna ona koja daje maksimalnu vrijednost aktivnog tlaka



Slika 9: Određivanje aktivnog tlaka prema Coulomb-ovoj metodi

Daljnje pretpostavke Coulomb-ovog rješenja uključuju poznavanje pravca i hvatišta djelovanja aktivnog tlaka, između klina i zida i smjer reakcije tla (Q). Klin tla ABC iza zida omeđen je

kliznom ravninom (AC), koja prolazi kroz donju točku zida. Točka presjeka svih sila ne mora ležati na kliznoj plohi (D), kako je prikazano na slici 9.

Za izračunavanje aktivnog tlaka Coulomb pretpostavlja da se aktivira maksimalna vrijednost posmične sile na kliznoj površini. Uslijed toga rezultanta otpora trenja (Q) zatvara kut (φ) sa normalom na kliznu ravninu (AC), dok komponenta (P_A) djeluje pod kutom (δ) od normale na unutarnju površinu potporne konstrukcije, koja je posljedica trenja između zida i tla.

Za danu kliznu plohu pod kutom (v), poznatu težinu aktivnog klina (W), te poznate smjerove sile (P_A) i (Q) može se sastaviti poligon sila i grafički odrediti veličine (P_A) i (Q).

Veličinu aktivnog tlaka možemo odrediti na osnovi poznatih kutova, iz poligona sila pomoću sinus-ovog teorema:

$$W:P_A = \sin[180-(\psi+v-\varphi)]: \sin(v-\varphi)$$

i uz činjenicu da je:

$$\sin[180-(\psi+v-\varphi)] = \sin(\psi+v-\varphi)$$

dobivamo analitički izraz za aktivni tlak:

$$P_A = W \frac{\sin(v-\varphi)}{\sin(\psi+v-\varphi)}$$

gdje je: $W = F_{ABC} \cdot \gamma$

Coulomb je izračunao kritičnu kliznu plohu, odnosno njezin nagib v kao mjerodavnu površinu koja daje maksimalnu silu aktivnog tlaka P_{max} , pa je kut v određen iz izraza:

$$\frac{\partial P}{\partial v} = 0$$

Iz ove jednadžbe može se odrediti kut v , kojim se definira kritična klizna ploha. Ako se tako dobivena vrijednost unese u jednadžbu, dobije se izraz za aktivni tlak:

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_A$$

gdje je K_A koeficijent aktivnog tlaka, koji se u literaturi može naći u raznim oblicima, kao na primjer Coulomb-ov izraz:

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

za slučaj $\beta=0$ i $\alpha=90^\circ$ dobije se:

$$k_A = \left[\frac{\cos \varphi}{1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin \varphi}{\cos \delta}}} \right]^2$$

a pri $\delta=0$ dobije se Rankine-ov slučaj, pa koeficijent aktivnog tlaka glasi:

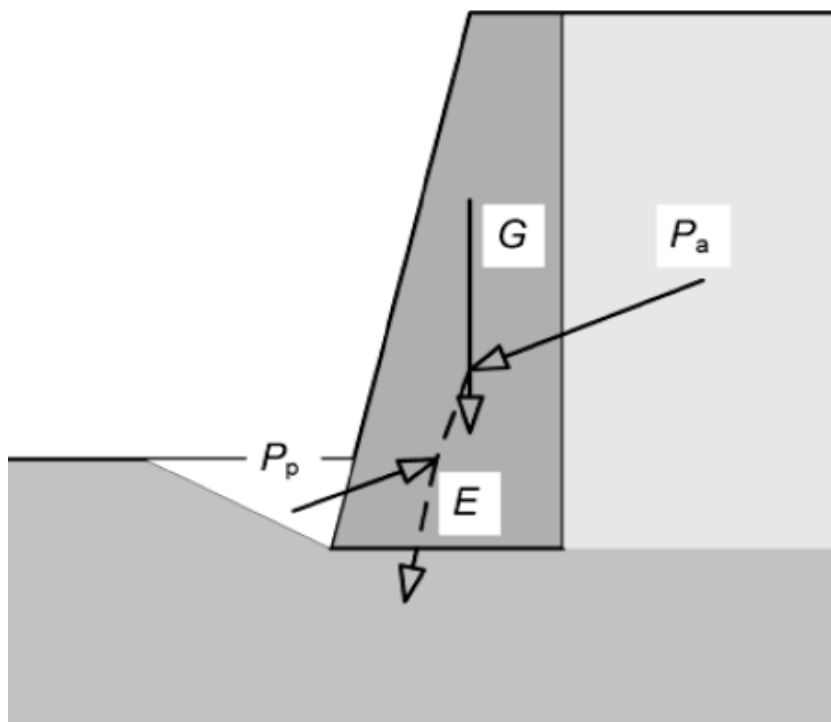
$$k_A = \left[\frac{\cos\varphi}{1 + \sin\varphi} \right]^2 = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

3.2. Pasivni otpor tla ispred stope temelja

Prednja strana potpornih konstrukcija često je ukopana. Pomicanjem zida u toj zoni dolazi obično do povećanja pritiska čija je granična veličina pasivni otpor tla. Aktiviranje pasivnog otpora ispred zida sastavni je dio graničnog stanja klizanja temelja po podlozi, kao i graničnog stanja prevrtanja zida.

Dok je za postizanje aktivnog tlaka potreban relativno mali pomak zida prema nižem terenu, za postizanje pune vrijednosti pasivnog otpora potreban je mnogo veći pomak. Zbog toga se pri dimenzioniranju zida obično pretpostavlja da će se on pomaknuti koliko je potrebno za postizanje aktivnog tlaka, dok se za silu pasivnog otpora uzima njegova reducirana vrijednost u iznosu koji slijedi iz kompatibilnosti s pretpostavljenim pomacima. Pri tome je uobičajeno da se računa s reduciranom veličinom koeficijenta pasivnog otpora u veličini koeficijenta tlaka mirovanja, uvećanog za jednu trećinu do jednu polovinu razlike koeficijenta pasivnog otpora i koeficijenta tlaka mirovanja.

Kao i pri proračunu nosivosti tla ispod temelja zida, treba uzeti u obzir da li će tlo ispred zida uvijek biti prisutno ili će se sa vremenom uklanjati. Ukoliko tlo ispred zida neće biti prisutno tijekom životnog vijeka potpornog zida, nema potrebe za računanjem povoljnog djelovanja pasivnog otpora.



Slika 10: Pasivni otpor ispred zida

Coulomb je svojom teorijom došao do izračuna pasivnog otpora:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

pri čemu je K_p koeficijent pasivnog otpora, koji glasi:

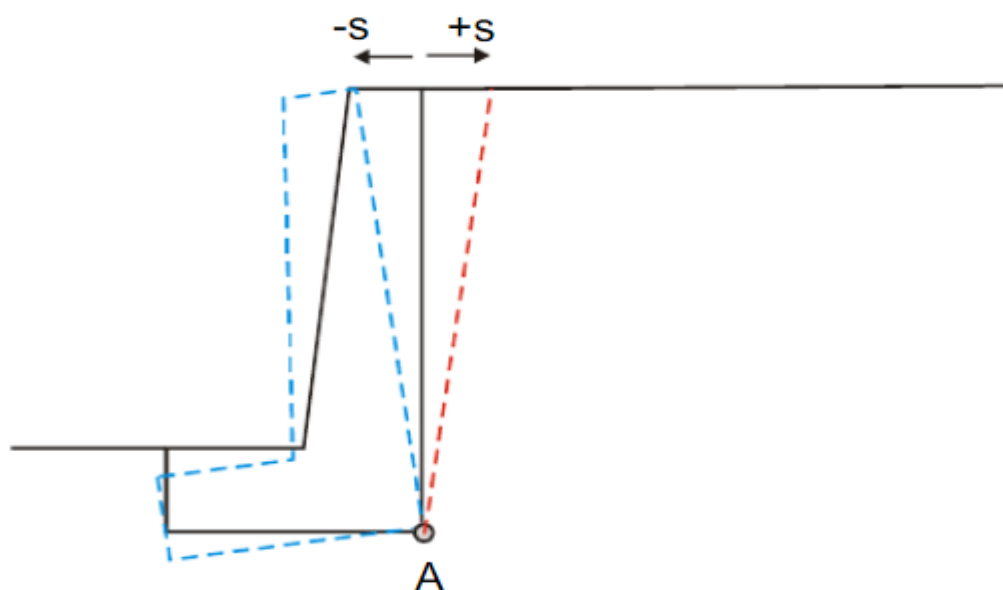
$$k_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Prikaz horizontalnih sila u tlu

Horizontalne sile u tlu ovise o deformaciji tla u horizontalnom smjeru.

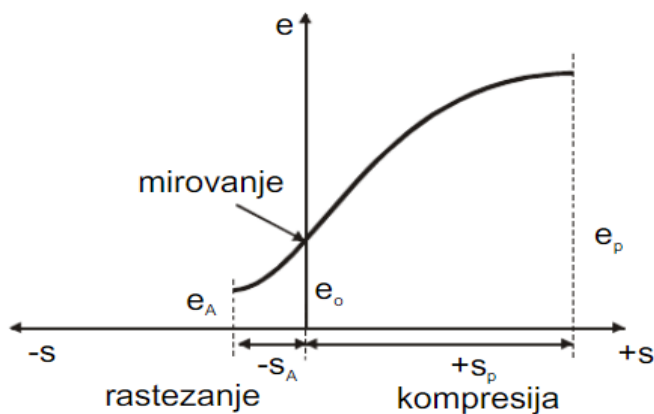
Mirovanje	Tlak mirovanja	$\sigma_h = e_0 = \sigma_v \cdot K_0$
Rastezanje (-s)	Aktivni tlak	$\sigma_h = e_A = \sigma_v \cdot K_A$
Kompresija (+s)	Pasivni otpor	$\sigma_h = e_p = \sigma_v \cdot K_p$

Tablica 3: Horizontalne sile



Slika 11: Prikaz horizontalnih pomaka

Odnos deformacije potrebne da bi se ostvarilo aktivno odnosno pasivno stanje naprezanja u tlu:



Slika 12: Odnos deformacija

4. OSNOVE PRORAČUNA PO EUROKODU 7

4.1. Općenito o eurokod-u

Posljednjih dvadesetak godina u Europi se razvija jedinstven sustav normi za građevinarstvo. Eurokodovi su skup europskih pravila za proračun konstrukcija zgrada i inženjerskih građevina. Primjenom tih pravila ostvaruje se dio projekta građevine kojim se osigurava njezina mehanička otpornost i stabilnost te sigurnost u slučaju požara. Smatraju se najnaprednijim svjetskim pravilima za proračun građevinskih konstrukcija i ujedno su općeprihvaćene norme za privatni sektor u Europi.

Sustav eurokodova čini skup od slijedećih deset normi:

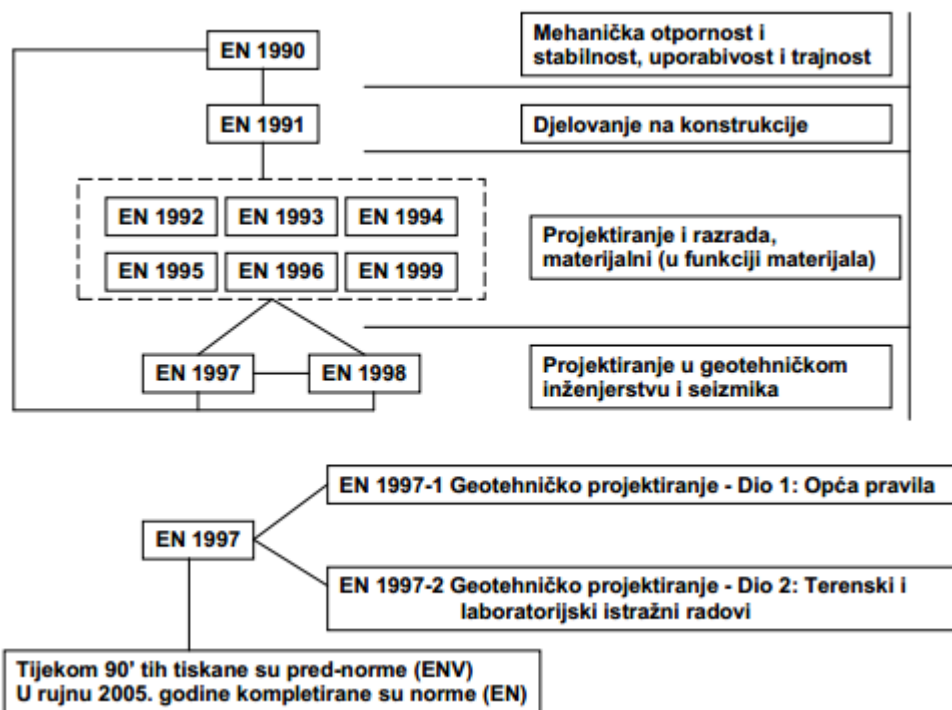
- EN 1990, Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija
- EN 1991, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije
- EN 1992, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija
- EN 1993; Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija
- EN 1994: Eurokod 4: Projektiranje kompozitnih čeličnih i betonskih konstrukcija
- EN 1995: Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija
- EN 1996: Eurokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcija
- **EN 1997: Eurokod 7: Geotehničko projektiranje**
- EN 1998: Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potrese
- EN 1999: Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija

Eurokodovi 2, 3, 4, 5, 6 i 9 su takozvani materijalni eurokodovi relevantni za dijelove konstrukcije iz pojedinih građevinskih materijala, dok su eurokodovi 0, 1, 7 i 8 zajednički za sve konstrukcije.

4.2. Eurokod 7 (EN 1997): Geotehničko projektiranje

Eurokod 7 odnosi se na geotehničko projektiranje i sastoji se iz dva dijela:

1. EN 1997-1 Geotehničko projektiranje- Dio 1: Opća pravila
2. EN 1997-2 Geotehničko projektiranje- Dio 2: Istraživanje i ispitivanje tla



Slika 13: Struktura 10 eurokoda i veza između njih

Eurokod 7 je namijenjen:

- rješavanju svih problema interakcije temeljnih i potpornih konstrukcija s tlom, odnosno stijenom
- odnosi se na sve konstrukcije u građevinarstvu
- definiranju načina proračuna geotehničkog djelovanja na konstrukcije
- proračunavanju otpora tla na vanjska djelovanja od konstrukcije
- davanju pravila pri projektiranju za korištenje u standardnoj inženjerskoj praksi, u svijetu problematike geotehničkog inženjerstva

4.3. Projektiranje prema EN 1997-1

EN 1997 uvodi klasifikaciju od tri geotehničke kategorije kako bi se racionalizirao opseg istražnih radova i složenost postupka dokazivanja stabilnosti i uporabivosti za građevine, bitno različitih stupnjeva složenosti i različitih stupnjeva izloženosti visokom riziku.

Geotehnička kategorija 1: odnosi se na najjednostavnije konstrukcije (npr. temelji jednokatnica, niski zidovi, nasipi i sl.) gdje istražni radovi mogu obuhvaćati najjednostavnije radnje (pregled terena, primjena iskustva sa susjednih objekata i sl.), a dokazi se stabilnosti mogu zamijeniti usporedivim iskustvom.

Geotehnička kategorija 2: obuhvaća rutinske geotehničke zahvate i čini pretežni sadržaj većine geotehničkih projekata

Geotehnička kategorija 3: čine vrlo složeni zahvati i zahvati velikog rizika (npr. temeljenje na mekom tlu, složene građevne jame u blizini postojećih objekata, klizišta, tuneli, visoke nasute brane, nuklearne elektrane i sl.), norma ne daje posebne upute, već traži rigoroznije kriterije i postupke istražnih radova, projektiranja, opažanja i nadziranja pod vodstvom geotehničkog specijalista s odgovarajućim (dokazanim) iskustvom, a normiranje prepušta potrebama.

