

Potporni i obložni zidovi

Sopić, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:453884>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Matea Sopić

Potporni i obložni zidovi

Završni rad

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij

Geotehničko inženjerstvo

Matea Sopić

JMBAG: 0114033317

Potporni i obložni zidovi

Završni rad

Rijeka, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 19. rujna 2022.

Zavod: **Zavod za hidrotehniku i geotehniku**
Predmet: **Geotehničko inženjerstvo**
Grana: **2.05.01 geotehnika**

ZAVRŠNI ZADATAK br.

Pristupnik: **Matea Sopić (0114033317)**
Studij: **Građevinarstvo**

Zadatak: **POTPORNI I OBLOŽNI ZIDOVI**

Opis zadatka:

U radu je obrađena primjena i podjela potpornih i obložnih zidova. Prikazani su elementi proračuna potpornih konstrukcija i primjer proračuna konkretnog potpornog zida kroz slijedeće glavne cjeline:

- DJELOVANJA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE
- OBLOŽNI ZIDOVI I POTPORNI ZIDOVI
- PRORAČUN POTPORNIH ZIDOVA PREM EC 7
- ODVODNJA IZA POTPORNOG ZIDA
- PRIMJER PRORAČUNA POTPORNOG ZIDA

Zadatak uručen pristupniku: 24. veljače 2022.
Rok za predaju rada: 19. rujna 2022.

Mentor:



Izv. prof. dr. sc. Sanja Dugonjić Jovančević

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Sopić Matea

U Rijeci, 19.09.2022.

ZAHVALA

Veliko hvala mentorici i profesorici izv. prof. dr. sc. Sanji Dugonjić Jovančević za pomoć, korisnu literaturu i savjete prilikom izrade završnog rada. Hvala Vam što ste mi omogućili da izradim ovaj rad pod vašim vodstvom!

Također, veliku zahvalnost iskazujem svojoj obitelji i dečku bez kojih moje postignuće, ne bi bilo moguće. Hvala vam na strpljenju, podršci i pomoći tijekom ovih godina!

SAŽETAK

Potporni zidovi tema su ovog završnog rada. Potporni zidovi su građevinski objekti koji spadaju u kategoriju potpornih konstrukcija. Uvodni dio objašnjava što zapravo jesu potporne konstrukcije, gdje se koriste i koja im je svrha. U daljnjim poglavljima razrađene su tematike vezane uz opterećenja koja djeluju na potporne zidove, podjelu i vrste potpornih zidova, svrha obložnih zidova, problematika odvodnje iza potpornog zida te proračun i dimenzioniranje potpornih zidova prema europskoj normi, Eurokodu 7, kao i primjer proračuna konkretnog potpornog zida.

Ključne riječi: Potporni zidovi, obložni zidovi, proračun potpornih zidova, odvodnja iza potpornog zida, Eurokod 7

SUMMARY

The subject of this paper are retaining walls. Retaining walls are construction objects that belong to the category of supporting structures. The introductory part explains what support structures actually are, where are they used and what their purpose is. In further chapters, loads acting on retaining walls are explained, also the division and types of retaining walls, the purpose of facing walls, the issue of drainage behind the retaining wall, and the calculation and dimensioning of retaining walls according to the European standard, Eurocode 7, as well as an concrete example of the calculation of retaining wall.

Keywords: Retaining walls, cladding walls, calculation of retaining wall, drainage behind the retaining wall, Eurocode 7

POPIS SLIKA

- Slika 1. Djelovanja na gravitacijski potporni zid (foto: Bond i Harris, 2008.)
- Slika 2. Prikaz porasta aktivnog tlaka linearno s dubinom. (foto: Lukić, 2013.)
- Slika 3. Promjena plohe sloma pasivnog klina iza zida s nekim kutom (foto: Nonveiller, 1974.)
- Slika 4. Raspodjela pritisaka tla na zid za aktivno stanje ravnoteže (foto: Szavits-Nossan, 2015.)
- Slika 5. Kombinirana zaštita usjeka mrežama protiv odrona (foto: IGH Zagreb)
- Slika 6. Primjer usporedbe obložnog i potpornog zida (foto: Brucic, 2018.)
- Slika 7. Primjer obložnog zida izvedenog uz prometnicu (foto: Renar d.o.o., i Neuron d.o.o., 2004.)
- Slika 8. Primjer upotrebe potpornih zidova (foto: Nonveiller, 1974.)
- Slika 9. Primjer potpornog zida rađenog od suhozida (foto: Renar d.o.o., i Neuron d.o.o., 2004.)
- Slika 10. Košara za zid od gabiona, otvorena i sastavljena (foto: Nonveiller, 1974.)
- Slika 11. Primjer sanacije betonskog potpornog zida u Gornjim Velešćima, 2020. (foto: Faktor.ba, 2020.)
- Slika 12. Primjer zida od armiranog betona (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)
- Slika 13. Primjer ekonomičnijeg tipa gravitacijskog potpornog zida (foto: Renar d.o.o., i Neuron d.o.o., 2004.)
- Slika 14. Primjer potpornog zida s konzolom (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)
- Slika 15. Primjer zida izvedenog od montažnih elemenata (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)
- Slika 16. . Primjer presjeka masivnog potpornog zida s detaljima drenaže i odvodnje (foto: Roje-Bonacci, 2005.)
- Slika 17. Dijagram za određivanje područja unutar kojeg se mora nalaziti granulometrijska krivulja drenažnog zasipa (foto: Roje-Bonacci, 2005.)
- Slika 18. Različite vrste i dimenzije plastičnih drenažnih cijevi (foto: Hidromont d.o.o.)
- Slika 19. Primjer drenažnog sustava i položaj brtvenog sloja (foto: Roje-Bonacci, 2005.)
- Slika 20. Dijagram toka za određivanje geotehničke kategorije (foto: Lebo, 2014.)
- Slika 21. Prikaz preporučene dubina iskopavanja (foto: Bond i Harris, 2008.)
- Slika 22. Prikaz neplanirane dubine iskopavanja (foto: Bond i Harris, 2008.)
- Slika 23. Deformacija prizme tla na glatkoj podlozi (foto: Nonveiller, 1974.)
- Slika 24. Definicija veličina i predznaka za pasivni i aktivni pritisak (foto: Szavits-Nossan, 2015.)
- Slika 25. Kontrola stabilnosti na prevrtanje oko točke A (foto: Szavits-Nossan, 2015.)
- Slika 26. Kontrola stabilnosti na klizanje (foto: Dugonjić Jovančević, 2015.)
- Slika 27. Nosivost tla ispod stope temelja zida (foto: Szavits-Nossan, 2015.)
- Slika 28. Primjer potpornog zida prema kojemu je izrađen statički proračun
- Slika 29. Oznake i simboli dobiveni proračunom prikazani na skici
- Slika 30. Provjera nosivosti tla ispod temelja potpornog zida

SADRŽAJ

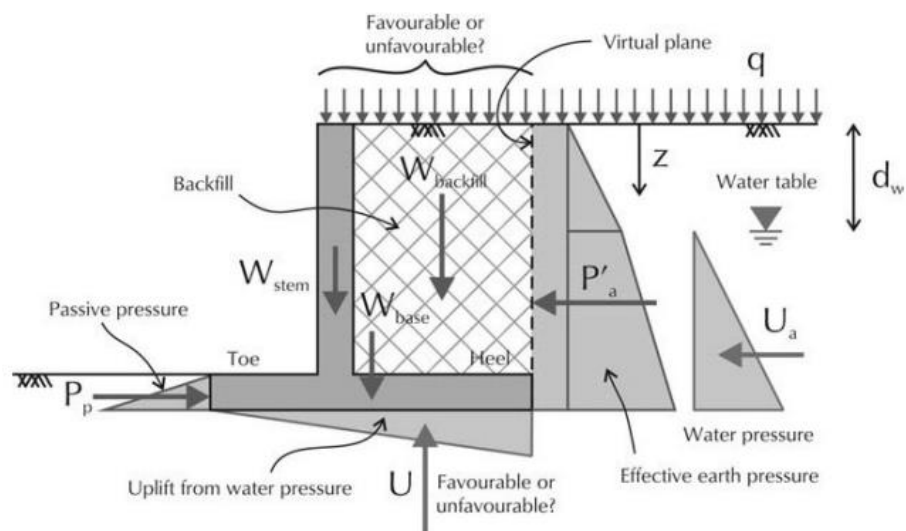
1.	UVOD.....	1
2.	DJELOVANJA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE.....	2
2.1.	AKTIVNI POTISAK TLA	3
2.2.	PASIVNI OTPOR TLA	4
2.3.	DJELOVANJE VODE NA POTPORNE KONSTRUKCIJE.....	5
2.4.	VLASTITA TEŽINA KONSTRUKCIJE.....	5
3.	OBLOŽNI ZIDOVI.....	6
4.	POTPORNI ZIDOVI.....	9
5.	ODVODNJA IZA POTPORNOG ZIDA	17
5.1.	DRENAŽNI ZASIP	18
5.2.	ODVODNI DIO	19
5.3.	PROCJEDNICE	20
6.	PRORAČUN POTPORNIH ZIDOVA PREMA EC7.....	21
6.1.	PRIMJENA EUROKODA 7- EC7 U DIMENZIONIRANJU I PRORAČUNU.....	21
6.2.	ISTRAŽNA ISKOPAVAJA ZA POTPORNE ZIDOVE.....	23
6.3.	NEPLANIRANO ISKOPAVANJE.....	24
6.4.	GRANIČNA STANJA.....	25
6.5.	PRITISCI U TLU.....	26
6.5.1.	MIRNI POTISAK TLA.....	27
6.5.2.	AKTIVNI POTISAK I PASIVNI OTPOR TLA.....	28
6.6.	ANALIZA STABILNOSTI POTPORNIH ZIDOVA.....	31
6.6.1.	KONTROLA STABILNOSTI NA PREVRTANJE.....	31
6.6.2.	KONTROLA STABILNOSTI NA KLIZANJE	32
6.6.3.	KONTROLA NAPONSKOG STANJA ISPOD STOPE TEMELJA ZIDA.....	33
7.	PRIMJER PRORAČUNA POTPORNOG ZIDA PREMA EC7.....	35
8.	ZAKLJUČAK.....	42
	LITERATURA.....	43

1. UVOD

Potporni objekti su trajni ili privremeni građevinski objekti čija je glavna zadaća poduprijeti i spriječiti urušavanje strmog usjeka terena, kao i materijala u nasipu. Da je materijal poduprt kažemo kada stoji s pokosom strmijim od onog kojeg bi zauzeo kad ne bi bilo konstrukcije. Njihovom izgradnjom postiže se potrebno izravnavanje terena, osiguravaju usjeci na prometnicama, primjenjuju se u regulaciji vodotoka, sanaciji nestabilnih terenskih kosina, kao i u visokogradnji, gdje podrumski, armiranobetonski zidovi služe kao potporni zidovi (Roje-Bonacci, 2005). U prošlosti je dizajn zidanih konstrukcija bio uglavnom imitacija dizajna postojećih zidova. Inovacije su se često razvijale slučajno, intuitivno i bile su rijetke pojave. Danas u procesu izgradnje i projektiranja zahtjevi konstantno postaju složeniji. Konstrukcije moraju služiti više svrha, trajati dulje i zahtijevati manje održavanja i popravaka. Tema ovog rada su potporne konstrukcije, odnosno zidovi koji imaju vrlo široku primjenu u graditeljstvu, te je danas gotovo nezamislivo projektiranje i izgradnja mnogih građevinskih objekata bez primjene i poznavanja potpornih konstrukcija, stoga je nužno kontinuirano poboljšavati njihov dizajn. Osim općenite podjele i opisa potpornih zidova, u ovom su radu pojašnjena i djelovanja različitih opterećenja na konstrukciju te odvodnja iza potpornih zidova. U radu je također razrađena tematika koja se odnosi na proračun i dimenzioniranje potpornih zidova prema Eurokodu 7, čija je svrha standardiziranje i definiranje jasnih pravila, te korištenje ujednačenih izraza i postupaka za rješavanje problema u projektiranju i građenju diljem svijeta.

2. DJELOVANJA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE

Na potporne konstrukcije djeluje niz različitih opterećenja, ovisno o njihovoj namjeni, vrsti i veličini. Moguća su sljedeća horizontalna djelovanja: bočni pritisci od tla, prirodnog ili nasutog, kojih dijelimo u tri osnovne vrste. To su: mirni potisak, aktivni pritisak te pasivni otpor koji su pojedinačno detaljno objašnjeni u nastavku rada. Osim horizontalnih potisaka od tla, na potporne konstrukcije djeluju i opterećenja od vode. Kod nekih objekata drenažom možemo smanjiti prisutnost vode, za koju su karakteristična djelovanja hidrostatičkog i hidrodinamičkog tlaka. Potporne su konstrukcije opterećene i vlastitom težinom konstrukcijskog elementa. Osim nabrojanih, moguća su djelovanja i ostalih vanjskih opterećenja, npr. opterećenja od susjednih građevina, kranskih staza, seizmičkih opterećenja ili pak objekata koji su oslonjeni na potporu (npr. rasvjetni stupovi).

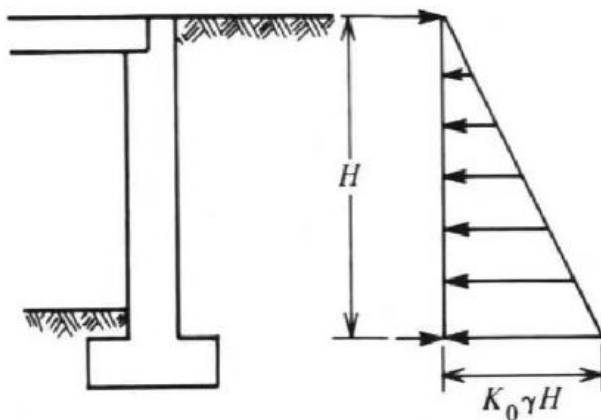


Slika 1. Djelovanja na gravitacijski potporni zid uz pretpostavku da postoji opterećenje na površini tla (q) i da je razina podzemne vode ispod razine temelja. Svi simboli sa slike objašnjeni su u poglavlju 5.

(foto: Bond i Harris, 2008.)

2.1. Aktivni potisak tla

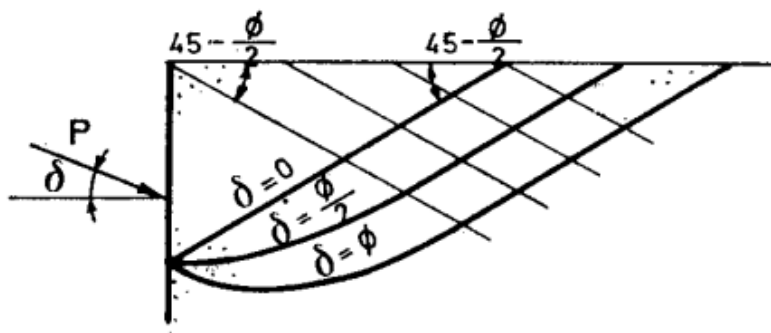
Aktivni potisak tla definira se kao opterećenje koje djeluje na zid i svojim ga djelovanjem pokušava pomaknuti, odnosno prevrnuti. Raste linearno s dubinom kako je prikazano na slici (2). Njegov intenzitet ovisi o raznim parametrima, kao što su vrsta, osobine i vlažnost tla, vrsta i dimenzije potporne konstrukcije, prisutnost podzemne vode i ostalih vanjskih opterećenja. Zbog pojave trenja u kontaktu s tlom, aktivni potisak djeluje pod nekim kutem ($\delta > 0$) u odnosu na zid. Za određivanje aktivnog tlaka postoji više različitih metoda proračuna, u poglavlju 5. razrađena je metoda proračuna prema EC7. Postoje i slučajevi gdje aktivni tlak ne raste linearno s dubinom, to je slučaj gdje je površina tla iza zida lomljena. Tada se aktivni tlak računa na drugačiji način, ovisno o kutu pod kojim djeluje na zid (Roje-Bonacci, 2005).



Slika 2. Prikaz porasta aktivnog tlaka linearno s dubinom (foto: Lukić, 2013.)

2.2. Pasivni otpor tla

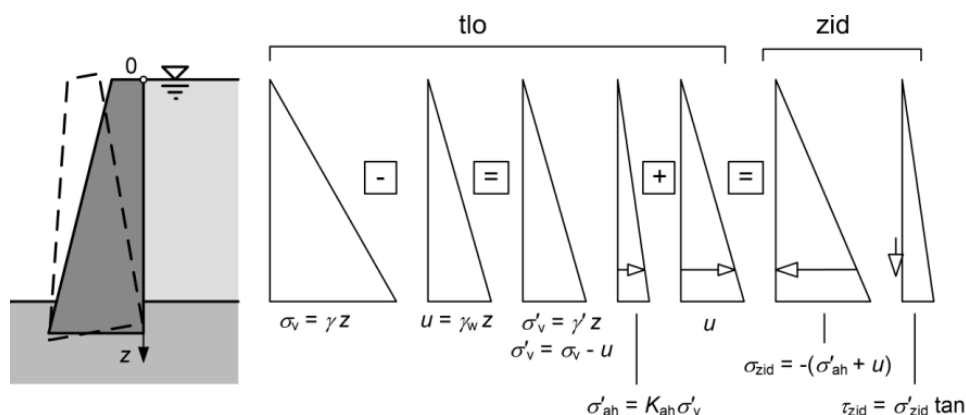
Pasivni otpor tla obično je malog intenziteta, i za postizanje njegove pune vrijednosti potreban je puno veći pomak u odnosu na onaj potreban za aktiviranje aktivnog pritiska. Poznavanje njegovog intenziteta sastavni je dio u proračunu stabilnosti potpornog zida od klizanja i prevrtanja. Kod proračuna nosivosti treba uzeti u obzir hoće li tlo ispred zida biti uvijek prisutno, ili postoji mogućnost njegova uklanjanja s vremenom. “Ukoliko tlo ispred zida neće biti prisutno tijekom životnog vijeka potpornog zida, nema potrebe za računanjem povoljnog djelovanja pasivnog otpora” (Gregurović, 2018).



Slika 3. Promjena plohe sloma pasivnog klina iza zida s nekim kutom $\delta > 0$ (foto: Nonveiller, 1974.)

2.3. Djelovanje vode na potporne konstrukcije

Podzemna voda je gotovo učestala pojava koju je bitno analizirati kod proračuna potpornih konstrukcija. Ako je prisutna u tlu iza konstrukcije, na nju djeluje hidrostatički pritisak (osim ako je drenirana). Intenzitet pritiska veći je od razlike aktivnog potiska vlažnog i uronjenog materijala. Osim pritiska na zid, djeluje i na efektivnu težinu tla (Szavits-Nossan, 2015). Ako je materijal konstrukcije propustan na nju djeluju i hidrodinamički utjecaji koje je potrebno analizirati prilikom proračuna aktivnog pritiska čija se vrijednost može znatno uvećati kod dimenzioniranja. Vrlo je bitno dimenzionirati zid ovisno o propusnosti tla iza zida, pouzdanim sustavom odvodnje. Simboli sa slike (4) detaljno su objašnjeni u poglavlju 5.



Slika 4. Raspodjela pritisaka tla na zid za aktivno stanje ravnoteže kad je podzemna voda u hidrostatičkom stanju s razinom na površini terena iza zida (foto: Szavits-Nossan, 2015.)

2.5. Vlastita težina konstrukcije

“Vlastita težina zida dobiva se ako se kubatura zidova pomnoži zapreminskom težinom materijala. Za zidove na suhom računamo težinu bez uzgona, a ako je zid potpuno ili djelomično uronjen u vodu računamo s učinkom uzgona” (Dugonjić Jovančević, 2015). U proračunu za vlastitu težinu koristimo oznaku (G ili W).

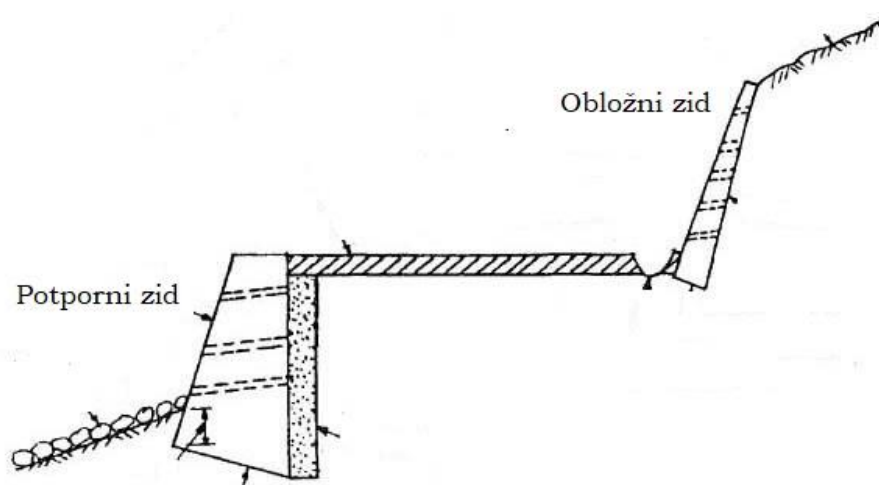
3. OBLOŽNI ZIDOVI

„Obloge i obložne zidove možemo razlikovati prema debljini njihova presjeka. Kada je obloga deblja, npr. preko 15 cm možemo već govoriti o obložnom zidu koji će imati veći nosivi odnosno statički kapacitet. U protivnome je to samo obloga koja štiti zasjek tla ili stijene od urušavanja na prometnicu ili sprječava ispadanje manjih blokova stijene, dijelova zemlje iz tijela nasipa ispod ili iznad prometnice“ (Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004). U većini slučajeva izvode se prskanim betonom, a nekada, kada to konstrukcija dozvoljava, postavljaju se obloge samo od čeličnih mreža. Takve primjere najčešće vidamo uz prometnice. Također se može koristiti i kamena obloga. „Kamena obloga štiti tijelo nasipa na obje strane prometnice. Kameni blokovi su slagani i nisu vezanim nikakvim vezivnim materijalom. Nasipni materijal tijela nasipa je sitnije granulacije, a kamena obloga je krupnija, masivnija, te ne dopušta ispadanje ili gubitak materijala iz tijela nasipa putem procjeđivanja. Ovakav oblik zaštite kosina vrlo se često susreće u primorskim i posebno u dijelovima srednje i južne Dalmacije. Učestalo je korišten kao dio konstrukcije nasipnog tijela Jadranske obalne ceste građene u pedesetim i šezdesetim godinama prošlog stoljeća“ (Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004).