4.3.1. Granična stanja

Provjera dosezanja graničnih stanja konstrukcija ili njenog dijela počinje izborom odgovarajućih projektnih situacija. Projektna situacija je jedan bitan segment u životu konstrukcije definiran njenim oblikom i smještajem u okolini, pripadnim opterećenjima i utjecajima, te pripadnim svojstvima materijala i ugrađenih produkata. Izbor projektnih situacija treba biti sveobuhvatan tako da ne postoji moguća projektna situacija koja bi bila nepovoljnija po pitanju dosezanja nekog od graničnih stanja od već izabranih situacija. U građevinskom projektu izabrane projektne situacije treba jasno imenovati i opisati. Projektne situacije razvrstavaju se na *trajne*, *prolazne*, *slučajne* i *potresne*. Vrijednosti parcijalnih faktora ovise o tim vrstama projektnih situacija.

Varijable i funkcije	Napomene
Projektne (d), reprezentativne (rep) i karakteristične (k) vrijednosti varijabli (γ - parcijalni faktori, ψ - kombinacijski faktori)	
$F_{d,i} = F_{rep,i} \gamma_{F,i}, \quad F_{rep,i} = \psi_i F_{k,i},$ $X_{d,j} = X_{k,j} / \gamma_{M,j},$ $a_d = a_k \pm \Delta a$	djelovanja (F) svojstva materijala (M) geometrijski podaci (a)
Varijante proračuna projektnih učinaka djelovanja (E_d)	
$E_d = \gamma_E E(\gamma_{F,i} F_{rep,i}; X_{k,j} / \gamma_{M,j}, a_k \pm \Delta a)$ $E_d = E(F_{d,i}; X_{d,j}, a_d), \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad j = 1, 2, 3, \dots$ $E_d = \gamma_E E(F_{rep,1}, F_{d,i} / \gamma_E; X_{d,j}, a_d)^4,$ $i = 2, 3, \dots, \quad j = 1, 2, \dots, \quad (\gamma_{F,1} \rightarrow \gamma_E)$	opći oblik za proračun E_d parcijalni faktori na ulazu u model parcijalni faktori na izlazu iz modela
Varijante proračuna projektnih otpornosti (R_d)	
$R_d = R(X_{k,i} / \gamma_{M,i}; F_{rep,j} \gamma_{F,j}, a_k \pm \Delta a_k) / \gamma_R$ $R_d = R(X_{d,i}; F_{d,j}, a_d), \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad j = 1, 2, 3, \dots$ $R_d = R(X_{k,i}; F_{d,j}, a_d) / \gamma_R, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad j = 1, 2, \dots$ $R_d = R(X_{k,1}, X_{d,i} \gamma_{M,1}; F_{rep,j}, a_d) / \gamma_{M,1},$ $i = 2, 3, \dots, \quad j = 1, 2, \dots, \quad (\gamma_{M,1} \rightarrow \gamma_R)$	opći oblik za proračun R_d parcijalni faktori na ulazu u model parcijalni faktori na izlazu iz modela parcijalni faktori na izlazu iz modela

Slika 14: Primjeri primjene metode parcijalnih koeficijenata

Grafična se stanja razvrstavaju s obzirom na štetu koja bi nastala njihovim prelaskom. Tako razlikujemo grafična stanja nosivosti od grafičnih stanja uporabivosti.

Grafično stanje nosivosti(GNS)- odnose se na pojavu sloma i rušenja konstrukcije, te se tiču sigurnosti ljudi i konstrukcija.

Grafično stanje uporabivosti(GSU)- odnose se na normalnu uporabivost konstrukcija (udobnost ljudi, prihvatljivost za strojeve, izgled i sl.). Ponekad se grafična stanja uporabivosti mogu dijeliti na nepovratna i povratna, ovisno o trajnosti štete koja nastaje njihovim prelaskom.

Neposredno se dosezanje grafičnog stanja uporabljivosti provjerava preko izraza:

$$E_d < C_d$$

pri čemu je E_d projektni učinak djelovanja (npr. slijeganje temelja), a C_d je najveća dopuštena veličina tog djelovanja (npr. dozvoljeno slijeganje). Posredno se dosezanje grafičnog stanja uporabivosti provjerava pomoću odgovarajućeg grafičnog stanja nosivosti (npr. hoće li slijeganje temelja biti u dozvoljenim granicama, provjerava se time da je zadovoljena tražena nosivost tla ispod tog temelja). Ovaj drugi pristup norma dozvoljava samo u jednostavnijim slučajevima kada postoji usporedivo iskustvo ili kad određena vrijednost parametra C_d nije uvjetovana.

Nakon definiranja sveobuhvatnog skupa relevantnih projektnih situacija, projektiranje dalje teče tako da se za svaku projektnu situaciju odrede moguća grafična stanja, te odgovarajući modeli konstrukcije i modeli djelovanja. Provjera da ni jedno od mogućih grafičnih stanja neće biti premašeno provodi se primjenom koncepta parcijalnih faktora.

EN 1997-1 uvodi pet graničnih stanja nosivosti:

- (EQU) gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla razmatranog kao kruto tijelo, u kojem čvrstoća konstruktivnog materijala ili tla značajno ne doprinosi otpornosti (npr. prevrtanje gravitacijskog betonskog zida na podlozi od čvrste stijene)
- (STR) slom ili velika deformacija betonske, metalne, drvene ili zidanje konstrukcije ili njenog elementa, uključivo temelje, pilote, sidra i potporne zidove, u kojima čvrstoća konstruktivnog materijala bitno pridonosi otpornosti (npr. slom pri jakom savijanju armirano-betonske dijafragme)
- (GEO) slom ili velika deformacija tla pri kojoj čvrstoća tla ili stijene bitno pridonosi otpornosti (npr. slom tla ispod temelja građevine)
- (UPL) gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla uslijed uzgona vode ili drugih vertikalnih sila (npr. izdizanje lagane podzemne konstrukcije pod pritiskom uzgona podzemne vode)
- (HYD) hidrauličko izdizanje (hidraulički slom), interna erozija tla uzrokovana hidrauličkim gradijentima (npr. interna erozija pjeskovitog tla od strujanja vode u nasipu i stvaranje erozijskih kanala)

Parcijalni koeficijenti za djelovanja i za svojstva materijala razlikuju se za pojedina od ovih pet graničnih stanja. Provjera ovih pet graničnih stanja nosivosti metodom parcijalnih koeficijenata prikazana je na *slici 15*.

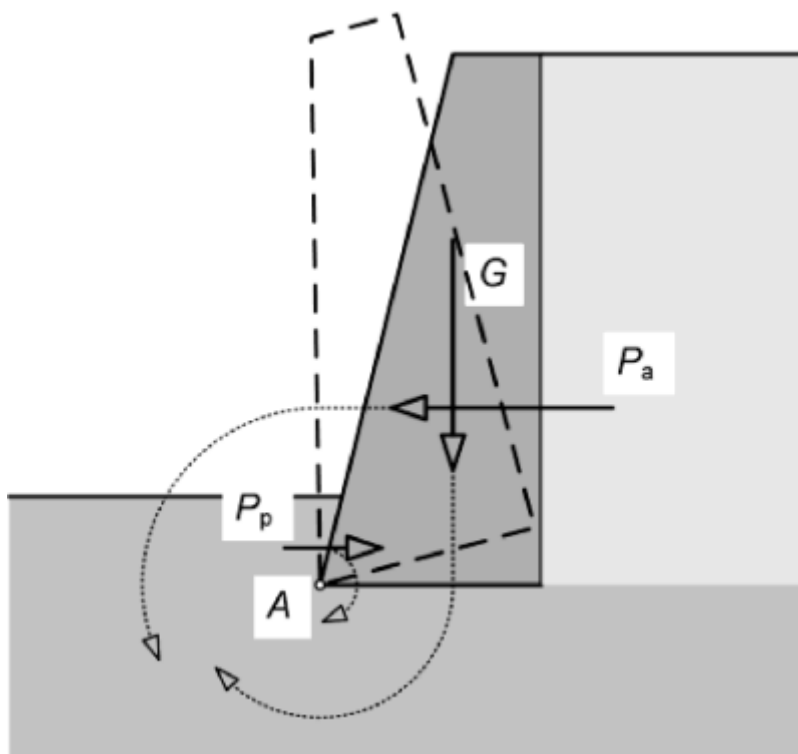
Granično stanje	Provjera stabilnosti	Napomene
EQU	$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d$	$E_{dst;d} = E(\gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d)_{dst}$ je destabilizirajući, a $E_{stb;d} = E(\gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d)_{stb}$ stabilizirajući učinak djelovanja; T_d mogući posmični otpor;
STR/GEO	$E_d \leq R_d$	E_d je učinak djelovanja, a R_d otpornost na taj učinak u nekom razmatranom presjeku konstrukcije ili tla (vidi i tablicu 1);
UPL	$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d$	$V_{dst;d} = G_{dst;d} + Q_{dst;d}$ je kombinacija trajnog (G) i promjenjivog (Q) destabilizirajućeg vertikalnog djelovanja, a $G_{stb;d}$ je stabilizirajuće vertikalno trajno djelovanje; R_d je mogući dodatni projektni otpor izdizanju;
HYD	$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d}$ ili $S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}$	$u_{dst;d}$ odnosno $S_{dst;d}$ su projektni destabilizirajući tlak porne vode na dnu stupca tla odnosno strujna sila u stupcu tla, a $\sigma_{stb;d}$ odnosno $G'_{stb;d}$ su ukupno vertikalno naprezanje na dnu stupca odnosno efektivna težina stupca tla

Slika 15: Provjera stabilnosti za pet graničnih stanja nosivosti metodom parcijalnih koeficijenata

Za gravitacijske zidove i složene potporne konstrukcije moraju se razmotriti još i sljedeća granična stanja:

- granično stanje prevrtanja
- granično stanje klizanja
- granično stanje gubitka nosivosti tla ispod osnove

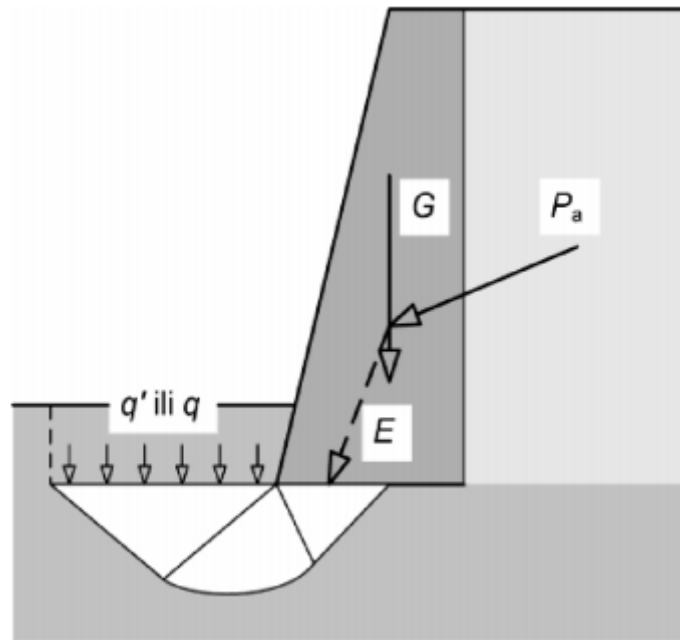
Granično stanje prevrtanja zida mjerodavno je za slobodne gravitacijske zidove i zamišlja se kao mogućnost njihovog prevrtanja kao krute konstrukcije pod opterećenjem aktivnog tlaka i drugih opterećenja na zidu oko točke na vanjskom rubu temeljne plohe. Tom se prevrtanju kao otpornost suprotstavlja prvenstveno vlastita težina zida, a u manjoj mjeri pasivni otpor ispred zida. Podloga ispod temelja zida pretpostavlja se krutom pa nosivost tla ispod temelja u tom graničnom stanju ne sudjeluje. Zid mora biti tako dimenzioniran da je opasnost od prevrtanja zanemariva. Provjerava se usporedbom destabilizirajućih učinaka opterećenja (momenata sile aktivnog tlaka P_A oko točke A) u odnosu na stabilizirajuće učinke sila (momenata vlastite težine zida G i eventualno momenata sile pasivnog otpora).



Slika 16: Granično stanje prevrtanja zida oko rubne točke temelja

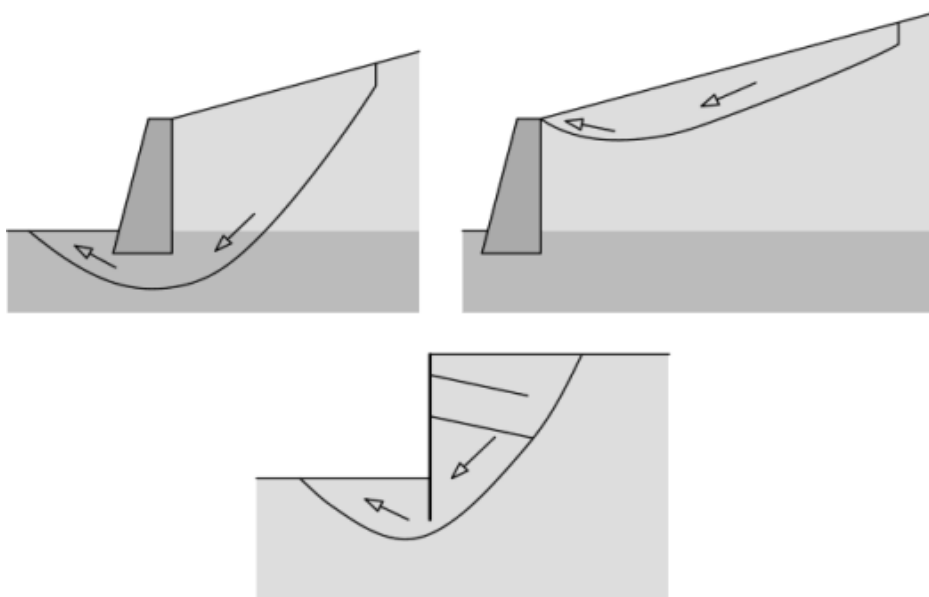
Nosivost tla ispod stope zida i klizanje zida po stopi– opterećenja na poledini zida, uključivo i trenje između tla i zida, prenosi se na zid. To opterećenje s drugim opterećenjima na zid prenosi se preko temelja zida na temeljno tlo. Projektom zida treba biti osigurano da tlo ispod temelja zida može pouzdano preuzeti to opterećenje, tj. da ne dođe u stanje sloma. Zato treba provjeriti nosivost tla ispod temelja zida. Pri tome treba uzeti u obzir da će zona sloma tla u tom slučaju biti usmjerena

prema bližoj površini terena, a to je redovito prema nižem terenu ispred zida. Uloga temelja zida je da pouzdano prenese opterećenje zida na temeljno tlo. Pri tome je nosivost tla samo jedna od dva bitna uvjeta da se to ostvari. Drugi uvjet pravilno projektiranog temelja zida je da osigura da ne dođe do klizanja između temelja i zida. Ako pouzdanost na to granično stanje nije osigurana, treba preoblikovati temelj zida.