Slika 5. Kombinirana zaštita usjeka mac-mat mrežama i mrežama protiv odrona (foto: IGH d.d. Zagreb)

Obložni su zidovi definirani kao objekti koji se izvode na mjestima gdje štite strme pokose usjeka od atmosferilija i ostalih mogućih djelovanja, kao i od urušavanja. Vrlo često nemaju nosivu ulogu, niti ikakvog doprinosa krutosti. Kako i ostale građevine, tako i obložni zidovi zahtijevaju pravilno održavanje i rutinske preglede kojim se može spriječiti propadanje ili oštećenje same građevine. Prednosti obložnih zidova su ekonomičnost, za gradnju je moguće koristiti lokalne materijale, jednostavnost izvedbe te povećanje sigurnosti sudionika u prometu, i ostalim lokacijama gdje se izvode obložni zidovi. Estetski izgled obložnih zidova uvjetovan je potrebnom visinom zida, prirodnom podlogom kao i nagibom litice (Terra Aqua Inc., Quora, 2017).



Slika 6. Primjer usporedbe obložnog i potpornog zida (foto: Brucic, 2018.)

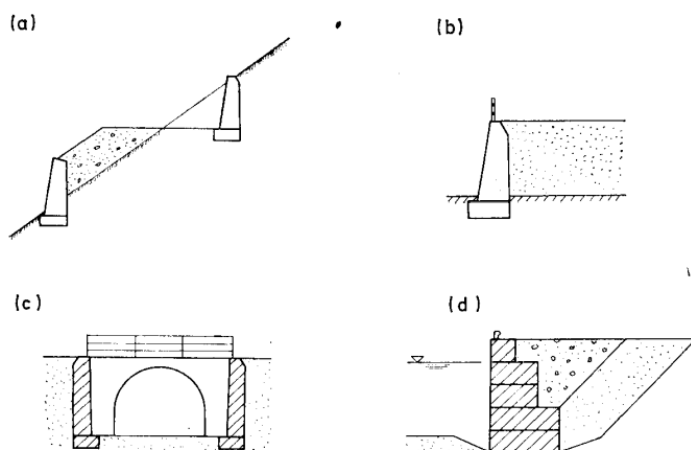
Gabionski zidovi, osim što mogu biti klasificirani kao potporni, mogu se i izvoditi kao obložni zidovi. Kameni zidovi najčešće su vrste obložnih zidova. Takvi zidovi mogu biti kameni zidani u mortu, rolirung, gabionski madraci.



Slika 7. Primjer obložnog zida izvedenog uz prometnicu (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)

4. POTPORNİ ZIDOVI

Potporni zidovi definiraju se kao objekti koji svojim kapacitetom podupiru zasjeka terena ili nasut materijal, i sprječavaju gubitak stabilnosti. Razlikuju se od ostalih potpornih građevina po tome što imaju temelj, pomoću kojega i prenose opterećenja u dublje slojeve geotehničkog profila. Potporni zidovi preuzimaju opterećenja od tla i ostalih tvari te za to moraju biti prikladno dimenzionirani, nastojeći održati stabilnost. Imaju vrlo široku primjenu u građevinarstvu, koriste se za osiguranje pokosa i zasjeka na prometnicama, osiguranja platoa, obalnih zidova, kod pristaništa u lukama, kao krila upornjaka mostova, i niza drugih građevina. Razlikujemo potporne zidove podijeljene prema vrsti materijala i tipu konstrukcije. U nastavku su obrađeni neki tipovi potpornih zidova koji su prema vrsti materijala najčešće korišteni, a osim nabrojanih postoje i zidovi od nešto rjeđe korištenog materijala kao što su opeka, kombinacija betona i kamena, betoniranih montažnih elemenata, a u novije doba koristi se i armirano tlo.



Slika 8. Primjer upotrebe potpornih zidova: (a) zasjek za široku cestu, (b) plato, (c) rampa za ulaz u tunel, (d) masivni zid pristaništa (foto: Nonveiller, 1974.)

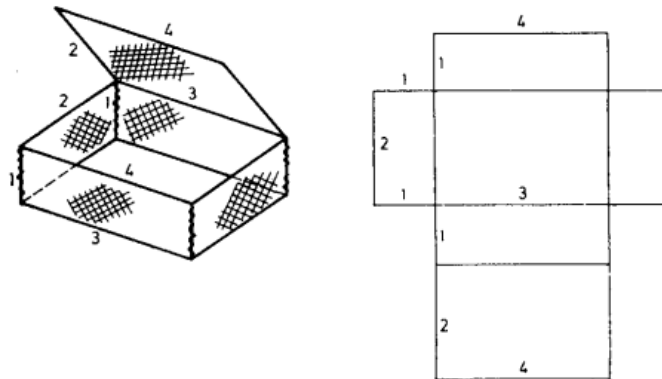
Najčešće vrste potpornih zidova prema vrsti materijala su:

1.) Zidovi od lomljenog ili grubo klesanog kamena (suhozidi). Suhozid je klasičan materijal koji se prije koristio za potporne zidove, no u današnje se vrijeme izbjegava zbog visoke cijene. Osim estetskih prednosti, zidovi od suhozida vrlo su trajni. Specifični su po tome što mogu biti građeni bez upotrebe morta (Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004). Prikazan je primjer potpornog zida od suhozida na slici (9).



Slika 9. Primjer potpornog zida rađenog od suhozida (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o, 2004.)

2.) Zidovi od nasutog materijala. Konstruktivni elementi u obliku košare (gabioni) prikazani na slici (10) polažu se na za to predviđeno mjesto, pune nasutim materijalom, zatim se zatvore i vežu te se proces ponavlja dok se ne postigne određena željena visina zida. „Vrlo su prikladni za brzu stabilizaciju manjih klizanja zasjeka uz ceste jer se mogu izvoditi u pojedinim kratkim dionicama, pa se izbjegava jači poremećaj nestabilne mase. Za razliku od zidova građenih drugim materijalima, mogu djelovati odmah“ (Nonveiller, 1974).



Slika 10. Košara za zid od gabiona, otvorena i sastavljena (foto: Nonveiller, 1974.)

3.) Zidovi od betona. Beton je materijal najčešće korišten za gradnju potpornih zidova. Materijal mora biti nepropustan za vodu, i postojan na mrazu. Površine nakon skidanja oplata mogu ostati neobrađene, jer se za betonske zidove koriste prikladno izrađene i sastavljene oplata, a nakon skidanja oplata površina zida ostaje ravna. Za dobivanje estetskog izgleda mogu se oblikovati oplatni paneli. Zidovi se nakon betoniranja ne žbukaju, jer nerijetko žbuka može otpadati, zbog diferencijalnih deformacija koje se odvijaju između žbuke i podloge (Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004).



Slika 11. Primjer sanacije betonskog potpornog zida u Gornjim Velešćima, 2020. (foto: Faktor.ba, 2020.)

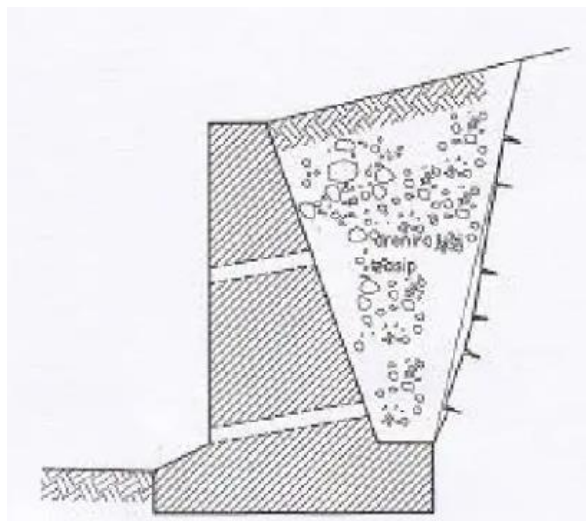
4.) Zidovi od armiranog betona jednostavniji su za izvođenje od onih rađenih samo betonom, jer u ovom slučaju armatura preuzima opterećenja od zemlje. Izvode se u različitim oblicima, a za izvedbu su dovoljne klasične, jednostavne ravne oplatae. Najčešći oblike je armirano betonska konzola upeta u armirano betonsku temeljnu ploču. Na mjestu uklještenja konzole u temeljnu ploču, djelovanje aktivnog tlaka izaziva najveći moment savijanja, zbog kojeg je upravo na tom mjestu i potreban veći betonski presjek, kao i veća količina armature. Poprečna se rebra mogu postaviti ispred ili iza zida, te se na taj način može smanjiti debljina konzolne ploče (Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004).



Slika 12. Primjer zida od armiranog betona (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)

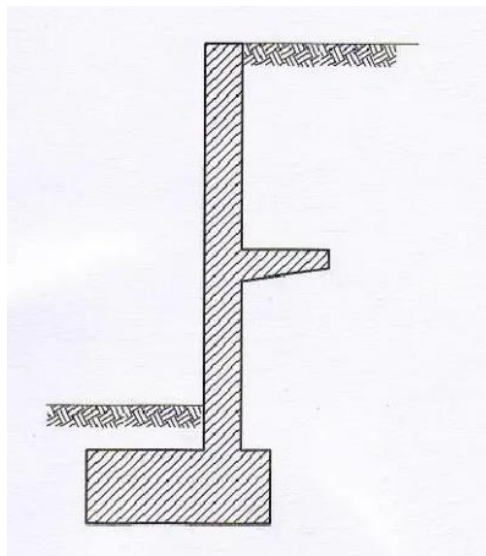
Osim prema vrsti materijala potporne zidove dijelimo i prema tipu konstrukcije, to su sljedeći zidovi:

1.) Gravitacijski potporni zidovi konstrukcije su koje preuzimaju horizontalni tlak zasipa a težina zida usmjeruje ga tako da rezultanta prolazi kroz bazu temelja na tlo. Prema obliku postoji osnovni tip takvog zida koji je pravokutan na temelju s istakom na prednjoj strani, i zahtijeva veliku količinu materijala (Renar d.o.o., i Neuron d.o.o., 2004). Ekonomičniji tip ovakvog zida izvodi se tako da prednje i stražnje lice zida bude oblikovano na način da se smanji upotreba materijala, time i težina konstrukcije. Primjer takvog ekonomičnijeg tipa zida prikazan je na slici (13).



Slika 13. Primjer ekonomičnijeg tipa gravitacijskog potpornog zida (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)

2.) Zidovi s konzolom su konstrukcije koje se izrađuju na sličan način kao i gravitacijski potporni zidovi, a razlika je u tome što se kod ovih zidova izrađuje armirano betonska konzola na stražnjoj strani zida. Time se dobiva da se rezultanta sile koja djeluje na zid povoljno usmjeri pravilnim korištenjem dijela težine zasipa. Tako se i ujedno uštedi materijal. Zbog ekonomičnosti prikladni su za izgradnju visokih zidova (Nonveiller, 1974).



Slika 14. Primjer potpornog zida s konzolom (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)

3.) Zidovi sa zategom. „Zatega postavljena na povoljnoj visini preuzima horizontalnu komponentu tlaka zasipa na zid, pa ukupna težina zida može biti znatno manja nego kod gravitacijskog zida. Zatege zahvaćaju zid na međusobnoj udaljenosti od 1,5 do 4,0 (m), a koncentrirana sila zatega raspodijeljena je na zid pomoću horizontalne armiranobetonske grede betonirane skupa sa zidom. Zatege sidrimo u poseban sidreni blok, a dimenzije zida i ankernog bloka moraju osigurati dovoljan otpor sili zatega“ (Nonveiller, 1974). Iako su troškovi grede i zatega veliki, ekonomičnost se kod ovog tipa postiže znatnom uštedom betona.

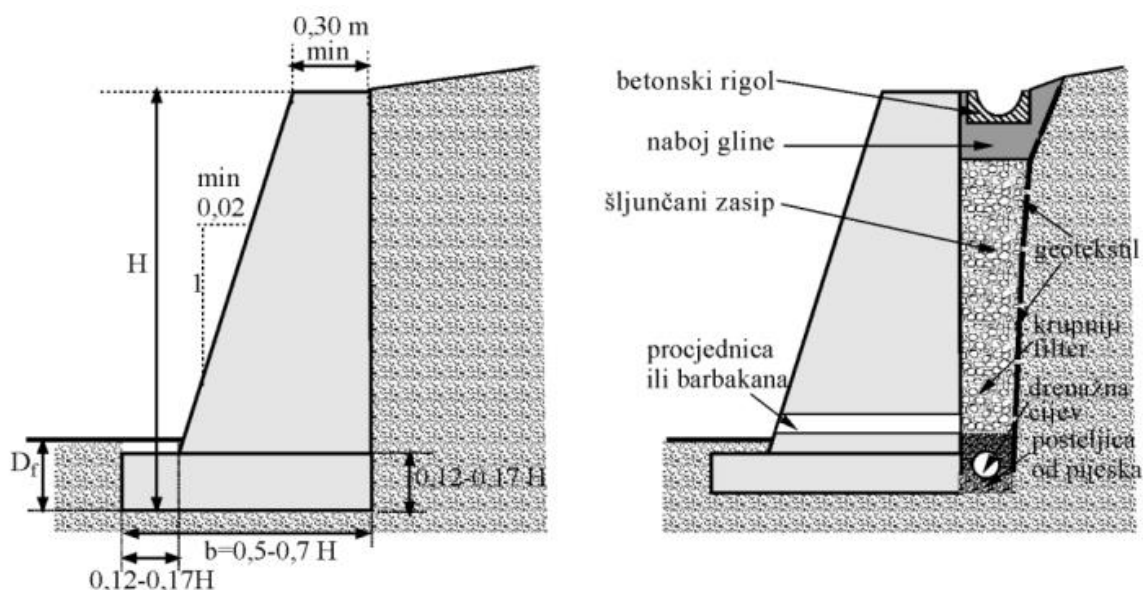
4.) Zidovi od montažnih elemenata su konstrukcije izrađene od kratkih predgotovljenih armirano betonskih dijelova koji se međusobno slažu u oblik pravokutnika te pune sipkim materijalom, koji treba biti dovoljno propustan. Jednostavnost izvedbe zidova od montažnih elemenata prednost je u gradnji ovog tipa potpornih zidova, brzo se i jednostavno sklapaju, a ispuna se može ugraditi mehaničkim utovarivačima, za što nije ograničena vremenom. Obično se prilikom izvedbe koriste još i neki dodatni stabilizirajući elementi koji služe za fiksiranje zida u tlo (Nonveiller, 1974).



Slika 15. Primjer zida izvedenog od montažnih elemenata (foto: Renar d.o.o. i Neuron d.o.o., 2004.)

5. ODVODNJA IZA POTPORNOG ZIDA

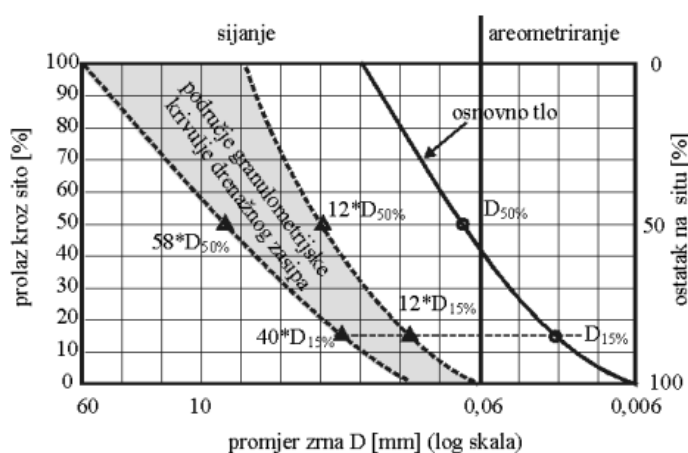
Odvodnja vode iza potpornog zida sustav je elemenata kojima se osigurava sprječavanje porasta hidrostatskog tlaka koji djeluje na konstrukciju. Kvalitetan sustav odvodnje skuplja i preusmjerava vodu u željenom smjeru, smanjuje negativne utjecaje na temelj i temeljno tlo, pritisak na zid i unutrašnjost zida, smanjujući eroziju i slijeganje. Neke vrste potpornih zidova su propusne, te za njih nije potrebno izvoditi odvodnju npr. gabionski zidovi, zidovi od montažnih elemenata, i slično. Za drugu vrstu, zidova koji nisu propusni, potrebno je izvesti odgovarajući način odvodnje, drenažama (Nonveiller, 1974). Drenažom se omogućuje prikladan način prikupljanja i odvodnje vode. Sastavljena je od nekoliko komponenti, a svaka od njih ima svoju svrhu. U nastavku su sve komponente odvodnje pojedinačno objašnjene.



Slika 16. Primjer presjeka masivnog potpornog zida s detaljima drenaže i odvodnje (foto: Roje-Bonacci, 2005.)

5.1. Drenažni zasip

Taj dio zasipava se nekoherentnim materijalom, određenog granulometrijskog sastava, gdje je (D) promjer zna a ($D_{max.} = 30$ mm). On služi za prikupljanje vode, a zbog vrste korištenog materijala, može spriječiti nakupljanje taloga samim time i zaštopavanje. Također, za izvedbu koristimo i geotekstil, kojeg možemo i izvesti umjesto filtarskog sloja na način da se onemogući zaštopavanje sitnim česticama materijala (Roje-Bonacci, 2005).



Slika 17. dijagram za određivanje područja unutar kojeg se mora nalaziti granulometrijska krivulja drenažnog zasipa (foto: Roje-Bonacci, 2005.)

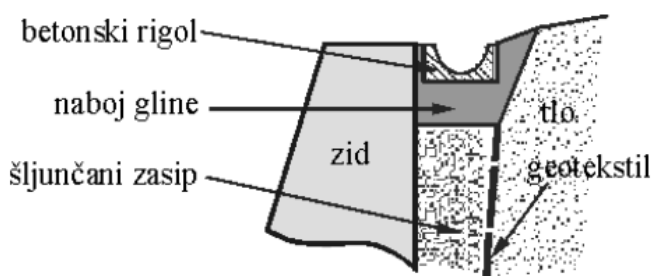
5.2. Odvodni dio

Drugi dio drenaže koji slijedi nakon drenažnog zasipa ima ulogu odvodnje prikupljene vode do najbližeg recipijenta. Odvodni dio vrlo je važan, jer zbog zadatka koji obavlja onemogućeno je skupljanje vode iza zida, što i je cilj cijelog postupka drenaže. Također, važan je kod područja stabilnosti zidova. Izveden je u dnu drenažnog zasipa, iza zida. Iako nije obavezno, povoljna je opcija da se na dnu nalazi drenažna cijev. U prošlosti su se koristile razne vrste takvih cijevi, a u nekima se izvodio zasip od propusnog, šljunčanog sloja. Danas su to najčešće plastične cijevi, jer su jednostavne za izvođenje, lagane i dostupne. “Odvodni dio drenaže potrebno je izvoditi u minimalnom padu. Ako je teren na kojem se izvodi zid u padu, prati se pad terena. Ako je teren vodoravan može se drenaža izvoditi u padu na jednu ili dvije strane” (Roje-Bonacci, 2005).



Sika 18. Različite vrste i dimenzije plastičnih drenažnih cijevi (foto: Hidromont d.o.o.)

“U prostoru u koji je ugrađena drenaža, na vrhu zida se ugrađuje brtveni sloj. On ima svrhu spriječiti prodor oborinske vode u prostor iza zida. Potrebno ga je kao u ostalom i drenažu, pažljivo ugraditi u slojevima uz nabijanje. Najčešće se izvodi od srednje do visokoplastične gline” (Roje-Bonacci, 2005).



Slika 19. Primjer drenažnog sustava i položaj brtvenog sloja (foto: Roje-Bonacci, 2005.)