Slika 17: Nosivost tla ispod stope temelja

Globalna stabilnost – jedna od mogućih graničnih stanja nosivosti potpornih konstrukcija je globalni slom tla. Pri tome potporna konstrukcija ne sudjeluje u otpornosti na to granično stanje. Slom tla u takvim slučajevima može zahvatiti tlo iza, ispod i ispred potporne konstrukcije, ali i samo iza konstrukcije. Provjera globalne stabilnosti provjerava se metodama provjere stabilnosti kosine.



Slika 18: Moguća granična stanja globalne nestabilnosti tla

4.3.2. Četiri načina projektiranja

Eurokod razlikuje četiri temeljna načina geotehničkog projektiranja:

- koristeći proračune temeljne na analitičkim, polu-empirijskim i numeričkim modelima, što je pretežit postupak za većinu geotehničkih konstrukcija (obično za geotehničke kategorije 2 i 3)
- primjenjujući propisane mjere koje se sastoje od uobičajenih i općenito konzervativnih, na nacionalnoj razini utvrđenih, pravila i postupaka projektiranja, kontrole materijala, postupak građenja, zaštite i postupaka održavanja
- koristeći eksperimentalne modele i probna opterećenja na dijelovima konstrukcija
- koristeći metodu opažanja kojom se projekt tijekom građenja neprekidno preispituje temeljem sustavnog opažanja

Eurokod 7 se najviše bavi projektiranjem metodom proračuna, a nešto manje projektiranjem uz pomoć eksperimentalnih modela (samo za pilote i sidra). O metodi opažanja govori se vrlo malo, dok projektiranje propisanim mjerama, dok nije u suprotnosti s normom, Eurokod 7 prepušta da se eventualno definira ili referencira u nacionalnom dodatku.

4.3.3. Tri projektna pristupa

Odnose se na granično stanje STR i GEO, dok je za ostala granična stanja zadržan jedinstveni pristup. Tri se projektna pristupa uglavnom razlikuju po fazi proračuna u kojoj će se primijeniti parcijalni faktori, da li na ulazne podatke (djelovanja i svojstva materijala) ili na rezultate proračuna (učinke djelovanja i otpornosti). Oni pobliže definiraju varijante proračuna projektnog djelovanja (E_d) i projektne otpornosti (R_d); (*Slika 14*) te daju prijedloge odgovarajućih parcijalnih koeficijenata. Sa konceptualnog stanovišta, prvi pristup je racionalniji jer bi veličina parcijalnih faktora trebala odražavati stupanj neizvjesnosti veličine ulaznih podataka proračuna, veličine djelovanja i parametra materijala, dok bi određivanje neizvjesnosti izvedenih veličina, učinaka djelovanja i otpornosti, trebalo prepustiti proračunima.

Provjera stabilnosti za svaki od tri pristupa analizi granična stanja STR i GEO u Eurokodu 7 provodi se prema odgovarajućem izrazu iz *slike 15*, općim oblicima za proračun projektnog djelovanja (E_d) i projektne otpornosti (R_d) iz *slike 14*, te odgovarajućim skupinama parcijalnih koeficijenata. Parcijalni koeficijenti podijeljeni su za svaki projektni pristup u skupine A za djelovanja, M za svojstva materijala i R za otpornosti. Kombinacije pojedinih skupina za svaki od

projektних pristupa prikazani su na *slici 19*. Sadržaj pojedinih skupina parcijalnih koeficijenata prikazan je na *slici 20*.

Projektni pristup 1	Projektni pristup 2	Projektni pristup 3
osno opterećeni piloti i sidra: K1 ^a : A1 + M1 + R1 K2 ^a : A2 + (M1 ^b ili M2 ^c) + R4	A1 + M1 + R2	(A1 ^d ili A2 ^e) + M2 + R3
sve ostale konstrukcije K1 ^a : A1 + M1 + R1 K2 ^a : A2 + M2 + R1		
^a odvojeni proračuni za K1 i K2		^d za sile od konstrukcije
^b za pilote i sidra		^e za geotehničke sile (sile od tla i sl.)
^c za nepovoljno djelovanje od negativnog trenja ili bočnog opterećenja pilota		

Slika 19: Tri projektna pristupa za granična stanja STR i GEO

(1) Parcijalni faktori djelovanja (γ_F) i učinka djelovanja (γ_E)						
Djelovanja	simbol	A1	A2			
trajna	nepovoljna	γ_G	1.35	1.0		
	povoljna	γ_G	1.0	1.0		
promjenjiva	nepovoljna	γ_Q	1.5	1.3		
	povoljna	γ_Q	0	0		
(2) Parcijalni faktori svojstva materijala (tlo, stijena) (γ_M)						
Svojstvo	simbol	M1	M2			
tangens efektivnog kuta trenja	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25			
efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25			
nedrenirana i jednoosna čvrstoća	γ_{cu} ili γ_{qu}	1.0	1.4			
težinska gustoća	γ_γ	1.0	1.0			
(3) Parcijalni faktori otpora (γ_R):						
Otpornost [†]	simbol	R1	R2	R3	R4	
<u>Plitki temelji</u>	nosivost	R_V	1.0	1.4	1.0	-
	klizanje	R_{th}	1.0	1.1	1.0	-
<u>Zabijeni piloti</u>	stopa	γ_b	1.0	1.1	1.0	1.3
	plašt (tlak)	γ_s	1.0	1.1	1.0	1.3
	stopa+plašt (tlak)	γ_t	1.0	1.1	1.0	1.3
	plašt (vlak)	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.1	1.6
<u>Bušeni piloti</u>	stopa	γ_b	1.25	1.1	1.0	1.6
	plašt (tlak)	γ_s	1.0	1.1	1.0	1.3
	stopa+plašt (tlak)	γ_t	1.15	1.1	1.0	1.5
	plašt (vlak)	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.1	1.6
<u>Prednapeta sidra</u>	privremena	$\gamma_{a;t}$	1.1	1.1	1.0	1.1
	trajna	$\gamma_{a;p}$	1.1	1.1	1.0	1.1
<u>Potporne konstrukcije</u>	nosivost	$\gamma_{R;v}$	1.0	1.4	1.0	-
	klizanje	$\gamma_{R;h}$	1.0	1.1	1.0	-
	otpor tla	$\gamma_{R;e}$	1.0	1.4	1.0	-
<u>Kosine i opća stabilnost</u>	otpor tla	$\gamma_{R;e}$	1.0	1.1	1.0	-

Slika 20: Parcijalni faktori po skupinama za granična stanja STR i GEO

Projektni pristup 1: preuzet je iz starog Eurokoda, uvodi obavezne provjere stabilnosti korištenjem dviju kombinacija parcijalnih koeficijenata, kombinacijom B u kojoj se pokriva nepouzdanost opterećenja i koja je većinom kritična za dimenzioniranje presjeka konstrukcijskih elemenata, te kombinacijom C kojom se pokriva nesigurnost u parametrima tla i koja je većinom kritična za probleme stabilnosti tla, ali i za određivanje veličine konstrukcije u tlu. U kombinaciji C se nesigurnost u otpornosti tla, kao što je na primjer nosivost tla ili pasivni otpor tla, uzimala u obzir odgovarajućim „smanjenjem“ ili faktoriziranjem parametra tla koji ulaze u proračun otpornosti. To međutim, povećava količinu proračuna u projektiranju jer za svako kritično stanje u nekoj projektnoj situaciji zahtjeva dva nezavisna proračuna.

Projektni pristup 2: nastao je iz analize stabilnosti preko globalnog faktora sigurnosti (GFS). Taj je faktor definiran kao omjer karakteristične otpornosti R_k (otpornosti određene temeljem karakterističnih parametara tla) i karakterističnog učinka djelovanja E_k na nekom presjeku kroz konstrukciju čija se stabilnost razmatra. Postoje dvije varijante tog pristupa, „blaža“ sa oznakom 2, u kojoj su faktorizirana opterećenja na ulasku u model, te „stroža“ sa oznakom 2*, u kojem se ukupno faktoriziranje provodi na izlasku iz proračunskog modela.

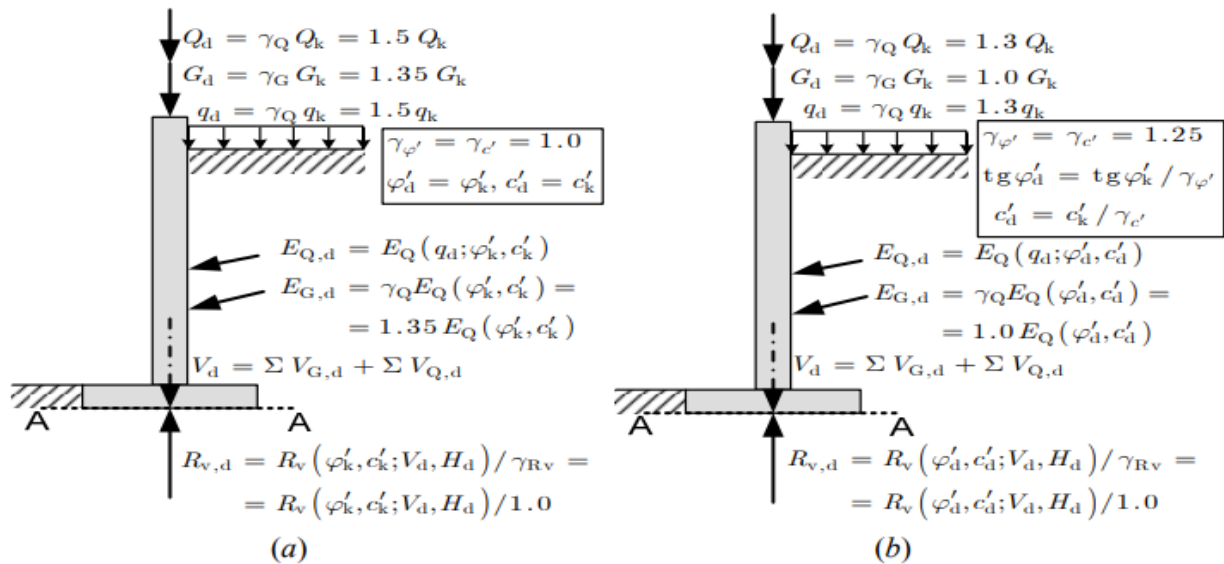
Projektni pristup 3: otišao je u suprotnu krajnost u odnosu na Pp2*, ali se kao i Pp1 najviše približio osnovnom konceptu parcijalnih faktora. U njemu se svi parcijalni faktori unose na izvoru, na ulazu u proračunski model, istovremeno vraćajući analizu stabilnosti na jedan proračun za jedno granično stanje. Time se dobilo na eleganciji, ali uz cijenu ponekad povećane konzervativnosti u projektu. Povećana konzervativnost može se najlakše uočiti na primjeru gravitacijskog potpornog zida. Prema Pp3 aktivni se tlak na zid računa s projektnim parametrima tla manjim od karakterističnih. Time se dobiva veći računski pritisak na zid u odnosu na dosadašnju praksu. Primjena Pp3 na primjeru nosivosti tla ispod temelja potpornog zida prikazana je na slici 19, a proračun učinka djelovanja i proračun otpornosti na slici 21.

	učinak djelovanja	otpornost
Projektni pristup 1 (osim osno opterećenih pilota i sidra za što vidi tablicu 3)		
Kombinacija 1	$E_d = E(\gamma_{A1} F_{k,i}; X_{k,j}, a_d)$	$R_d = R(X_{k,i}; \gamma_{F;A1} F_{k,j}, a_d)$
Kombinacija 2	$E_d = E(\gamma_{A2} F_{k,i}; X_{k,j} / \gamma_{M2}, a_d)$	$R_d = R(X_{k,i} / \gamma_{M2}; \gamma_{A2} F_{k,j}, a_d)$
Projektni pristup 2	$E_d = E(\gamma_{A1} F_{k,i}; X_{k,j}, a_d)$	$R_d = R(X_{k,i}; \gamma_{F;A1} F_{k,j}, a_d) / \gamma_{R2}$
Projektni pristup 2*	$E_d = \sum_i \gamma_{A1;i} E(F_{k,i}; X_{k,j}, a_d)$	$R_d = R(X_{k,i}; \gamma_{F;A1} F_{k,j}, a_d) / \gamma_{R2}$
Projektni pristup 3	$E_d = E(\gamma_{A1/A2} F_{k,i}; X_{k,j} / \gamma_{M2}, a_d)^\dagger$	$R_d = R(X_{k,i} / \gamma_{M2}; \gamma_{A1/A2} F_{k,j}, a_d)^\dagger$

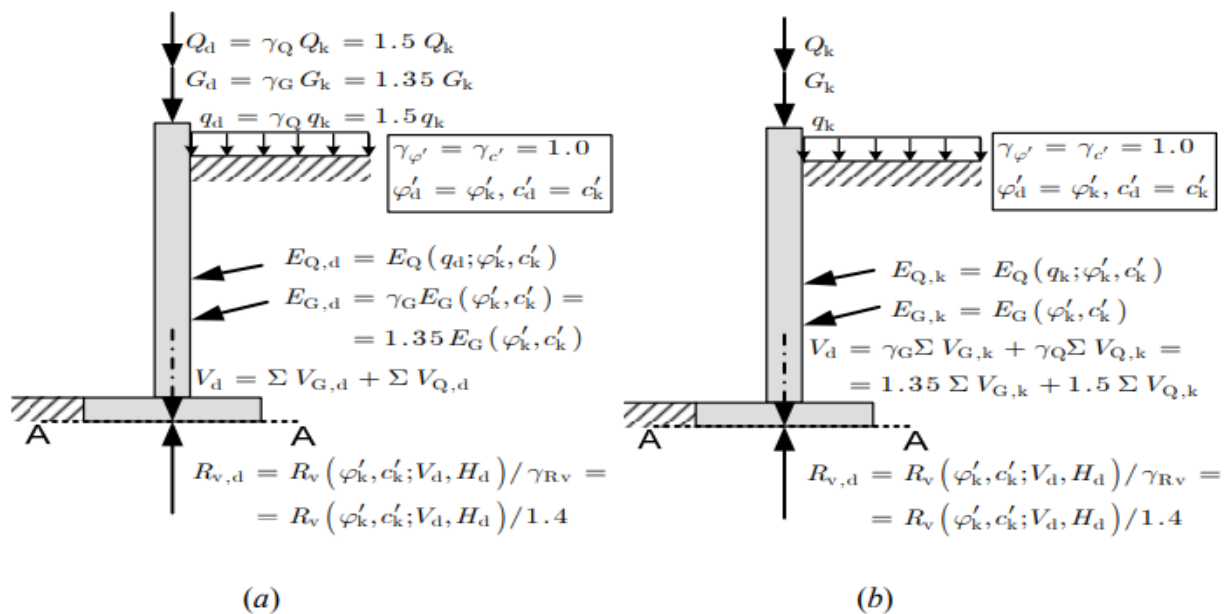
[†] koristi se parcijalni faktor djelovanja γ_{A1} za „konstrukcijsku“ silu, a γ_{A2} za „geotehničku silu“

Slika 21: Tri projektna pristupa za STR i GEO: djelovanja i otpornosti

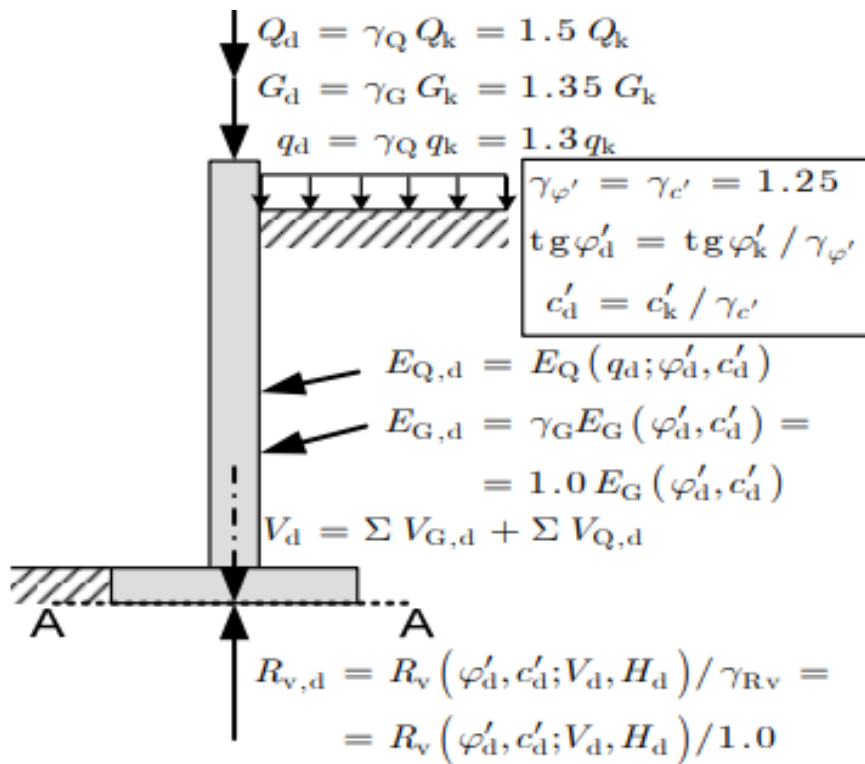
Konsenzus koji od ova tri pristupa treba prihvatiti nije postignut, pa je odluka prepuštena pojedinim zemljama. Neke analize ukazuju da razlike među konstrukcijama dimenzioniranim prema različitim projektnim pristupima nisu velike (za 10 razmatranih primjera do najviše $\pm 10\%$) i da ovise od slučaja do slučaja. Te analize pokazuju da je Pp3 najkonzervativniji, Pp2 najmanje konzervativan, a Pp1 se smjestio negdje između. To ne čudi ako se zna da ekonomičnost neke konstrukcije ovisi o različitim faktorima od koji mnogi nemaju puno veze sa projektnim pristupima iz Eurokoda 7.