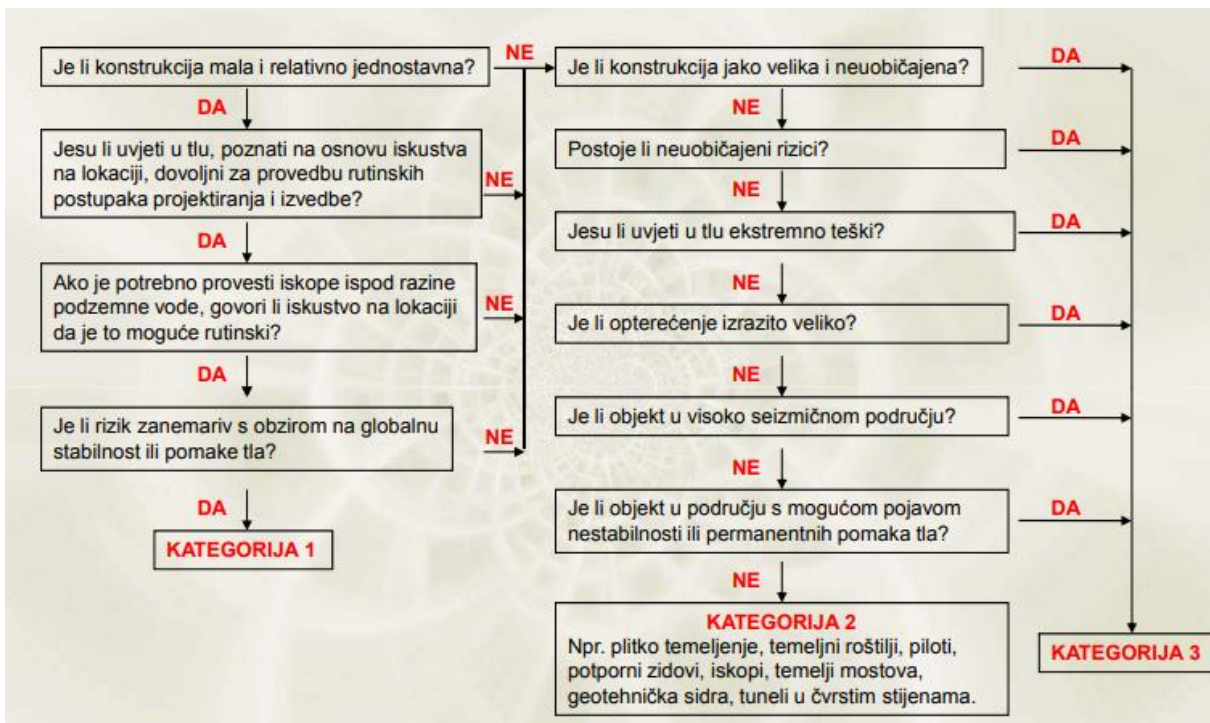
5.3. Procjednice

Procjednice (barbakane) elementi su koje je također potrebno izvesti uz drenažni sustav. Izvode se unutar potpornih zidova, kao otvori koji služe za odvod vode u slučaju da se pojavi visoka razina podzemne vode. Postavljaju se što je niže moguće, poželjno u dva reda. Također, kao i ostali dijelovi drenažnog sustava procjednice igraju bitnu ulogu u stabilnosti potpornih zidova. U određenim slučajevima, mogu biti ključni elementi cijelog drenažnog sustava (Roje-Bonacci, 2005).

6. PRORAČUN POTPORNIH ZIDOVA PREMA EC7

6.1. Primjena Eurokoda 7 – EC7 u dimenzioniranju i proračunu

Obavezno je i neizbježno poznavanje europske norme Eurokod 7 koja uvodi neke vrlo interesantne novine u projektiranje, te predlaže približne izraze za proračun graničnih stanja. Određivanje graničnih stanja povezano je s osnovnim zahtjevima za primjenjivanje Eurokoda. “Eurokod tretira građevinu kao nešto što ima svoj vijek trajanja. Taj vijek trajanja je zapravo ekonomska kategorija. S građevinom se postupa kao s proizvodom koji ne traje vječno već određeno uporabno vrijeme” (Roje-Bonacci, 2005). Prema EC7 potporne se građevine definiraju kao one građevine koje podupiru tlo, ostale slične materijale i vodu. Pod njih spadaju sve vrste potpornih zidova i podgrada čiji nosivi elementi imaju povezanosti s tlom odnosno stijenom. Konstrukciju ili konstrukcijski element potrebno je dimenzionirati tako da njegova nosivost bude veća od proračunatog opterećenja koje će na nju djelovati. Ovisno o projektnom pristupu, definiranom prema normi EC7, u proračunu se služimo parcijalnim koeficijentima sigurnosti, koji imaju konstantne vrijednosti a određeni su tako da uvažavaju vjerojatnost rizika od prekoračenja graničnog stanja. U graničnom stanju nosivosti parcijalni koeficijent sigurnosti (γ_G) iznosi 1,35 za stalna opterećenja, a množi se karakterističnom vrijednosti opterećenja kako bi se dobila proračunska vrijednost. Za promjenjivo opterećenje, koeficijent (γ_Q) iznosi 1,5. U graničnom stanju uporabivosti njegova vrijednost iznosi 1,0 u najvećem postotku slučajeva. Opterećenje koje djeluje na konstrukciju, u proračunu je poznata veličina. Može biti stalno (G), promjenjivo (Q) ili izvanredno (A) djelovanje. Radi pojednostavljenja u proračunu, konstrukcije svrstavamo u geotehničke razrede (kategorije), a potporne konstrukcije su uglavnom smještene u prvi (1.) odnosno drugi (2.) razred, ovisno o njihovoj veličini i kompleksnosti.



Slika 20. Dijagram toka za određivanje geotehničke kategorije (foto: Lebo, 2014.)

6.2. Istražna iskopavanja za potporne zidove

Prije dimenzioniranja proračunom izuzetno je važno provesti terenska i laboratorijska ispitivanja, kojima se obuhvaćaju svi najvažniji podaci o temeljnom tlu, odnosno lokaciji izvođenja radova. Osim izraza za proračun, norma EC7 (točnije dodatak B.3 Eurokoda 7, dio 2) predlaže dubinu iskapanja temeljnog tla potrebnu za provođenje istraživanja za potporne zidove. Prema normi, minimalna dubina iskapanja (z_a) dana je izrazom (1) i (2) za slučaj kada se podzemna voda nalazi ispod razine temelja (Bond i Harris, 2008). Svi simboli prikazani su na slici (21).

$$z_a \geq 0,4h \quad (1)$$

$$z_a \geq (t+2m) \quad (2)$$

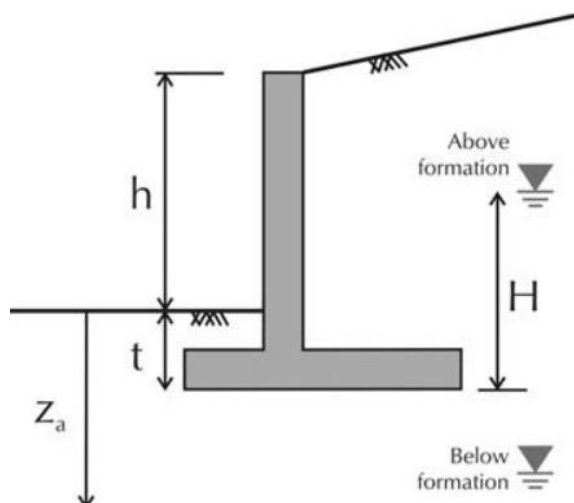
Za slučaj kada se podzemna voda nalazi iznad razine temelja, za minimalnu dubinu iskapanja vrijede izrazi (3) i (4).

$$z_a \geq (H+2m) \quad (3)$$

$$z_a \geq (t+2m) \quad (4)$$

Ako su svi slojevi provedenog istraživanja nepropusni, izraz (5) treba biti zadovoljen.

$$z_a \geq (t+5m) \quad (5)$$



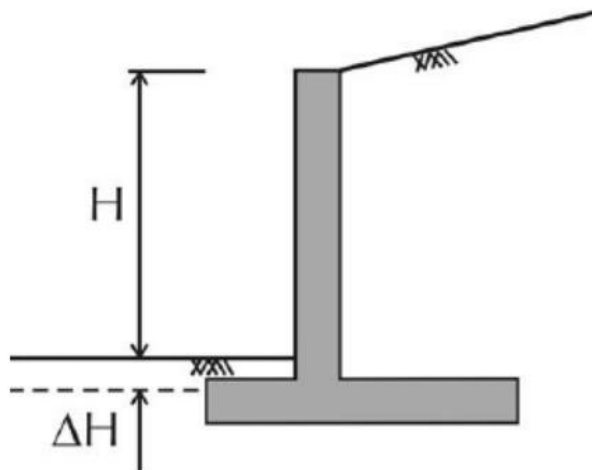
Slika 21. Prikaz preporučene dubina iskapanja (foto: Bond i Harris, 2008.)

Kada se radi o većim i složenijim projektnim građevinama ili nepovoljnim geološkim uvjetima, može se primijeniti i veća dubina iskapanja.

6.3. Neplanirano iskopavanje

EC7 također zahtijeva uzimanje u obzir mogućnosti za neplanirano iskopavanje ispred zida. Kako bi se omogućilo neplanirano iskapanje ispred zida, malo je moguće da će pasivni potisak tla imati značajan utjecaj na ishod provjera. Treba se pretpostaviti povećanje visine (H), kako slijedi prema izrazu (6) (Bond i Harris, 2008).

$$\Delta H = \frac{H}{10} \leq 0,5 \text{ m} \quad (6)$$



Slika 22. Prikaz neplanirane dubine iskopavanja (foto: Bond i Harris, 2008.)

6.4. Granična stanja

Razlikujemo dva osnovna granična stanja, prvo je granično stanje nosivosti (GSN) koje se odnosi na stanje sloma odnosno neprihvatljivog oštećenja samog objekta ili samo dijela objekta za kojeg postoji mogućnost ugrožavanja sigurnosti ljudi ili same građevine. Slijedi granično stanje uporabivosti (GSU) koje se odnosi na progibe i deformacije objekta, te njegov uporabni vijek trajanja.

Prema Eurokodu 7, možemo podijeliti pet različitih graničnih stanja nosivosti. To su: STR, EQU, GEO, UPL, HYD. Ono po čemu se razlikuju je mogućnost primjene različitih parcijalnih koeficijenata za određeno stanje. Općenito, možemo ih sve svesti na provjeru STRG/GEO graničnih stanja, prema čemu vrijedi izraz (7).

GSN obzirom na koja treba provjeriti pouzdanost konstrukcije su sljedeća:

“-rotacijski slom

-vertikalna stabilnost stijene

-slom elemenata stijene

-hidraulički slom dna građevne jame

-izdizanje dna jame zbog prevelikih vertikalnih pritisaka iza zida

-izdizanje konstrukcije ili njenog dijela zbog djelovanja uzgona” (Dugonjić Jovančević, 2019)

Za GSN dan je izraz (7) kojim provjeravamo da će računaska otpornost (R_d) biti veća ili jednaka računskom djelovanju (E_d).

$$E_d \leq R_d \quad (7)$$

GSU odnose se na iduće:

“-preveliki pomaci stijene koji izazivaju pomake

-preveliki pomaci koji nastaju tijekom izgradnje stijene

-pomaci od promjene slike strujanja podzemne vode

-nepovoljna promjena režima procjeđivanja u tlu i slično” (Dugonjić Jovančević, 2019)

Za GSU dan je izraz (8) kojim provjeravamo da će najveći mogući učinak opterećenja za uporabivost (C_d) biti veći ili jednak računskom djelovanju (E_d).

$$E_d \leq C_d \quad (8)$$

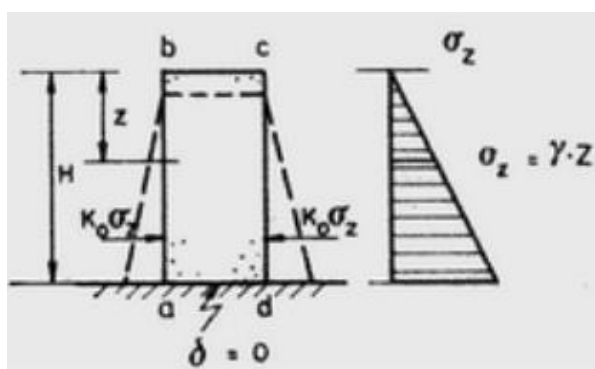
6.5. Pritisци u tlu

Kako je već spomenuto, svim skupinama potpornih građevina zajedničko je svojstvo da mogu biti opterećene jednostrano, bočnim potiskom od tla ili ostalih tvari. Bočno opterećenje građevine mjerimo u odnosu na raspon opterećenja koji seže od mirnog do pasivnog potiska. Bitan je način preuzimanja horizontalnih sila. EC7 predlaže približne izraze za proračun pritisaka na zid, pasivnog i aktivnog koji su u nastavku izraženi te detaljnije objašnjeni. Izraz (9) opći je izraz za pritiske u tlu, gdje je (k) koeficijent potiska, (γ) zapremninska težina tla, a (h) simbol za visinu zasjeka (Roje-Bonacci, 2005).

$$\sigma = k \cdot \gamma \cdot h \quad (9)$$

6.5.1. Mirni pritisak tla

Mirni pritisak tla je stanje u kojem je horizontalna deformacija spriječena. U beskonačnom homogenom poluprostoru od sipkog materijala s vodoravnom površinom djeluje glavno naprezanje (σ_v) na horizontalne ravnine koje su okomite na smjer gravitacije, te glavno naprezanje (σ_h) na vertikalne ravnine (Dugonjić Jovančević, 2019).



Slika 23. Deformacija prizme tla na glatkoj podlozi (foto: Nonveiller, 1979.)

Odnos između glavnih naprezanja (σ_v) i (σ_h) izražava se prema izrazu (10) a ovisi o načinu kako se taloži materijal u poluprostoru i o nastalim deformacijama. Koeficijent potiska izražen je sa (k), zapreminska težina tla izrazom (γ) a dubina sa (z).

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot k = k \cdot \gamma \cdot z \quad (10)$$

Tlak mirovanja može se izraziti prema izrazu (11) gdje je (k_0) koeficijent tlaka mirovanja neporemećenog sedimenta, te ga računamo prema izrazu (12), a (ν) Poisson-ov koeficijent koji ovisi o stanju konsolidacije i vrsti materijala.

$$\sigma_h = k_0 * \sigma_z * z \quad (11)$$

$$k_0 = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (12)$$

U literaturi često se navodi izraz (13) kojeg je izveo Jaky 1944.

$$k_0 = 1 - \sin \phi \quad (13)$$

6.5.2 Aktivni potisak i pasivni otpor tla

Sljedeći izrazi (14) i (15) vrijede za općeniti slučaj nagnutog terena, nagnutog stražnjeg lica zida te trenja između zida i tla, poštivajući rubne uvjete naprezanja. ($\sigma'_{ah}(z)$) označava horizontalnu komponentu aktivnog potiska dok je ($\sigma'_{ph}(z)$) horizontalna komponenta pasivnog otpora. (p'_v) označava efektivni pritisak nadsloja i dan je izrazom (16). Oznakom (c') označena je efektivna kohezija tla, ($c'w$) je efektivna adhezija između zida i tla. (K_{ah}) i (K_{ph}) su koeficijenti vodoravne komponente aktivnog odnosno pasivnog pritiska. (m_i , m_v i ν) oznake su kutova proračunate prema izrazima (17), (18) i (19) potrebne za proračun.

$$p'_v(z) = \int_0^z \gamma dz + q - u \quad (14)$$

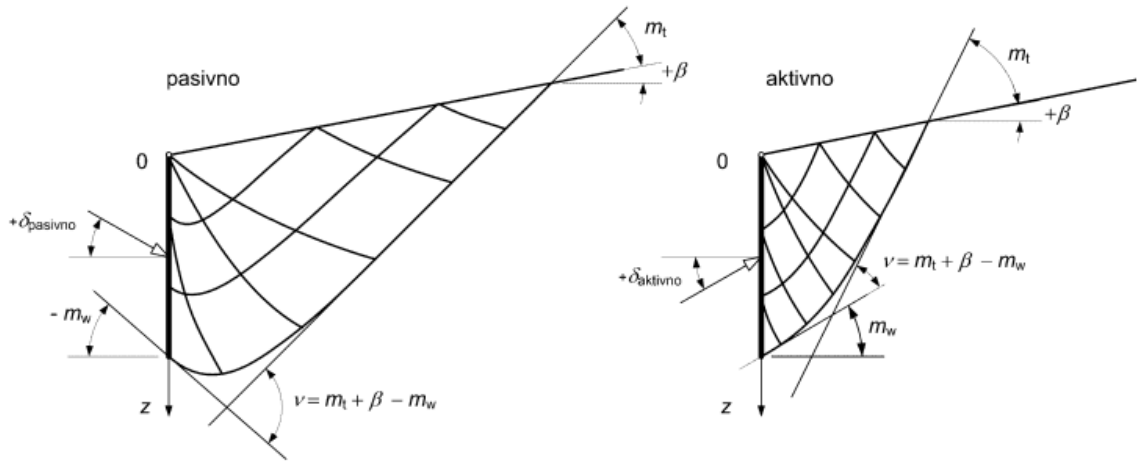
$$\sigma'_{ah}(z) = K_{ah} * p'_v(z) - 2c' * \sqrt{K_{ah} * (1 + \frac{c'w}{c'})} \quad (15)$$

$$\sigma'_{ph}(z) = K_{ph} * p'_v(z) - 2c' * \sqrt{K_{ph} * (1 + \frac{c'w}{c'})} \quad (16)$$

$$m_t = \frac{1}{2} * [\operatorname{acos} * \left(-\frac{\sin \beta}{\sin \varphi'} \right) - \varphi' - \beta] \quad (17)$$

$$m_w = \frac{1}{2} * [\operatorname{acos} * \left(-\frac{\sin \delta}{\sin \varphi'} \right) - \varphi' - \delta] \quad (18)$$

$$v = m_t + \beta - m_w \quad (19)$$



Slika 24. Definicija veličina i predznaka za pasivni i aktivni pritisak (foto: Szavits-Nossan, 2015.)

Koeficijente horizontalne komponente aktivnog ili pasivnog pritiska (K_h) računamo prema izrazu (20), kutove (Φ , δ , β) uvrštavamo ovisno o njihovom predznaku, oni su izraženi po definiciji sa slike (24). Za pasivni otpor, odnosno aktivni potisak vrijedi drugačiji predznak.

$$K_h = (\cos^2 * \beta) * \frac{1 + \sin \varphi' * \sin(2m_w + \varphi')}{1 - \sin \varphi' * \sin(2m_t + \varphi')} * e^{2v \tan \varphi'} \quad (20)$$

Zid je također opterećen posmičnom komponentom pasivnog otpora (T_p) odnosno aktivnog tlaka (T_a), koje su izražene sljedećim izrazima (21) i (22).

$$T_a = c'_w + \sigma'_{ah} \cdot \tan \delta \quad (21)$$

$$T_p = c'_w + \sigma'_{ph} \cdot \tan \delta \quad (22)$$

Kod analize totalnih naprezanja u nedreniranim uvjetima izrazi su sljedeći (23) i (24), a (c_w) označava nedreniranu adheziju između tla i zida.

$$\sigma'_{ah}(z) = \left(\int_0^z \gamma dz + q \right) + 2c_u \cdot \sqrt{1 + \frac{c_w}{c_u}} \quad (23)$$

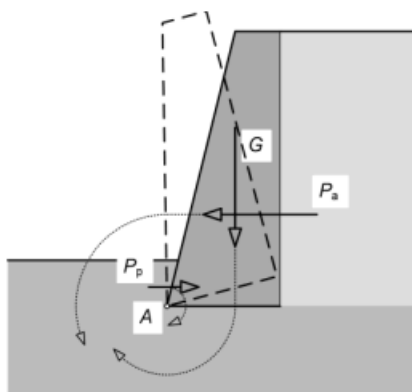
$$\sigma'_{ph}(z) = \left(\int_0^z \gamma dz + q \right) + 2c_u \cdot \sqrt{1 + \frac{c_w}{c_u}} \quad (24)$$

6.6. Analiza stabilnosti potpornih zidova

Analizu stabilnosti potpornih zidova potrebno je dokazati prema sljedećim kriterijima:

6.6.1. Kontrola stabilnosti na prevrtanje

Sigurnost na prevrtanje zidova izražava se odnosom momenta prevrtanja i momenta stabilnosti. Zid je promatran kao kruto tijelo za koje postoji mogućnost da se prevrne oko točke A (Dugonjić Jovančević, 2015).



Slika 25. Kontrola stabilnosti na prevrtanje oko točke A (foto: Szavits-Nossan, 2015.)

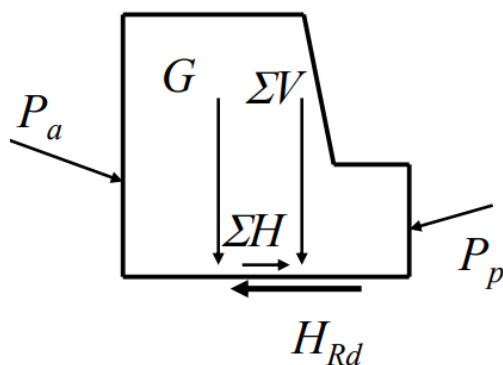
Otpornost na prevrtanje zadovoljena je u slučaju da destabilizirajući moment ($M_{Ed,dst}$) koji djeluje oko pete zida (točka A na slici 25) bude manji ili jednak stabilizirajućem momentu ($M_{Ed,stab}$) (Dugonjić Jovančević, 2015).

Formula za kontrolu stabilnosti od prevrtanja određena je prema izrazu (25)

$$M_{Ed,dst} \leq M_{Ed,stab} \quad (25)$$

6.6.2. Kontrola stabilnosti na klizanje

Na dodirnoj plohi između temelja i tla provodi se kontrola stabilnosti na klizanje. Sve sile koje djeluju na potporni zid mogu se zamijeniti rezultantom vertikalnih sila (ΣV) i horizontalnih sila (ΣH). U sumu vertikalnih sila ulaze komponente pasivnog i aktivnog otpora te težina zida, a u sumu horizontalnih također komponente pasivnog i aktivnog otpora te sila trenja. “EC7 zahtijeva da horizontalna reakcija (H_d) koja djeluje u virtualnoj ravnini bude manja ili jednaka nosivosti tla ispod baze (R_d) i bilo kojeg pasivnog otpora (R_{pd}) na strani zida” (Dugonjić Jovančević, 2015). Za povećanje sigurnosti potpornih zidova od klizanja, moguća je izvedba temelja sa zakošenjem, tj. gredom s prednje strane temelja, također je moguće i produžiti temelj potpornog zida.