Slika 22: Projektni pristup 1



Slika 23: Projektni pristup 2



Slika 24: Projektni pristup 3

5. PRORAČUN GABIONSKOG ZIDA

5.1. Opis klizišta

U ovom poglavlju ću razraditi klizište u naselju Cerje Jesenjsko, te predložiti sanaciju istog pomoću gabionskog zida. Klizište se otvorilo na nizbriježnoj strani nerazvrstane asfaltirane ceste. Uz samu cestu sa pribriježne strane se nalazi izvor vode, te se iz tog mjesta višak vode dalje odvodi punom cijevi preko ceste. Pri dolasku na teren, cijev je bila potpuno ispunjena vodom te kroz nju nije bila moguća odvodnja. Zbog takvog stanja cijevi, odnosno onemogućeno otjecanje vode se pojavilo promatrano klizište. Samo klizište je manjeg obima i rotacionog tipa. Čelo klizišta se nalazi na samom rubu nerazvrstane ceste. Dubinu klizišta smatramo plitkom, te se kreće od 2,5 do 3,5 m dubine. Zona usijedanja je dužine cca. od 3,0 do 3,5 m, dok je preostala zona akumulacije cca. od 11,5 do 12 m. Pad terena nizbriježne strane je cca. 11°-12°, dok je pribriježna strana u nagibu 8°-10°. Visina podzemne vode se kreće od 0,6 do 2,9m. Generalni smjer pada nagiba lokacije je od sjevera, sjeverozapada prema jugoistoku. Cesta je izgrađena na nasipanom materijalu, koji je nabijan u slojevima, a isto tako svaki je sloj od različitog materijala.



Slika 25: Prikaz klizišta

5.2. Proračun gabionskog zida

Na temelju laboratorijskih ispitivanja tla dobiveni su sljedeći ulazni podaci:

Oznaka materijala	Klasifikacija	Kut unutarnjeg trenja ϕ [°]	Obujamska težina γ [kN/m ³]
Sloj 1- Nasip	GS	30	18
Sloj 2- Glina CH, visoke pl.	CH	25	20
Sloj 3- Glina CH, srednje pl.	CH	25	20
Sloj 4- Laporovita glina	CH	40	20
Sloj 5- Laporoviti pješčenjak	-	-	-

Tablica 4: Ulazni podaci

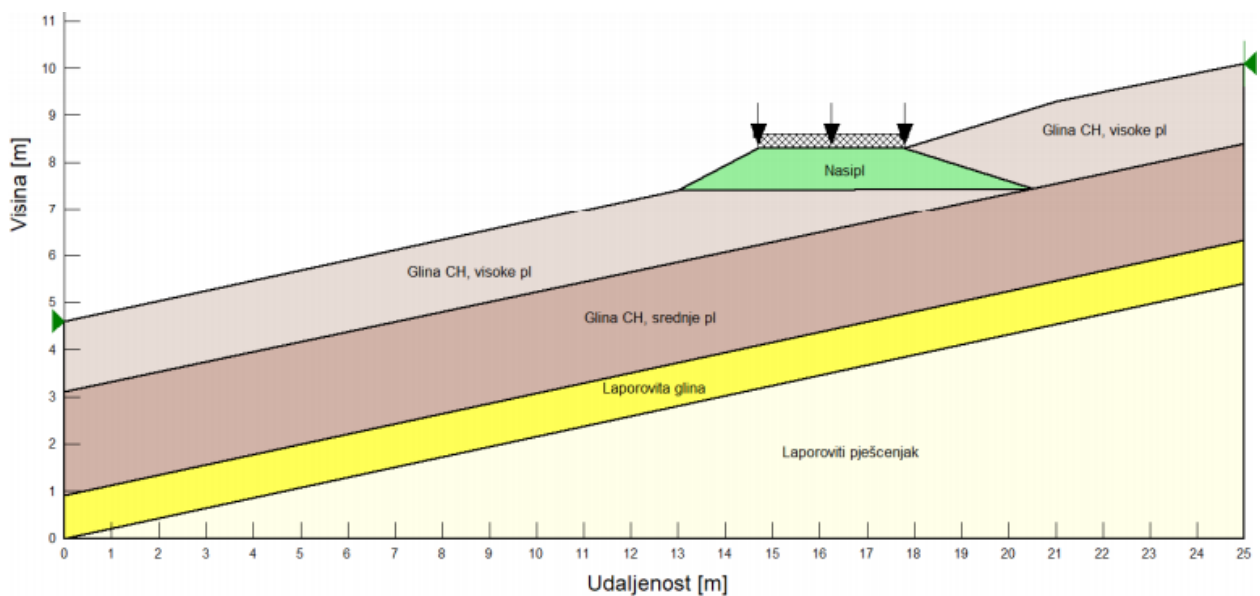
U gornjoj tablici navedene su vrijednosti parametra tla sukladno sa EC 7 (prvotno odabrani parametri umanjani su preko parcijalnih koeficijenata za parametre tla prema sljedećoj tablici).

Parametar tla	Parcijalni koeficijenti	
	Simbol	Iznos (za skupinu M2)
Kut unutarnjeg trenja	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1,25
Nedrenirana posmična čvrstoća	γ_{cu}	1,40
Jednoosna tlačna čvrstoća	γ_{qu}	1,40
Obujamska težina	γ_{γ}	1,00

Tablica 5: Parcijalni koeficijenti za parametre tla

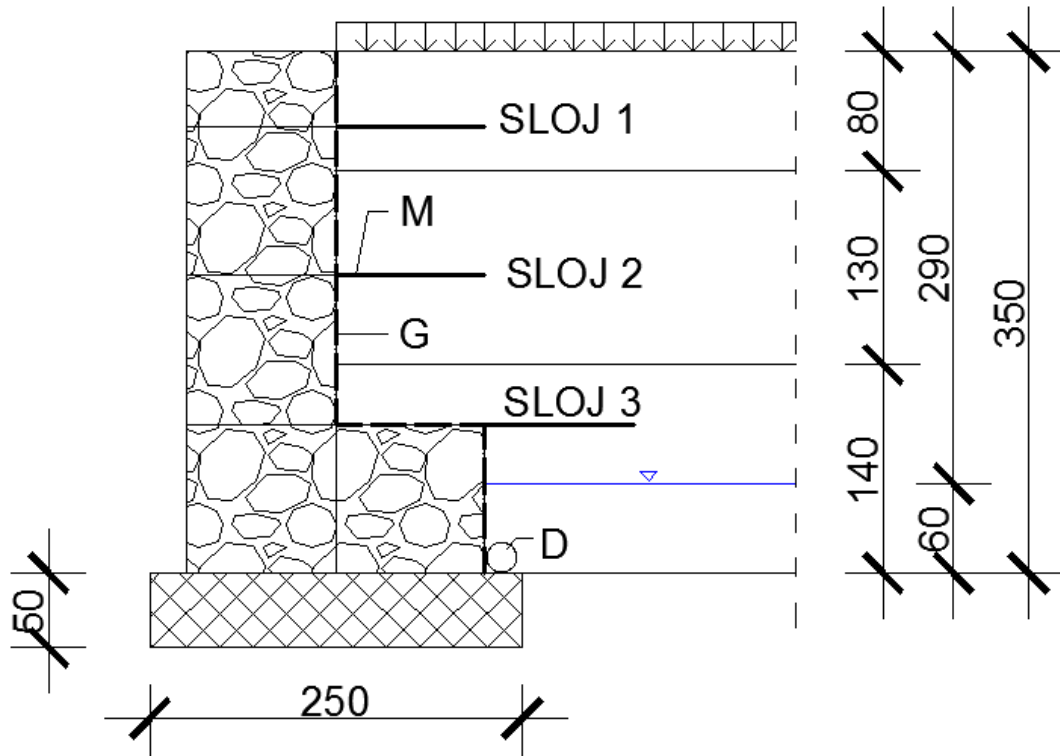
Za sve materijale još je pretpostavljeno:

- porozitet $n=0,35$
- Poissonov koef. $\nu=0,30$



Slika 26: Prikaz slojeva tla

Za rješenje ovog klizišta sam odabrao TERRAMESH sustav (kombinacija gabiona i horizontalno postavljenih mreža). Dimenzija košara je 1,0·1,0·3,0 m i 1,0·0,5·3,0 m. Visina gabionskog zida je 3,5 m.



Slika 27: Prikaz gabionskog zida

Oznake	Opis
SLOJ 1	Nasip
SLOJ 2	Glina CH, visoke pl.
SLOJ 3	Glina CH, srednje pl.
M	Mreža (armiranje tla)
D	Drenažna cijev
G	Geotekstil

Tablica 6: Prikaz oznaka

DIMENZIJE

Visina zida $h = 3,5\text{m}$

Duljina zida $l = 12,0\text{m}$

Nagib prednje strane zida 0°

Nagib stražnje strane zida 0°

TEŽINA ZIDA

Obujamska težina materijala $\gamma = 18,0\text{kN/m}^3$

Poprečni presjek $A = 1,0\text{m} \cdot 3,5\text{m} + 1,0\text{m} \cdot 1,0\text{m} = 4,5\text{m}^2$

Vlastita težina po m' $W = 18,0\text{kN/m}^3 \cdot 4,5\text{m}^2 = 81,0\text{kN/m}$

SVOJSTVA TEMELJNOG TLA

Nosivost temeljnog tla $q_u=0,40\text{N/mm}^2$

Kut trenja između konstrukcije i tla $\varphi=45^\circ$

SILE OD POTRESNOG OPTEREĆENJA

Horizontalni potresni koeficijent $k_h=0,11$

Vertikalni potresni koeficijent $k_v=0,055$

Horizontalna potresna sila od vlastite težine $F_{wx}=W \cdot k_h= 81,0 \cdot 0,11=8,91\text{kN/m}$

Vertikalna potresna sila od vlastite težine $F_{wy}=W \cdot k_v= 81,0 \cdot 0,055=4,46\text{kN/m}$

Horizontalna potresna sila od zasipa $F_{wsx}=W_t \cdot k_h= 45,0 \cdot 0,11=4,95\text{kN/m}$

Vertikalna potresna sila od zasipa $F_{wsy}=W_t \cdot k_v= 45,0 \cdot 0,055=2,48\text{kN/m}$

DJELOVANJA		EQU	STR+GEO(A1+M1)	STR+GEO(A2+M2)	POTRESNO
Trajno nepovoljno	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,35	1,0	1,0
Trajno povoljno	$\gamma_{G,stab}$	0,90	1,0	1,0	1,0
Povremeno nepovoljno	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,50	1,30	1,0
Povremeno povoljno	$\gamma_{Q,stab}$	0	0	0	0

Tablica 7:Parcijalni koeficijenti za djelovanja

PARAMETRI TLA		EQU	STR+GEO(A1+M1)	STR+GEO(A2+M2)	POTRESNO
Kut trenja	γ_φ	1,25	1,0	1,25	1,25
Efektivna kohezija	γ_c	1,25	1,0	1,25	1,25
Nedrenirana i jednoosna čvrstoća	γ_{cu}	1,40	1,0	1,40	,140
Čvrstoća	γ_{qu}	1,40	1,0	1,40	1,40
Gustoća	γ_w	1,0	1,0	1,0	1,0

Tablica 8:Parcijalni koeficijenti za parametre tla

U gornjim tablicama su prikazani parcijalni koeficijenti za granična stanja, kojima se djelovanja na potpurnu konstrukciju smanjuju odnosno povećaju za pojedino granično stanje.

Dio zida od Y=0,0m do Y=0,8m; H_s=0,8m

SVOJSTVA TLA:

$$\gamma=18\text{kN/m}^3$$

$$\varphi=30^\circ$$

$$c=0\text{kPa}$$

OPTEREĆENJE NA POVRŠINI TLA:

$$\text{TRAJNO OPTEREĆENJE } g=\gamma \cdot H=18,0\text{kN/m}^3 \cdot 0,8\text{m}=14,4\text{kN/m}^2$$

$$\text{POKRETNOST OPTEREĆENJE } q=5,0\text{kN/m}^2$$

PRITISAK TLA PREMA COULOMB-OVOJ TEORIJI

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

	EQU	STR	GEO
Kut plohe sloma $\varphi=45^\circ+\varphi/2$	57°	60°	57°
Koeficijent aktivnog tlaka [k _A]	0,42	0,33	0,42

Tablica 9: Koeficijenti aktivnog tlaka

TRAJNA DJELOVANJA

$$q_A = g \cdot k_A \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

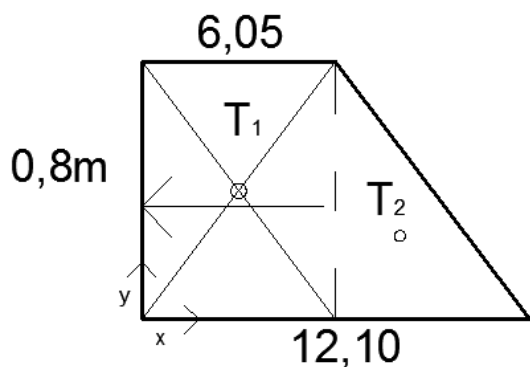
$$q_B = q_A + \gamma \cdot H \cdot k_A \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot (q_A + q_B) \cdot H \text{ [kN/m]}$$

		EQU	STR	GEO	Mjerne jedinice
Pritisak tla na vrhu	q _A	6,05	4,75	6,05	kN/m ²
Pritisak tla na dnu	q _B	12,10	9,50	12,10	kN/m ²
Aktivna sila tla	P _A	7,26	5,70	7,26	kN/m
Kut od aktivne sile	α	0°	0°	0°	°
Aktivna sila tla u X smjeru	P _{Ax}	7,26	7,26	7,26	kN/m
Aktivna sila tla u Y smjeru	P _{Ay}	0	0	0	kN/m
Moment aktivne sile	M	2,54	2,54	2,54	kNm/m

Tablica 10: Trajna djelovanja

Točka djelovanja aktivne sile:



$$A_{uk} = 6,05 \cdot 0,8 + (12,10 - 6,05) \cdot 0,8 / 2$$

$$A_{uk} = 7,26 \text{ m}^2$$

$$x_t = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 / A_{uk}$$

$$x_t = 4,71 \text{ m}$$

$$y_t = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 / A_{uk}$$

$$y_t = 0,35 \text{ m}$$

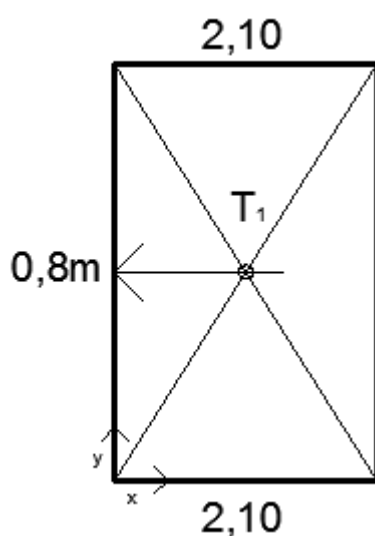
Slika 28: Udaljenost djelovanja

POKRETNA DJELOVANJA

		EQU	STR	GEO	Mjerne jedinice
Pritisak tla na vrhu	q_A	2,10	1,65	2,10	kN/m^2
Pritisak tla na dnu	q_B	2,10	1,65	2,10	kN/m^2
Aktivna sila tla	P_A	1,68	1,32	1,68	kN/m
Kut od aktivne sile	α	0°	0°	0°	$^\circ$
Aktivna sila tla u X smjeru	P_{Ax}	1,68	1,32	1,68	kN/m
Aktivna sila tla u Y smjeru	P_{Ay}	0	0	0	kN/m
Moment aktivne sile	M	0,67	0,53	0,67	kNm/m

Tablica 11: Pokretna djelovanja

Točka djelovanja aktivne sile:



$$x_t = 2,05 \text{ m}$$

$$y_t = 0,40 \text{ m}$$

Slika 29: Udaljenost djelovanja

TOTALNE SILE I MOMENTI		EQU	STR	GEO
TRAJNA	Horizontalna aktivna sila	7,26 kN/m	5,7 kN/m	7,26kN/m
	Vertikalna aktivna sila	0	0	0
	Totalni moment	2,54 kNm/m	2,0 kNm/m	2,54 kNm/m
POKRETNJA	Horizontalna aktivna sila	1,68 kN/m	1,32 kN/m	1,68 kN/m
	Vertikalna aktivna sila	0	0	0
	Totalni moment	0,67 kNm/m	0,53 kNm/m	0,67 kNm/m

Tablica 12: Totalne sile i momenti

POTRESNO OPTEREĆENJE

Horizontalna komponenta sile: $k_h=0,11$

Vertikalna komponenta sile: $k_v=0,055$

$$\tan \omega = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

$$\tan \omega = \frac{0,11}{1 - 0,055}$$

$$\omega = 6,64^\circ$$

Metoda Mononobe-Okabe

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

$$K_E = \frac{[\cos(30 - 6,64 - 0)]^2}{\cos 6,64 \cdot (\cos 0)^2 \cdot \cos(0 + 0 + 6,64) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 0) \cdot \sin(30 - 6,64 - 0)}{\cos(0 + 6,64 + 0) \cdot \cos(0 - 0)}}\right]^2}$$

$$K_E = 0,41$$

Dodatni pritisak od potresnog djelovanja

$$\xi = \frac{K_E}{k_A} - 1$$

$$\xi = \frac{0,41}{0,33} - 1$$

$$\xi = 0,24$$

Djelovanja na potpornu konstrukciju se množe sa koeficijentom ξ i kao rezultat dobijemo dodatne sile na potpornu konstrukciju od potresnog djelovanja.

Dio zida od Y=0,8m do Y=2,1m; H_s=1,3m

SVOJSTVA TLA:

$$\gamma=20\text{kN/m}^3$$

$$\varphi=25^\circ$$

$$c=10\text{kPa}$$

OPTEREĆENJE NA POVRŠINI TLA:

$$\text{TRAJNO OPTEREĆENJE } g=\gamma \cdot H=20,0\text{kN/m}^3 \cdot 1,3\text{m}=26,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{POKRETNOST OPTEREĆENJE } q=5,0 \text{ kN/m}^2$$

PRITISAK TLA PREMA COULOMB-OVOJ TEORIJI

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

	EQU	STR	GEO
Kut plohe sloma $\varphi=45^\circ+\varphi/2$	55°	57,5°	55°
Koeficijent aktivnog tlaka	0,49	0,41	0,49

Tablica 13: Koeficijenti aktivnog tlaka

TRAJNA DJELOVANJA

$$q_A = g \cdot k_A \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

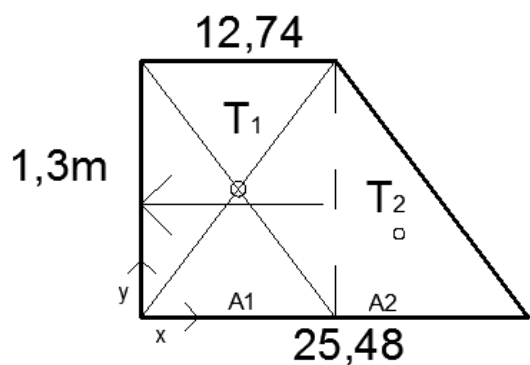
$$q_B = q_A + \gamma \cdot H \cdot k_A \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$P_A = 1/2 \cdot (q_A + q_B) \cdot H \text{ [kN/m]}$$

		EQU	STR	GEO	Mjerne jedinice
Pritisak tla na vrhu	q_A	12,74	10,66	12,74	kN/m ²
Pritisak tla na dnu	q_B	25,48	21,32	25,48	kN/m ²
Aktivna sila tla	P_A	24,84	20,79	24,84	kN/m
Kut od aktivne sile	α	0°	0°	0°	°
Aktivna sila tla u X smjeru	P_{Ax}	24,84	20,79	24,84	kN/m
Aktivna sila tla u Y smjeru	P_{Ay}	0	0	0	kN/m
Moment aktivne sile	M	14,41	12,06	14,41	kNm/m

Tablica 14: Trajna djelovanja

Točka djelovanja aktivne sile:



$$A_{uk} = 12,74 \cdot 1,3 + (25,48 - 12,74) \cdot 1,3 / 2$$

$$A_{uk} = 24,84 \text{ m}^2$$

$$x_t = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 / A_{uk}$$

$$x_t = 9,91 \text{ m}$$

$$y_t = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 / A_{uk}$$

$$y_t = 0,58 \text{ m}$$

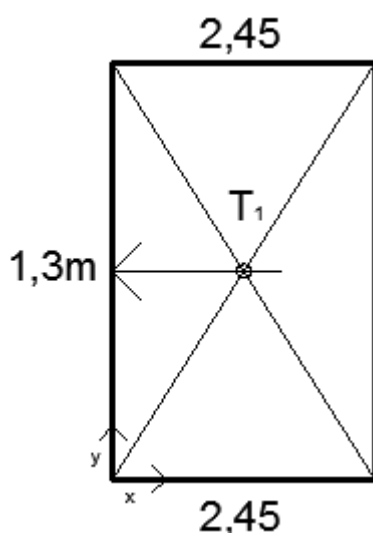
Slika 30: Udaljenost djelovanja

POKRETNJA DJELOVANJA

		EQU	STR	GEO	Mjerne jedinice
Pritisak tla na vrhu	q_A	2,45	2,05	2,45	kN/m^2
Pritisak tla na dnu	q_B	2,45	2,05	2,45	kN/m^2
Aktivna sila tla	P_A	3,19	2,67	3,19	kN/m
Kut od aktivne sile	α	0°	0°	0°	$^\circ$
Aktivna sila tla u X smjeru	P_{Ax}	3,19	2,67	3,19	kN/m
Aktivna sila tla u Y smjeru	P_{Ay}	0	0	0	kN/m
Moment aktivne sile	M	2,07	1,74	2,07	kNm/m

Tablica 15: Pokretna djelovanja

Točka djelovanja aktivne sile:



$$x_t = 1,23 \text{ m}$$

$$y_t = 0,65 \text{ m}$$

Slika 31: Udaljenost djelovanja

TOTALNE SILE I MOMENTI		EQU	STR	GEO
TRAJNA	Horizontalna aktivna sila	24,84 kN/m	20,79 kN/m	24,84kN/m
	Vertikalna aktivna sila	0	0	0
	Totalni moment	14,41 kNm/m	12,06 kNm/m	14,41 kNm/m
POKRETN	Horizontalna aktivna sila	3,19 kN/m	2,67 kN/m	3,19 kN/m
	Vertikalna aktivna sila	0	0	0
	Totalni moment	2,07 kNm/m	1,74 kNm/m	2,07 kNm/m

Tablica 16: Totalne sile i momenti

POTRESNO OPTEREĆENJE

Horizontalna komponenta sile: $k_h=0,11$

Vertikalna komponenta sile: $k_v=0,055$

$$\tan \omega = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

$$\tan \omega = \frac{0,11}{1 - 0,055}$$

$$\omega = 6,64^\circ$$

Metoda Mononobe-Okabe

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

$$K_E = \frac{[\cos(25 - 6,64 - 0)]^2}{\cos 6,64 \cdot (\cos 0)^2 \cdot \cos(0 + 0 + 6,64) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(25 + 0) \cdot \sin(25 - 6,64 - 0)}{\cos(0 + 6,64 + 0) \cdot \cos(0 - 0)}}\right]^2}$$

$$K_E = 0,49$$

Dodatni pritisak od potresnog djelovanja:

$$\xi = \frac{K_E}{k_A} - 1$$

$$\xi = \frac{0,49}{0,41} - 1$$

$$\xi = 0,19$$

Djelovanja na potpurnu konstrukciju se množe sa koeficijentom ξ i kao rezultat dobijemo dodatne sile na potpurnu konstrukciju od potresnog djelovanja.

Dio zida od Y=2,1m do Y=3,5m; H_s= 1,4m

SVOJSTVA TLA:

$$\gamma=20\text{kN/m}^3$$

$$\varphi=25^\circ$$

$$c=5\text{kPa}$$

OPTEREĆENJE NA POVRŠINI TLA:

$$\text{TRAJNO OPTEREĆENJE } g=\gamma \cdot H=20,0\text{kN/m}^3 \cdot 1,4\text{m}=28,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \gamma'=\gamma-\gamma_w=18,0\text{kN/m}^2$$

$$\text{POKRETNOST OPTEREĆENJE } q=5,0 \text{ kN/m}^2$$

PRITISAK TLA PREMA COULOMB-OVOJ TEORIJI

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

	EQU	STR	GEO
Kut plohe sloma $\varphi=45^\circ+\varphi/2$	55°	57,5°	55°
Koeficijent aktivnog tlaka	0,49	0,41	0,49

Tablica 17: Koeficijenti aktivnog tlaka

TRAJNA DJELOVANJA

$$q_A = g \cdot k_A \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

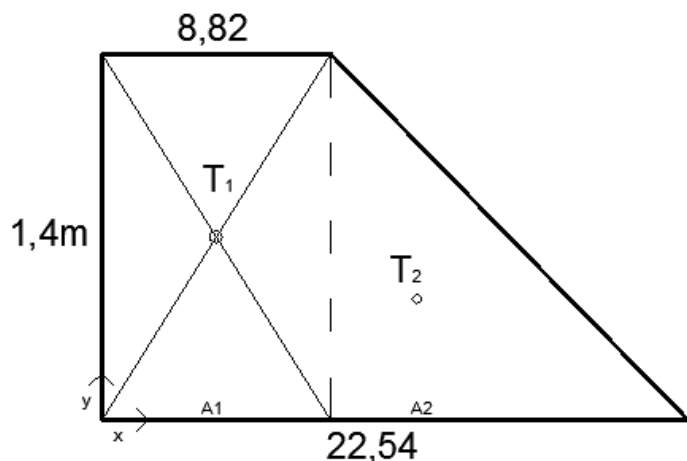
$$q_B = q_A + \gamma \cdot H \cdot k_A \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$P_A = 1/2 \cdot (q_A + q_B) \cdot H \text{ [kN/m]}$$

		EQU	STR	GEO	Mjerne jedinice
Pritisak tla na vrhu	q _A	8,82	7,38	8,82	kN/m ²
Pritisak tla na dnu	q _B	22,54	18,86	22,54	kN/m ²
Aktivna sila tla	P _A	21,95	18,37	21,95	kN/m
Kut od aktivne sile	α	0°	0°	0°	°
Aktivna sila tla u X smjeru	P _{Ax}	21,95	18,37	21,95	kN/m
Aktivna sila tla u Y smjeru	P _{Ay}	0	0	0	kN/m
Sila od vode	P _v	0,88	0,74	0,88	kN/m
Moment aktivne sile	M	13,17	11,02	13,17	kNm/m

Tablica 18: Trajna djelovanja

Točka djelovanja aktivne sile:



$$A_{uk} = 22,54 \cdot 1,4 + (22,54 - 8,82) \cdot 1,4 / 2$$

$$A_{uk} = 21,95 \text{ m}^2$$

$$x_t = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 / A_{uk}$$

$$x_t = 8,34 \text{ m}$$

$$y_t = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 / A_{uk}$$

$$y_t = 0,60 \text{ m}$$

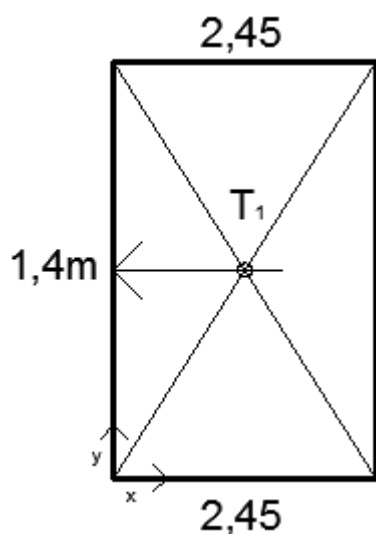
Slika 32: Udaljenost djelovanja

POKRETNJA DJELOVANJA

		EQU	STR	GEO	Mjerne jedinice
Pritisak tla na vrhu	q_A	2,45	2,05	2,45	kN/m^2
Pritisak tla na dnu	q_B	2,45	2,05	2,45	kN/m^2
Aktivna sila tla	P_A	3,43	2,87	3,43	kN/m
Kut od aktivne sile	α	0°	0°	0°	$^\circ$
Aktivna sila tla u X smjeru	P_{Ax}	3,43	2,87	3,43	kN/m
Aktivna sila tla u Y smjeru	P_{Ay}	0	0	0	kN/m
Moment aktivne sile	M	2,40	2,0	2,40	kNm/m