Slika 26. Kontrola stabilnosti na klizanje (foto: Dugonjić Jovančević, 2015.)

Formula za kontrolu stabilnosti od prevrtanja određena je prema izrazu (26)

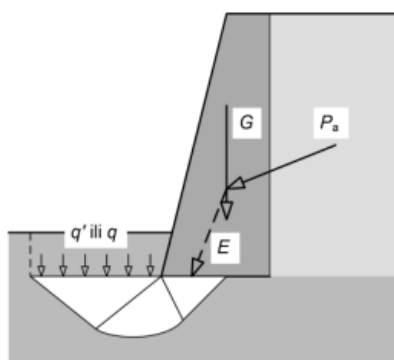
$$H_d \leq R_d + R_{pd} \quad (26)$$

Još se može zapisati kao (27) gdje je (H_{Ed}) proračunska horizontalna reakcija, a (H_{Rd}) ukupna nosivost horizontalnog djelovanja:

$$H_{Ed} \leq H_{Rd} \quad (27)$$

6.6.3. Kontrola naponskog stanja ispod stope temelja zida

“Opterećenja na poleđini zida, uključivo i trenje između tla i zida, prenosi se na zid. To opterećenje s drugim opterećenjima na zid prenosi se preko temelja zida, ili stope na temeljno tlo. Projektiranjem treba biti osigurano da tlo ispod temelja zida može pouzdano preuzeti to opterećenje, da ne dođe u stanje sloma. Zato treba provjeravati nosivost tla ispod temelja zida” (Roje-Bonacci, 2005).



Slika 27. Nosivost tla ispod stope temelja zida (foto: Szavits-Nossan, 2015.)

Prema EC 7 vertikalna reakcija (E_d) koja djeluje na temelj potpornog zida treba biti manja ili jednaka otporu, tj. čvrstoći temelja koji je označen kao (R_d). Formula je određena prema izrazu (28)

$$E_d \leq R_d \quad (28)$$

Također treba vrijediti izraz (29) gdje je (q_{Ed}) proračunsko naprezanje, a (q_{Rd}) proračunska nosivost.

$$q_{Ed} \leq q_{Rd} \quad (29)$$

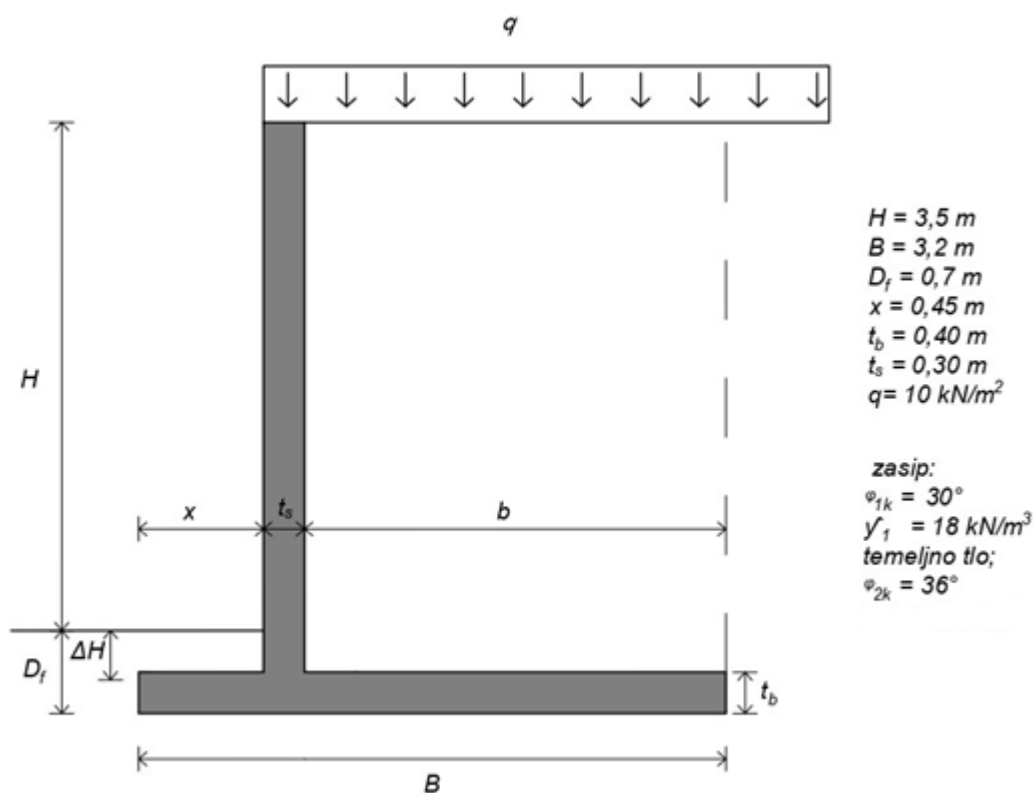
Proračunsko naprežanje (q_{Ed}) ispod baze potpornog zida dano je izrazom (30).

$$qEd = \frac{\gamma_G * WGk + \sum i \gamma_{Q,i} * \Psi_i * V_{Qk,i}}{A'} = \gamma_G * \frac{WGk}{A'} + \sum \gamma_{Q,i} \quad (30)$$

Gdje je (W_{Gk}) karakteristična nepromjenjiva vlastita težina (uključujući ispunu), (V_{Qk}) karakteristična promjenjiva vertikalna reakcija, (A') efektivna površina baze, (γ_G i γ_Q) parcijalni faktori za stalna i promjenjiva djelovanja, (Ψ_i) faktor kombinacije za promjenjiva djelovanja.

7. PRIMJER PRORAČUNA POTPORNOG ZIDA PREMA EC7

Prema izrazima koje predlaže EC7, u nastavku je provjereno zadovoljava li potporni zid sa slike (28) uvjete stabilnosti i nosivosti (prema STRG/GEO) za zadano opterećenje i dimenzije. Vrijednosti u proračunu samostalno su zadane, kao i slika (24) potpornog zida, koja je samostalno izrađena.



Slika 28. Primjer potpornog zida prema kojemu je izrađen statički proračun

Treba biti zadovoljen sljedeći uvjet:

$$b \geq b_{min} = (H+D_f) * \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_k/2) = 4,2 * \operatorname{tg}(45-30/2) = 2,42 \text{ (m)}$$

$$b_{min} = 2,42 < 2,45 = b \text{ uvjet je zadovoljen!}$$

Proračun stabilnosti na prevrtanje

$$\gamma_\varphi = 1,25$$

$$\varphi_{1d} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\operatorname{tg} 30^\circ}{\gamma_\varphi} \right) = \varphi_{1k} = 24,79^\circ - \text{zasip}$$

$$\varphi_{2d} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\operatorname{tg} 36^\circ}{\gamma_\varphi} \right) = \varphi_{2k} = 30,16^\circ - \text{temeljno tlo}$$

Koeficijent aktivnog tlaka

$$K_a = \operatorname{tg}^2 * (45^\circ - \varphi_{1d}/2) = \operatorname{tg}^2 * (45^\circ - 24,79^\circ/2) = 0,41$$

Sile aktivnog tlaka

$$P_{a1} = \gamma_1 * h * k_a * h * 0,5 = 18 * 4,2 * 0,41 * 4,2 * 0,5 = 65,1 \text{ (kN/m)}$$

$$P_{a2} = q * h * k_a = 10 * 4,2 * 0,41 = 17,22 \text{ (kN/m)}$$

Težina zida

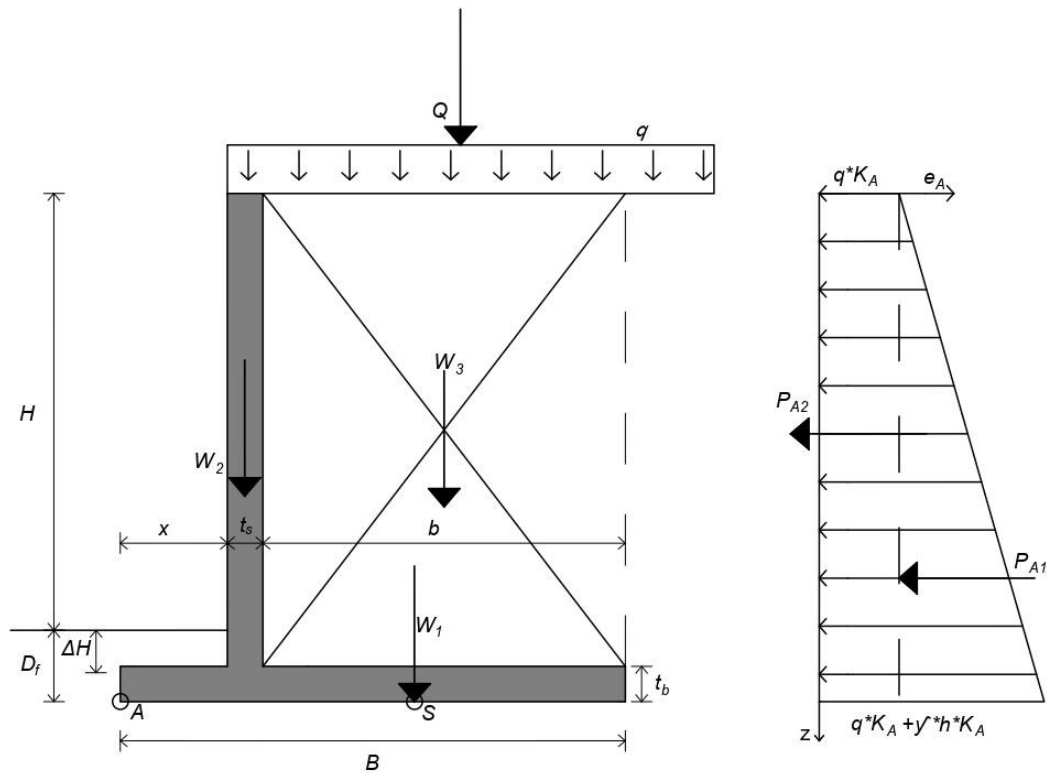
$$\gamma_{bet.} = 25 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_1 = B * t_b * \gamma_{bet.} = 3,2 * 0,4 * 25 = 32 \text{ (kN/m')}$$

$$W_2 = (h - t_b) * t_s * \gamma_{bet.} = 3,8 * 0,3 * 25 = 28,5 \text{ (kN/m')}$$