Tablica 19: Pokretna djelovanja

Točka djelovanja aktivne sile:



$$x_t = 1,23 \text{ m}$$

$$y_t = 0,70 \text{ m}$$

Slika 33: Udaljenost djelovanja

TOTALNE SILE I MOMENTI		EQU	STR	GEO
TRAJNA	Horizontalna aktivna sila	21,95 kN/m	18,37 kN/m	21,95kN/m
	Vertikalna aktivna sila	0	0	0
	Sila od vode	0,88	0,74	0,88
	Totalni moment	13,17 kNm/m	11,02 kNm/m	13,17 kNm/m
POKRETNOST	Horizontalna aktivna sila	3,43 kN/m	2,87 kN/m	3,43 kN/m
	Vertikalna aktivna sila	0	0	0
	Totalni moment	2,40 kNm/m	2,0 kNm/m	2,40 kNm/m

Tablica 20: Totalne sile i momenti

POTRESNO OPTEREĆENJE

Horizontalna komponenta sile: $k_h=0,11$

Vertikalna komponenta sile: $k_v=0,055$

$$\tan \omega = \frac{k_h}{1 - k_v}$$

$$\tan \omega = \frac{0,11}{1 - 0,055}$$

$$\omega = 6,64^\circ$$

Metoda Mononobe-Okabe

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

$$K_E = \frac{[\cos(25 - 6,64 - 0)]^2}{\cos 6,64 \cdot (\cos 0)^2 \cdot \cos(0 + 0 + 6,64) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(25 + 0) \cdot \sin(25 - 6,64 - 0)}{\cos(0 + 6,64 + 0) \cdot \cos(0 - 0)}}\right]^2}$$

$$K_E = 0,49$$

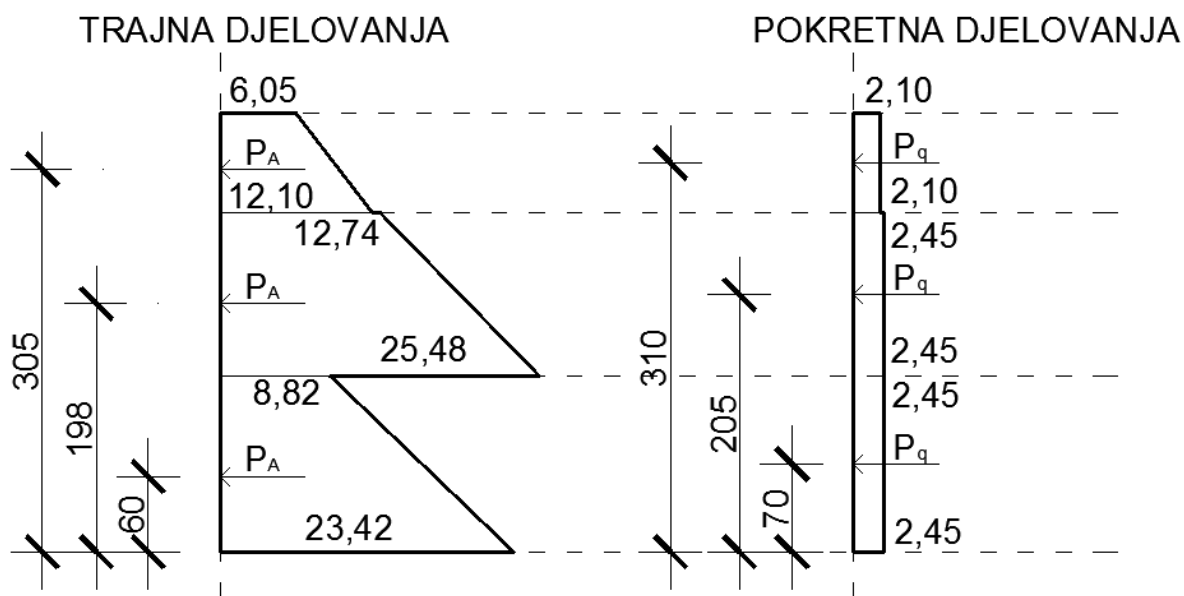
Dodatni pritisak od potresnog djelovanja

$$\xi = \frac{K_E}{k_A} - 1$$

$$\xi = \frac{0,49}{0,41} - 1$$

$$\xi = 0,19$$

Djelovanja na potpurnu konstrukciju se množe sa koeficijentom ξ i kao rezultat dobijemo dodatne sile na potpurnu konstrukciju od potresnog djelovanja.



Slika 34: Trajna i pokretna djelovanja

DJELUJUĆE SILE NA ZID

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	x	y
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,0-0,8	7,26	0	1,0	3,05
Aktivni pritisak od tla(promjenjivo)	P_q	0,0-0,8	1,68	0	1,0	3,1
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,8-2,1	24,84	0	1,0	1,98
Aktivni pritisak od tla(promjenjivo)	P_q	0,8-2,1	3,19	0	1,0	2,05
Aktivni pritisak od tla	P_A	2,1-3,5	21,95	0	2,0	0,60
Aktivni pritisak od tla(promjenjivo)	P_q	2,1-3,5	3,43	0	2,0	0,70
Sila od vode	P_v	2,1-3,5	1,80	0	2,0	0,20
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47
Zasip težina	W_s	-		45,0	1,5	2,25
Zasip opterećenje(stalno)	W_{sg}	-		15,2	1,5	2,25
Zasip opterećenje(pokretno)	W_{sq}	-		7,0	1,5	2,25

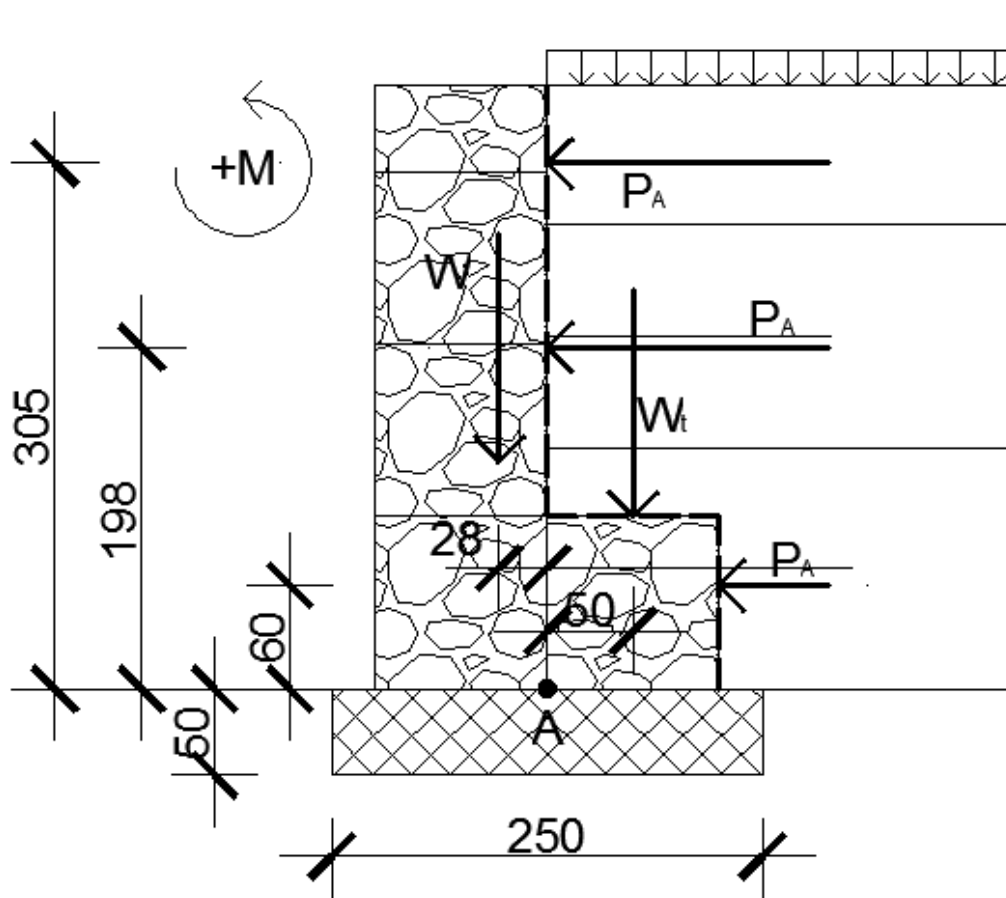
Tablica 21: Djelujuće sile

PROVJERA NOSIVOSTI TLA (EQU)

Djelujuće sile na potpornu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	x	y	M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,0-0,8	7,99	0	1,0	3,05	24,37
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,0-0,8	2,52	0	1,0	3,1	7,81
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,8-2,1	27,32	0	1,0	1,98	54,09
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,8-2,1	4,79	0	1,0	2,05	9,81
Aktivni pritisak od tla	P_A	2,1-3,5	24,15	0	2,0	0,60	14,49
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	2,1-3,5	5,15	0	2,0	0,70	3,61
Sila od vode	P_v	2,1-3,5	1,98	0	2,0	0,20	0,40
Zid težina	W	-		72,9	0,72	1,47	-52,49
Zasip težina	W_s	-		40,5	1,5	2,25	-60,75
Zasip opterećenje(stalno)	W_{sg}	-		13,68	1,5	2,25	-20,52
				=127,08			=-19,18

Tablica 22: Djelujuće sile i momenti



Slika 35: Moment na sredini baze

Σ vertikalnih sila $N= 127,08 \text{ kN/m}$

Σ momenata na sredini baze

$$M=W \cdot 0,28\text{m}-W_t \cdot 0,5\text{m}+P_A \cdot 3,05\text{m}+P_q \cdot 3,10\text{m} +P_A \cdot 1,98\text{m} +P_q \cdot 2,05\text{m}+P_A \cdot 0,60\text{m}+P_q \cdot 0,70\text{m}+P_v \cdot 0,2$$

$$M=113,61\text{kNm/m}$$

$$\text{Efektivna duljina temelja } L'=L-2 \cdot e= 2,5-2 \cdot 0,89= 0,72\text{m}$$

$$\text{Ekcentricitet } e=M/N=113,61/127,08= 0,89\text{m}$$

Nosivost tla

$$R_d = \frac{L' \cdot q_{uk}}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,72 \cdot (1000 \cdot 0,4)}{1,4}$$

$$R_d = 202,86\text{kN/m}$$

UVJET NOSIVOSTI

$$E_d \leq R_d$$

$$127,08 \text{ kN/m} \leq 202,86 \text{ kN/m} \rightarrow \text{UVJET ZADOVOLJEN!}$$

PROVJERA NA PREVRTANJE (EQU)

Djelujuće sile na potpurnu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	x	y	+M[kNm/m]	-M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,0-0,8	7,99	0	1,0	3,05	24,37	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,0-0,8	2,52	0	1,0	3,1	7,81	
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,8-2,1	27,32	0	1,0	1,98	54,09	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,8-2,1	4,79	0	1,0	2,05	9,81	
Aktivni pritisak od tla	P_A	2,1-3,5	24,15	0	2,0	0,60	14,49	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	2,1-3,5	5,15	0	2,0	0,70	3,61	
Sila od vode	P_v	2,1-3,5	1,98	0	2,0	0,20	0,40	
Zid težina	W	-		72,9	0,72	1,47		52,49
Zasip težina	W_s	-		40,5	1,5	2,25		60,75
Zasip opterećenje(stalno)	W_{sg}	-		13,68	1,5	2,25		20,52
							=114,58	=133,76

Tablica 23: Djelujuće sile i momenti

Σ momenata prevrtanja $\rightarrow M_{ed} = 114,58 \text{ kNm/m}$

Σ momenata otpora na prevrtanje $\rightarrow M_{rd} = 133,76 \text{ kNm/m}$

$$M_{ed} \leq M_{rd}$$

$$114,58 \text{ kNm/m} \leq 133,76 \text{ kNm/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

PROVJERA NA KLIZANJE (EQU)

Djelujuće sile na potpornu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	+F _x [kN/m]	-F _x [kN/m]	F _y [kN/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,99	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	2,52	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	27,32	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	4,79	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	24,15	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	5,15	0	0
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	1,98	0	0
Zid težina	W	-		0	72,9
Zasip težina	W _s	-		0	40,5
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		0	13,68
			=73,90		=127,08

Tablica 24: Djelujuće sile i momenti

Trenje na tlu iznosi:

$$R_d = N_d \cdot \tan \frac{\varphi}{\gamma_M}$$

$$R_d = 127,08 \text{ kN/m} \cdot \tan \frac{45^\circ}{1,25}$$

$$R_d = 92,33 \text{ kN/m}$$

UVJET:

$$H_d \leq R_d$$

$$73,90 \text{ kN/m} \leq 92,33 \text{ kN/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

DJELUJUĆE SILE NA ZID

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	5,7	0	1,0	3,05
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,32	0	1,0	3,1
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	20,79	0	1,0	1,98
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	2,67	0	1,0	2,05
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	18,37	0	2,0	0,60
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	2,87	0	2,0	0,70
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,74	0	2,0	0,20
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25
Zasip opterećenje(pokretno)	W _{sq}	-		7,0	1,5	2,25

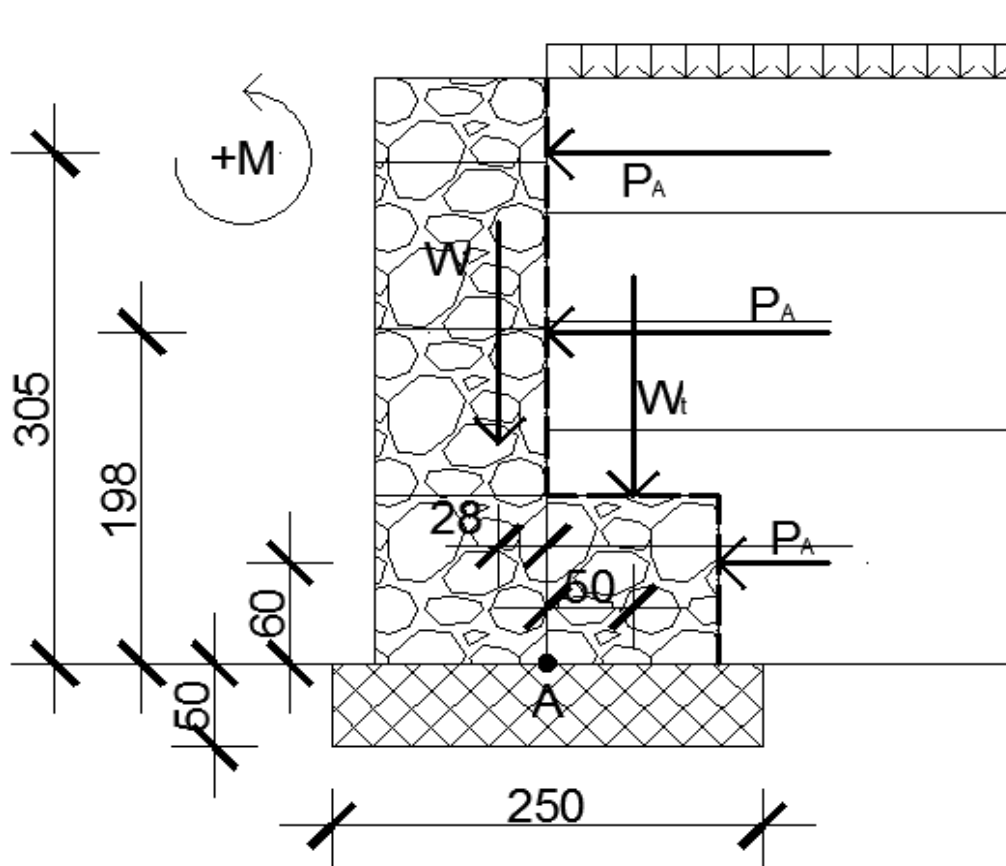
Tablica 25: Djelujuće sile

PROVJERA NOSIVOSTI STR/GEO (A1+M1)

Djelujuće sile na potpornu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y	M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,70	0	1,0	3,05	23,49
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,98	0	1,0	3,1	6,14
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	28,07	0	1,0	1,98	55,58
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	4,01	0	1,0	2,05	8,22
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	24,80	0	2,0	0,60	14,88
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	4,31	0	2,0	0,70	3,02
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,99	0	2,0	0,20	0,20
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47	-58,32
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25	-67,5
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25	-22,8
			Σ	141,2			-37,09

Tablica 26: Djelujuće sile i momenti



Slika 36: Momenti na sredini baze

Σ vertikalnih sila $N = 141,20 \text{ kN/m}$

Σ momenata na sredini baze

$$M = W \cdot 0,28 \text{m} - W_t \cdot 0,5 \text{m} + P_A \cdot 3,05 \text{m} + P_q \cdot 3,10 \text{m} + P_A \cdot 1,98 \text{m} + P_q \cdot 2,05 \text{m} + P_A \cdot 0,60 \text{m} + P_q \cdot 0,70 \text{m} + P_v \cdot 0,2$$

$$M = 111,70 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Efektivna duljina temelja } L' = L - 2 \cdot e = 2,5 - 2 \cdot 0,88 = 0,74 \text{m}$$

$$\text{Ekcentricitet } e = M/N = 111,70/127,08 = 0,88 \text{m}$$

Nosivost tla

$$R_d = \frac{L' \cdot q_{uk}}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,74 \cdot (1000 \cdot 0,4)}{1,4}$$

$$R_d = 211,43 \text{ kN/m}$$

UVJET NOSIVOSTI

$$E_d \leq R_d$$

$$141,20 \text{ kN/m} \leq 211,43 \text{ kN/m} \rightarrow \text{UVJET ZADOVOLJEN!}$$

PROVJERA NA PREVRTANJE STR/GEO (A1+M1)

Djelujuće sile na potpurnu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y	+M[kNm/m]	-M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,70	0	1,0	3,05	23,49	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,98	0	1,0	3,1	6,14	
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	28,07	0	1,0	1,98	55,58	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	4,01	0	1,0	2,05	8,22	
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	24,80	0	2,0	0,60	14,88	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	4,31	0	2,0	0,70	3,02	
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,99	0	2,0	0,20	0,20	
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47	0	58,32
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25	0	67,5
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25	0	22,8
Σ							111,53	148,62

Tablica 27: Djelujuće sile i momenti

Σ momenata prevrtanja → M_{ed}= 111,53 kNm/m

Σ momenata otpora na prevrtanje → M_{rd}=148,62 kNm/m

$$M_{ed} \leq M_{rd}$$

$$111,53 \text{ kNm/m} \leq 148,62 \text{ kNm/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

PROVJERA NA KLIZANJE STR/GEO (A1+M1)

Djelujuće sile na potpornu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	+F _x [kN/m]	-F _x [kN/m]	F _y [kN/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,70	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,98	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	28,07	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	4,01	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	24,80	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	4,31	0	0
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,99	0	0
Zid težina	W	-		0	81,0
Zasip težina	W _s	-		0	45,0
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		0	15,2
			=71,86		=141,2

Tablica 28:Djelujuće sile

Trenje na tlu iznosi:

$$R_d = N_d \cdot \tan \frac{\varphi}{\gamma_M}$$

$$R_d = 141,20 \text{ kN/m} \cdot \tan \frac{45^\circ}{1,10}$$

$$R_d = 122,35 \text{ kN/m}$$

UVJET:

$$H_d \leq R_d$$

$$71,86 \text{ kN/m} \leq 122,35 \text{ kN/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

DJELUJUĆE SILE NA ZID

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,26	0	1,0	3,05
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,68	0	1,0	3,1
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	24,84	0	1,0	1,98
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	3,19	0	1,0	2,05
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	21,95	0	2,0	0,60
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	3,43	0	2,0	0,70
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	1,80	0	2,0	0,20
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25
Zasip opterećenje(pokretno)	W _{sq}	-		7,0	1,5	2,25

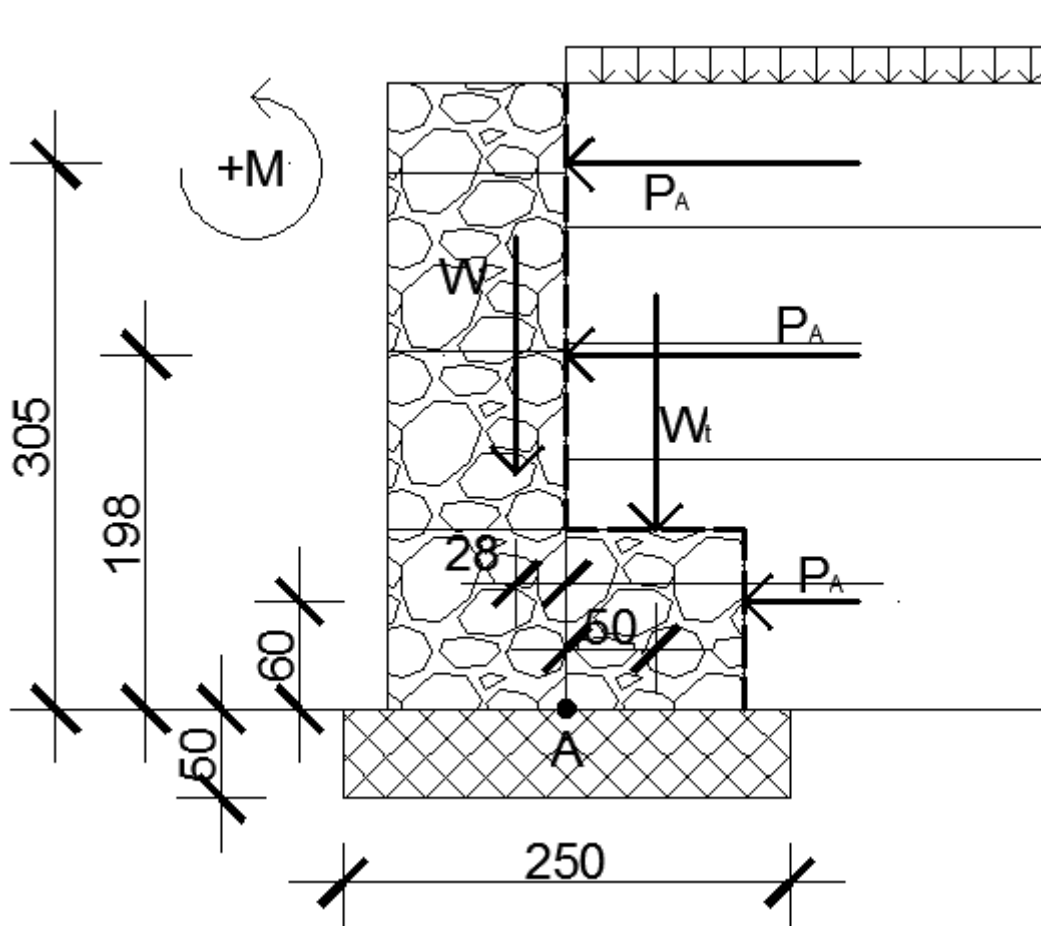
Tablica 29: Djelujuće sile

PROVJERA NOSIVOSTI STR/GEO (A2+M2)

Djelujuće sile na potpornu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y	M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,26	0	1,0	3,05	22,14
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	2,18	0	1,0	3,1	6,77
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	24,84	0	1,0	1,98	49,18
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	5,21	0	1,0	2,05	10,68
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	21,95	0	2,0	0,60	13,17
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	5,60	0	2,0	0,70	3,92
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	1,80	0	2,0	0,20	0,36
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47	-58,32
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25	-67,5
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25	-22,8
			Σ	141,2			-42,43

Tablica 30: Djelujuće sile i momenti



Slika 37: Momenti na sredini baze

Σ vertikalnih sila $N = 141,20 \text{ kN/m}$

Σ momenata na sredini baze

$$M = W \cdot 0,28 \text{ m} - W_t \cdot 0,5 \text{ m} + P_A \cdot 3,05 \text{ m} + P_q \cdot 3,10 \text{ m} + P_A \cdot 1,98 \text{ m} + P_q \cdot 2,05 \text{ m} + P_A \cdot 0,60 \text{ m} + P_q \cdot 0,70 \text{ m} + P_v \cdot 0,20$$

$$M = 106,39 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Efektivna duljina temelja } L' = L - 2 \cdot e = 2,5 - 2 \cdot 0,84 = 0,82 \text{ m}$$

$$\text{Ekcentricitet } e = M/N = 106,39/127,08 = 0,84 \text{ m}$$

Nosivost tla

$$R_d = \frac{L' \cdot q_{uk}}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,82 \cdot (1000 \cdot 0,4)}{1,4}$$

$$R_d = 234,29 \text{ kN/m}$$

UVJET NOSIVOSTI

$$E_d \leq R_d$$

$$141,20 \text{ kN/m} \leq 234,29 \text{ kN/m} \rightarrow \text{UVJET ZADOVOLJEN!}$$

PROVJERA NA PREVRTANJE STR/GEO (A2+M2)

Djelujuće sile na potpurnu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y	+M[kNm/m]	-M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,26	0	1,0	3,05	22,14	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	2,18	0	1,0	3,1	6,77	
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	24,84	0	1,0	1,98	49,18	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	5,21	0	1,0	2,05	10,68	
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	21,95	0	2,0	0,60	13,17	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	5,60	0	2,0	0,70	3,92	
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	1,80	0	2,0	0,20	0,36	
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47	0	58,32
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25	0	67,5
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25	0	22,8
Σ							106,22	148,62

Tablica 31: Djelujuće sile i momenti

Σ momenata prevrtanja → M_{ed}= 106,22 kNm/m

Σ momenata otpora na prevrtanje → M_{rd}=148,62 kNm/m

$$M_{ed} \leq M_{rd}$$

$$106,22 \text{ kNm/m} \leq 148,62 \text{ kNm/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

PROVJERA NA KLIZANJE STR/GEO (A2+M2)

Djelujuće sile na potpornu konstrukciju se reduciraju prema odgovarajućim parcijalnim koeficijentima.

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	+F _x [kN/m]	-F _x [kN/m]	F _y [kN/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,26	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	2,18	0	0
Aktivni pristisak od tla	P _A	0,8-2,1	24,84	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	5,21	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	21,95	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	5,60	0	0
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	1,80	0	0
Zid težina	W	-		0	81,0
Zasip težina	W _s	-		0	45,0
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		0	15,2
			=68,84		=141,2

Tablica 32:Djelujuće sile

Trenje na tlu iznosi:

$$R_d = N_d \cdot \tan \frac{\varphi}{\gamma_M}$$

$$R_d = 141,20 \text{ kN/m} \cdot \tan \frac{45^\circ}{1,25}$$

$$R_d = 102,59 \text{ kN/m}$$

UVJET:

$$H_d \leq R_d$$

$$68,84 \text{ kN/m} \leq 102,59 \text{ kN/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

PRORAČUN ZA POTRESNO DJELOVANJE

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	5,7	0	1,0	3,05
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,32	0	1,0	3,1
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	20,79	0	1,0	1,98
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	2,67	0	1,0	2,05
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	18,37	0	2,0	0,60
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	2,87	0	2,0	0,70
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,74	0	2,0	0,20
Zid težina	W	-		81,0	0,72	1,47
Zasip težina	W _s	-		45,0	1,5	2,25
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		15,2	1,5	2,25
Zasip opterećenje(pokretno)	W _{sq}	-		7,0	1,5	2,25

Tablica 33: Djelujuće sile

Dodatne sile zbog potresnog opterećenja

Djelovanja množim sa koeficijentom ξ , na taj način dobijem dodatne sile zbog potresnog djelovanja.

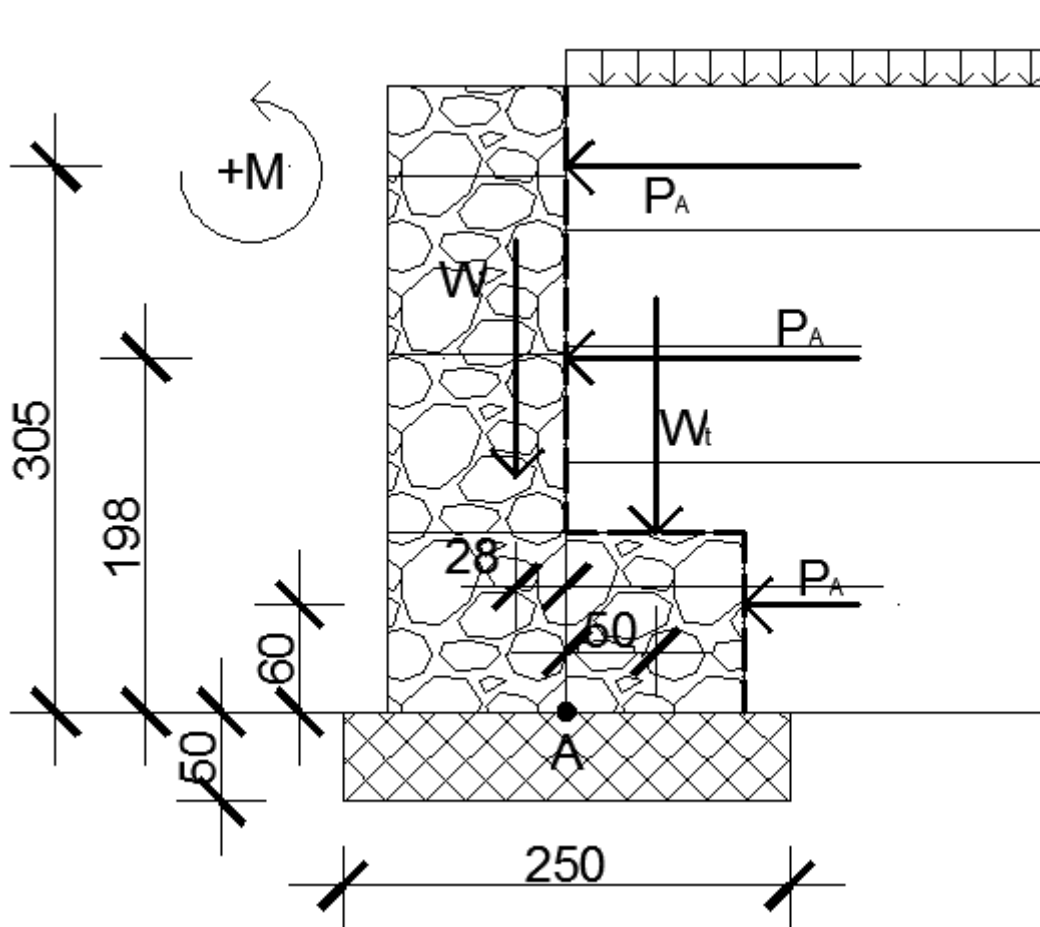
<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	x	y
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	1,37	0	1,0	3,05
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	0,32	0	1,0	3,1
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	3,95	0	1,0	1,98
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	0,51	0	1,0	2,05
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	3,49	0	2,0	0,60
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	0,55	0	2,0	0,70
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,14	0	2,0	0,20
Zid težina	W	-	8,91	4,46	0,72	1,47
Zasip težina	W _s	-	4,95	2,48	1,5	2,25
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		1,67	1,5	2,25
Zasip opterećenje(pokretno)	W _{sq}	-		0,39	1,5	2,25