Težina zasipa

$$W_3 = (h - t_b) * b * \gamma_1 = 3,8 * 2,45 * 18 = 167,58 \text{ (kN/m')}$$



Slika 29. Oznake i simboli dobiveni proračunom prikazani na skici

Kontrola stabilnosti na prevrtanje oko točke A

Uvjet stabilnosti na prevrtanje: $E_d \leq R_d$

$$\gamma_{Q,dst} = 1,5$$

$$\gamma_{G,dst} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,stab} = 0$$

$$\gamma_{G,stab} = 1,0$$

$$Q = q \cdot (B - x) \cdot \gamma = 10 \cdot (3,2 - 0,45) \cdot 1,5 = 41,25 \text{ (kn/m')}^2$$

$$E_d = (\gamma_{G,dst} \cdot P_{A1}) \cdot h/3 + (\gamma_{Q,dst} \cdot P_{A2}) \cdot h/2 = (1,35 \cdot 65,1) \cdot 4,2/3 + (1,5 \cdot 17,22) \cdot 4,2/2 = 177,28 \text{ (kN)}$$

$$R_d = [\gamma_{G,stab} \cdot (w_1 \cdot B/2 + w_2 \cdot (x + t_s/2) + w_3 \cdot (x + t_s + b/2)) + \gamma_{Q,stab} \cdot Q \cdot (x + t_s + b/2)] \cdot 1 / \gamma_R$$

$$R_d = [1 \cdot (32 \cdot 3,2/2 + 29,25 \cdot (0,45 + 0,30/2)) + 172 \cdot (0,45 + 0,30 + 2,45/2)] \cdot 1 = 387,97 \text{ (kN)}$$

$$E_d = 177,28 < R_d = 387,97 \text{ uvjet zadovoljen!}$$

Iskoristivost: 46%

Provjera nosivosti tla ispod temelja

$$\Sigma W = W_1 + W_2 + W_3 = 32 + 28,5 + 167,58 = 228,08 \text{ (kN/m')}$$

Proračunske sile V_d , H_d i moment M_d oko točke S

$$V_d = \gamma_{G,dst} \cdot \Sigma W + \gamma_{Q,dst} \cdot Q = 1,35 \cdot 228,08 + 1,5 \cdot 41,25 = 349,16 \text{ (kN)}$$

$$H_d = \gamma_{G,dst} \cdot P_{A1} + \gamma_{Q,dst} \cdot P_{A2} = 1,35 \cdot 65,1 + 1,5 \cdot 17,22 = 113,72 \text{ (kN)}$$

$$M_d = \gamma_{G,dst} \cdot (W_1 \cdot 0 + W_2 \cdot (B/2 - x - t_s/2) - W_3 \cdot (B/2 - b/2) + P_{A1} \cdot h/2 + P_{A2} \cdot h/3 - \gamma_{Q,dst} \cdot Q \cdot (B/2 - (b + t_s)/2)) =$$

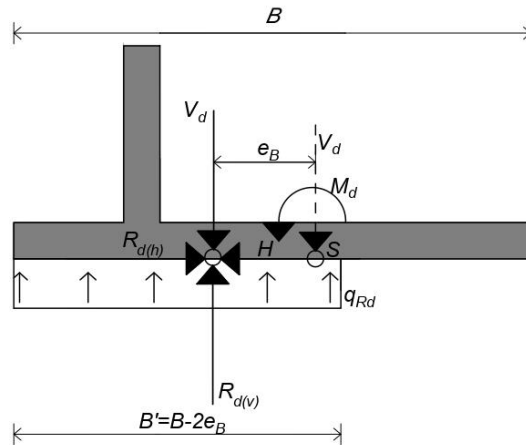
$$M_d = 1,35 \cdot (32 \cdot 0 + 28,5 \cdot (3,2/2 - 0,45 - 0,30/2) - 167,58 \cdot (3,2/2 - 2,45/2) + 65,1 \cdot 4,2/2 + 17,22 \cdot 4,2/3 -$$

$$1,5 \cdot 41,25 \cdot (3,2/2 - (2,45 + 0,3)/2)) = 158,21 \text{ (kNm)}$$

Ekcentricitet sile V_d

$$e_B = M_d / V_d = 158,21 / 349,16 = 0,45 \text{ (m)} < B/6 = 0,53$$

$$B' = B - 2 \cdot e_B = 3,2 - 2 \cdot 0,45 = 2,3 \text{ (m)} = A'$$



Slika 30. Provjera nosivosti tla ispod temelja potpornog zida

Nosivost tla ispod plitkog temelja za drenirane uvjete

$$q_f = c_d * N_c * b_c * S_c * i_c + \sigma'_{vo} * N_q * b_q * S_q * i_q + 0,5 * B' * \gamma * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma$$

Vrijednosti potrebne za proračun:

Nagib baze temelja (za horizontalnu bazu);

$$b_c = b_q = b_\gamma = 1,0$$

Faktori oblika temelja (za trakasti temelj);

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1,0$$

Faktori nagiba rezultante djelovanja

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{L'}{L'}} = 2$$

$$i_q = \left[1 - \frac{Hd}{Vd + A' * C2d * ctg\varphi2d} \right]^m = \left[1 - \frac{113,72}{349,16 + 2,3 * 0} \right]^2 = 0,46$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{Hd}{Vd + A' * C2d * ctg\varphi2d} \right]^{m+1} = \left[1 - \frac{113,72}{349,16 + 2,3 * 0} \right]^3 = 0,31$$

$$i_c = i_q \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi_{2d}} = 0,46 \frac{1 - 0,46}{50,53 \cdot \operatorname{tg} 30,16^\circ} = 0,44$$

$$q_f = 0 + (0,22 \cdot 22) \cdot 37,71 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,46 + 0,5 \cdot 2,3 \cdot 22 \cdot 53,34 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,31 = 502,30 \text{ (kPa)}$$

$$q_{Rd} = q_f / \gamma_R = 502,30 / 1,0 = 502,30 \text{ (kPa)}$$

Kontrola nosivosti tla

$$E_d \leq R_d$$

$$V_d \leq q_{Rd} \cdot A' = 502,30 \cdot 2,3 = 1155,3 \text{ (kN/m')}$$

$$349,16 < 1155,30 \text{ uvjet zadovoljen!}$$

Proračun stabilnosti na klizanje

Proračunske sile V_d i H_d

$$V_d = \gamma_{G, stb.} \cdot \Sigma W + \gamma_{Q, stb.} \cdot Q = 1 \cdot 228,08 + 0 = 228,08 \text{ (kN/m')}$$

$$H_d = \gamma_{G, dst.} \cdot P_{A1} + \gamma_{Q, dst.} \cdot P_{A2} = 1,35 \cdot 65,1 + 1,5 \cdot 17,22 = 113,72 \text{ (kN/m')}$$

Kontrola stabilnosti na klizanje

$$H_d \leq V_d \cdot \operatorname{tg} \delta^* / \gamma_{Rh}$$

$$\delta = k \cdot \varphi_{2d} = 1 \cdot 30,16^\circ = 30,16^\circ$$

$$V_d \cdot \operatorname{tg} \delta^* / \gamma_{Rh} = 228,08 \cdot \operatorname{tg} 36^\circ \cdot 1 / 1 = 165,71 \text{ (kN/m')}$$

$$113,72 < 165,71 \text{ uvjet zadovoljen!}$$

Iskoristivost: 68%

Zadana konstrukcija zadovoljava sve provjere stabilnosti!

8. ZAKLJUČAK

U radu je obrađena problematika potpornih konstrukcija – zidova. Potporni zidovi su jedan od najkritičnijih aspekata strukture. Oni pružaju stabilnost i čvrstoću strukture te olakšavaju prijenos opterećenja s različitih konstrukcijskih elemenata na tlo. Kako bi se uopće mogle graditi potporne građevine, potrebno je pažljivo i kvalitetno analizirati brojne stavke koje se odnose na opterećenja, djelovanja i preuzimanja istih od same konstrukcije. Osim toga, važno je poznavati, proučiti, ispitati prirodne utjecaje i značajke tla, vode, i sličnih tvari koje imaju bilo kakvu vremenski dužu, ili kratkotrajnu poveznicu sa konstrukcijom. To su uglavnom terenska i laboratorijska ispitivanja. Njih je potrebno izvršiti prije samog proračuna i dimenzioniranja konstrukcije. Potrebno je pažljivo analizirati sastav i značajke prirodnog tla koje je, kako sama riječ prirodno kaže, nepromjenjivo. Iz tog razloga što na prirodne tvari ne možemo utjecati, trebamo dimenzionirati građevinu na način da konstrukcija koju izvodimo, može izdržati određena opterećenja, biti stabilna za svog vijeka trajanja, služiti svojoj svrsi i ne ugrožavati sigurnost ljudi. To je također postupak koji s druge strane, treba biti obziran i prema prirodi. U današnjem je dobu raznolika ponuda materijala, i načina izvedbe bilo kakvih konstrukcija, tako i potpornih zidova. Izuzetno je važno naći i izabrati ravnotežu između kvalitete, učinkovitosti građevine i ekonomskog utjecaja na izbor materijala, vrste i tipa konstrukcije te načina izvedbe istih.

LITERATURA

- Bond A., Harris A., Decoding Eurocode 7, Taylor & Francis, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, 2008.
- Brucic D., Analiza stabilnosti kolničkih konstrukcija prema prometnoj podjeli cesta, završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2018.
- Dugonjić Jovančević S., geotehničko inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2015.
- Dugonjić Jovančević S., geotehničko inženjerstvo, predavanje: potisci u tlu i djelovanja na potporne konstrukcije, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2019.
- Ivšić T. Potporne konstrukcije 1, predavanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2021.
- Lebo Ž., Eurokod 7 u geotehničkom inženjerstvu RH, Program stručnog usavršavanja ovlaštenih arhitekata i inženjera u graditeljstvu, Zagreb, 2014.
- Liu Ping G., Discussion on the prevention and control technology of wall cracks in building construction, Research article, 2020.
- Lukić I., istraživanje troškova konstruktivne sanacije zidanih zgrada, diplomski rad, Građevinski fakultet, Osijek, 2013.
- Nicco-Annan J., Partnering in Construction. The Quantity Surveyor, Issue 1, 2006.
- Nonveiller E., Mehanika tla i temeljenje građevina, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1974.
- Gregurović D., Analiza stabilnosti kolničkih konstrukcija prema prometnoj podjeli cesta, završni rad, Sveučilišni centar Varaždin odjel za graditeljstvo, Varaždin, 2018.
- Renar d.o.o., Neuron d.o.o., Priručnik za pregled, registriranje i ocjenu stanja zidova uz državne ceste, Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb, 2004.
- Roje-Bonacci T., Potporne građevine i građevinske jame, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2005.
- Sorić Z., Zidane konstrukcije I, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2004.
- Szavitz-Nossan V., Mehanika tla i stijena, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- Tomičić I. Betonske konstrukcije, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Zagreb, 1996.

<https://www.terraaqua.com/advantages-mesh-gabions-reno-mattress/>, kolovoz 2022.

<https://vdocuments.mx/documents/potporni.html?cv=1&page=1>, kolovoz 2022.

<https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-breast-wall-and-retaining-wall>,
kolovoz 2022.