Tablica 34: Djelujuće sile

PROVJERA NOSIVOSTI TLA(SA POTRESNIM OPTEREĆENJEM)

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	x	y	M[kNm/m]
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,0-0,8	7,07	0	1,0	3,05	21,56
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,0-0,8	1,64	0	1,0	3,1	5,08
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,8-2,1	24,74	0	1,0	1,98	48,98
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,8-2,1	3,18	0	1,0	2,05	6,52
Aktivni pritisak od tla	P_A	2,1-3,5	21,86	0	2,0	0,60	13,12
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	2,1-3,5	3,42	0	2,0	0,70	2,39
Sila od vode	P_v	2,1-3,5	0,88	0	2,0	0,20	0,18
Zid težina	W	-	8,91	85,46	0,72	1,47	-48,43
Zasip težina	W_s	-	4,95	47,48	1,5	2,25	-60,08
Zasip opterećenje(stalno)	W_{sg}	-		16,87	1,5	2,25	-25,31
Zasip opterećenje(pokretno)	W_{sq}	-		7,39	1,5	2,25	-11,09
			Σ	157,20			-47,08

Tablica 35: Djelujuće sile i momenti



Slika 38: Moment na sredini baze

Σ vertikalnih sila $N= 157,20$ kN/m

Σ momenata na sredini baze

$M=W \cdot 0,28m-$

$W_t \cdot 0,5m + P_A \cdot 3,05m + P_q \cdot 3,10m + P_A \cdot 1,98m + P_q \cdot 2,05m + P_A \cdot 0,60m + P_q \cdot 0,70m + W \cdot 1,47m + P_v \cdot 0,20$

$M=122,13$ kNm/m

Efektivna duljina temelja $L'=L-2 \cdot e= 2,5-2 \cdot 0,78= 0,94m$

Ekcentricitet $e=M/N=122,13/157,20= 0,78m$

Nosivost tla

$$R_d = \frac{L' \cdot q_{uk}}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,94 \cdot (1000 \cdot 0,4)}{1,4}$$

$$R_d = 268,57 \text{ kN/m}$$

UVJET NOSIVOSTI

$E_d \leq R_d$

$157,20$ kN/m $\leq 268,57$ kN/m \rightarrow UVJET ZADOVOLJEN!

PROVJERA NA PREVRTANJE(SA POTRESNIM OPTEREĆENJEM)

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	x	y	+M	-M	
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,0-0,8	7,07	0	1,0	3,05	21,56	0	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,0-0,8	1,64	0	1,0	3,1	5,08	0	
Aktivni pritisak od tla	P_A	0,8-2,1	24,74	0	1,0	1,98	48,98	0	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	0,8-2,1	3,18	0	1,0	2,05	6,52	0	
Aktivni pritisak od tla	P_A	2,1-3,5	21,86	0	2,0	0,60	13,12	0	
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P_q	2,1-3,5	3,42	0	2,0	0,70	2,39	0	
Sila od vode	P_v	2,1-3,5	0,88	0	2,0	0,20	0,18		
Zid težina	W	-	8,91	85,46	0,72	1,47	13,10	61,53	
Zasip težina	W_s	-	4,95	47,48	1,5	2,25	11,14	71,22	
Zasip opterećenje(stalno)	W_{sg}	-		16,87	1,5	2,25		25,31	
Zasip opterećenje(pokretno)	W_{sq}	-		7,39	1,5	2,25		11,09	
							Σ	122,07	169,15

Tablica 36: Djelujuće sile i momenti

Σ momenata prevrtanja $\rightarrow M_{ed} = 122,07 \text{ kNm/m}$

Σ momenata otpora na prevrtanje $\rightarrow M_{rd} = 169,15 \text{ kNm/m}$

$$M_{ed} \leq M_{rd}$$

$$122,07 \text{ kNm/m} \leq 169,15 \text{ kNm/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!

PROVJERA NA KLIZANJE(SA POTRESNIM OPTEREĆENJEM)

<u>DJELOVANJE</u>		Y1-Y2	+F _x [kN/m]	-F _x [kN/m]	F _y [kN/m]
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,0-0,8	7,07	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,0-0,8	1,64	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	0,8-2,1	24,74	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	0,8-2,1	3,18	0	0
Aktivni pritisak od tla	P _A	2,1-3,5	21,86	0	0
Aktivni pritisak od tla(pokretno)	P _q	2,1-3,5	3,42	0	0
Sila od vode	P _v	2,1-3,5	0,88	0	0
Zid težina	W	-		0	81,0
Zasip težina	W _s	-		0	45,0
Zasip opterećenje(stalno)	W _{sg}	-		0	15,2
			=62,79		=141,2

Tablica 37: Djelujuće sile

Trenje na tlu iznosi:

$$R_d = N_d \cdot \tan \frac{\varphi}{\gamma_M}$$

$$R_d = 141,20 \text{ kN/m} \cdot \tan \frac{45^\circ}{1,25}$$

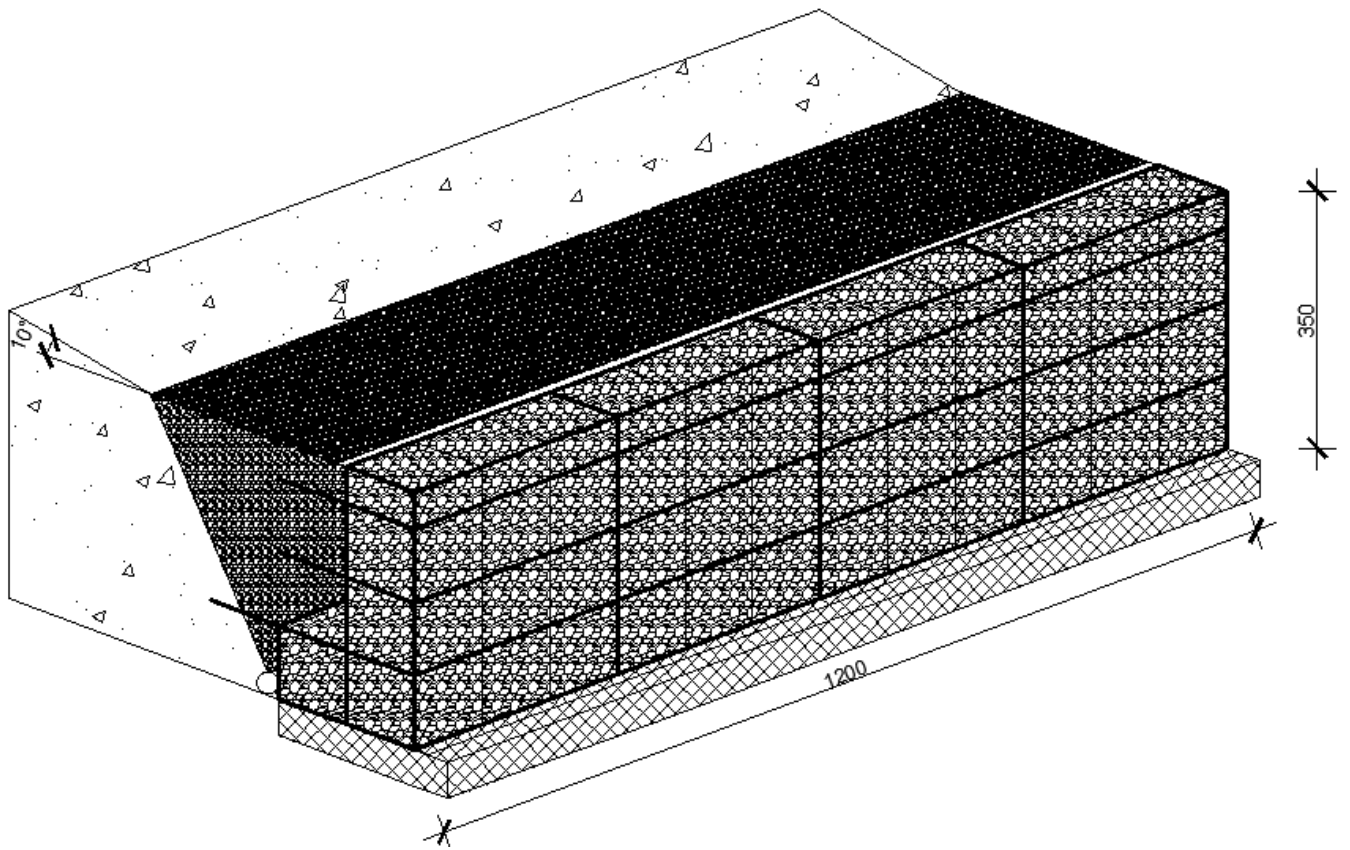
$$R_d = 102,59 \text{ kN/m}$$

UVJET:

$$H_d \leq R_d$$

$$62,79 \text{ kN/m} \leq 102,59 \text{ kN/m}$$

UVJET ZADOVOLJEN!



Slika 39: Prikaz gabionskog zida

6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu objasnio sam smisao, podjelu, načine izvođenja i proračun potporne konstrukcije. Smatram da su potporne konstrukcije široki pojam i veoma složene. Grade se iz raznih materijala, zbog toga treba odrediti najsigurniji, a opet racionalan materijal. Za projektiranje potporne konstrukcije potrebno je izraditi ispitivanja na licu mjesta gradnje i laboratorijska ispitivanja na neporemećenim uzorcima tla. Taj dio posla je veoma bitan jer nam on određuje na koji ćemo način i koju vrstu potporne konstrukcije izvoditi na pojedinoj lokaciji. Ispitivanjem tla dobijemo njegova svojstva, koja nam koriste kod proračuna djelovanja i otpornosti na potpurnu konstrukciju.

U radu sam napravio proračun gabionskog zida na tri granična stanja, analitičnim putem pomoću Eurokoda 7. Odabrao sam TERRAMESH sustav, koji se sastoji od gabiona i horizontalno postavljenih mreža za armiranje tla iza zida. Smatram da je gabionski zid kao vrsta potporne konstrukcije veoma pogodan. Upravo zbog toga jer on omogućuje dobru drenažu tla kojeg pridržava. Drenaža potpornih konstrukcija je veoma bitna jer djelovanje podzemne vode uvelike utječe na njegovu stabilnost, zbog toga treba dobro funkcionirati. Drugi razlog zbog kojeg mislim da su gabioni pogodni je taj da ima dojam prirodnosti. Sastavljeni su pomoću ručnog rada od pred gotovljenih mreža i punjeni odgovarajućim lomljenim kamenom na licu mjesta gradnje. Nepogodna strana im je ta da za njihovo punjenje treba puno ručnog rada, što u današnje vrijeme postaje sve skuplje.

Izabrana vrsta potporne konstrukcije treba biti u skladu sa okolinom u kojoj se nalazi, sa tehnologijom izvođenja kojom raspolažemo, te na kraju dogovor sa investitorom.

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MARTIN GREGURONIC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POTPORNE KONSTRUKCIJE, PRORAČUN GABIONSKOG ZIDA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Greguronić M.

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MARTIN GREGURONIC (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POTPORNE KONSTRUKCIJE, PRORAČUN GABIONSKOG ZIDA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Greguronić M.

(vlastoručni potpis)

7. LITERATURA

- [1] Ivšić, T.: Potporne konstrukcije 1, predavanja, Građevinski fakultet, Zagreb, 2012.
- [2] Nonveiller, E.: Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga Zagreb, 1979.
- [3] Terzaghi, K.: Teorijska mehanika tla, Naučna knjiga Beograd, 1972.
- [4] Roje-Bonacci, T.: Potporne građevine i građevinske jame, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2005.
- [5] Eurokod 7: Geotehničko projektiranje (EN 1997-1), 2004.

Popis slika

Slika 1: Masivni betonski zid

Slika 2: Armirano-betonski T i L zidovi

Slika 3: Gabionski zid

Slika 4: Terramesh sustav

Slika 5: Maccaferi gabion

Slika 6: Čelične talpe

Slika 7: Prikaz izvedbe armirano-betonske dijafragme

Slika 8: Djelovanje na potpurnu konstrukciju

Slika 9: Određivanje aktivnog tlaka prema Coulomb-ovoj metodi

Slika 10: Pasivni otpor ispred zida

Slika 11: Prikaz horizontalnih pomaka

Slika 12: Odnos deformacija

Slika 13: Struktura 10 eurokoda i veza između njih

Slika 14: Primjeri primjene metode parcijalnih koeficijenata

Slika 15: Provjera stabilnosti za pet graničnih stanja nosivosti metodom parcijalnih koeficijenata

Slika 16: Granično stanje prevrtanja zida oko rubne točke temelja

Slika 17: Nosivost tla ispod stope temelja

Slika 18: Moguća granična stanja globalne nestabilnosti tla

Slika 19: Tri projektna pristupa za granična stanja STR i GEO

Slika 20: Parcijalni faktori po skupinama za granična stanja STR i GEO

Slika 21: Tri projektna pristupa za STR i GEO; djelovanja i otpornosti

Slika 22: Projektni pristup 1

Slika 23: Projektni pristup 2

Slika 24: Projektni pristup 3

Slika 25: Prikaz klizišta

Slika 26: Prikaz slojeva tla

Slika 27: Prikaz gabionskog zida

Slika 28: Udaljenost djelovanja

Slika 29: Udaljenost djelovanja

Slika 30: Udaljenost djelovanja

Slika 31: Udaljenost djelovanja

Slika 32: Udaljenost djelovanja

Slika 33: Udaljenost djelovanja

Slika 34: Trajna i pokretna djelovanja

Slika 35: Moment na sredini baze

Slika 36: Moment na sredini baze

Slika 37: Moment na sredini baze

Slika 38: Moment na sredini baze

Slika 39: Prikaz gabionskog zida

Popis tablica

Tablica 1: Prikaz dimenzija za sustav

Tablica 2: Prikaz dimenzija

Tablica 3: Horizontalne sile

Tablica 4: Ulazni podaci

Tablica 5: Parcijalni koeficijenti za parametre tla

Tablica 6: Prikaz oznaka

Tablica 7: Parcijalni koeficijenti za djelovanja

Tablica 8: Parcijalni koeficijenti za parametre tla

Tablica 9: Koeficijenti aktivnog tlaka

Tablica 10: Trajna djelovanja

Tablica 11: Promjenjiva djelovanja

Tablica 12: Totalne sile i momenti

Tablica 13: Koeficijenti aktivnog tlaka

Tablica 14: Trajna djelovanja

Tablica 15: Promjenjiva djelovanja

Tablica 16: Totalne sile i momenti

Tablica 17: Koeficijenti aktivnog tlaka

Tablica 18: Trajna djelovanja

Tablica 19: Promjenjiva djelovanja

Tablica 20: Totalne sile i momenti

Tablica 21: Djelujuće sile

Tablica 22: Djelujuće sile i momenti

Tablica 23: Djelujuće sile i momenti

Tablica 24: Djelujuće sile i momenti

Tablica 25: Djelujuće sile

Tablica 26: Djelujuće sile i momenti

Tablica 27: Djelujuće sile i momenti

Tablica 28: Djelujuće sile

Tablica 29: Djelujuće sile

Tablica 30: Djelujuće sile i momenti

Tablica 31: Djelujuće sile i momenti

Tablica 32: Djelujuće sile

Tablica 33: Djelujuće sile

Tablica 34: Djelujuće sile

Tablica 35: Djelujuće sile i momenti

Tablica 36: Djelujuće sile i momenti

Tablica 37: Djelujuće sile