

POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU

**Dr. sc. NEDIM SULJIĆ, dipl.ing.grad.**  
vanredni profesor na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu  
Univerziteta u Tuzli

# **POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU**

**AGM knjiga  
Beograd, 2018**

**Autor:** Prof. dr. sc. Nedim Suljić, dipl.ing.grad.

**Recenzenti:** Dr. sc. Milan Stević, redovni profesor  
Dr. sc. Ismet Gušić, vanredni profesor

**Izdavač:** “AGM KNJIGA” d.o.o. Beograd  
www.agmknjiga.co.rs  
tel. +381658470725; tel. +381112618554

**Štampa:** Donat graf, Beograd

**Korica:** Robi Ahmić

**Tiraž:** 300

**ISBN:** 978-86-86363-91-6

-----  
CIP- Каталогизacija u publikaciji  
Народна библиотека Србије

624.137

**SULJIĆ, Nedim, 1965-**

Potporne konstrukcije prema Evrokodu / Nedim Suljić. - Beograd :  
AGM knjiga, 2018 (Beograd : Donat graf). - 317 str. : ilustr. ; 24 cm

Autorova slika. - Tiraž 300. - Prilozi: str. 308-314. - O autoru: str. 315-317. -  
Bibliografija: str. 306-307.

ISBN 978-86-86363-91-6

a) Потпорне конструкције

COBISS.SR-ID 257253900

---

Kopiranje i distribuiranje ove knjige ili njenih dijelova u bilo kom obliku i bilo kojim sredstvima nije dopušteno bez pismene dozvole autora i izdavača. Sva autorska prava su pridržana.

## SADRŽAJ

	Strana
1. UVOD	9
2. PODJELA I GRADNJA POTPORNIH KONSTRUKCIJA	12
2.1 Gradnja potpornih konstrukcija	14
2.1.1 Obračun radova	16
3. ZASIPANE POTPORNE KONSTRUKCIJE	18
3.1 Potporni zidovi od kamena i gabioni	19
3.2 Zidanje obrađenim lomljenim kamenom u cementnom malteru	20
3.3 Zidanje potpornog zida poluklesanim kamenom	21
3.4 Zidanje potpornog zida obrađenim kamenom	21
3.5 Način zidanja potpornih zidova od kamena	21
3.6 Zidovi od gabiona	23
3.7 Potporni zidovi od betona i armiranog betona	32
3.7.1 Gravitacioni (masivni) betonski zidovi	34
3.7.2 Armirano betonski potporni zidovi	36
3.7.3 Potporni zidovi sa konzolom	37
3.7.4 Potporni zidovi sa zategom	38
3.8 Potporni zidovi sa geosintetičkim materijalima	39
3.8.1 Istorijat primjene geosintetičkih materijala	42
3.8.2 Vrste geosintetičkih materijala	43
3.8.3 Osobine geosintetika	46
3.8.3.1 Fizičke osobine	47
3.8.3.2 Mehaničke osobine	47
3.8.3.3 Hidrauličke osobine	48
3.8.4 Osobine otpornosti geosintetika prema okolišu	49
3.8.5 Funkcije geosintetičkih materijala	50
3.8.6 Armirano tlo	54
3.8.7 Osnovni mehanizam armiranog tla	57
3.8.8 Trenje između tla i armature	60
3.8.9 Gradnja potpornog zida armiranog sa geosintetičkim materijalima	62
3.9 Teksol	64
4. UGRAĐENE POTPORNE KONSTRUKCIJE	68
4.1 Čelične talpe	69
4.2 Drvene talpe	72
4.3 Talpe od armiranog betona	74
4.4 Talpe od prednapregnutog betona	75
4.5 Šipovi	75
4.5.1 Tehnologija izvođenja bušenih šipova	78
4.6 Armirano betonske dijafragme	
824.6.1 Tehnologija izvođenja armirano betonskih dijafragmi	84
4.7 Sidra	85

## POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU

5. AKTIVNI PRITISAK TLA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE	87
5.1 Metode određivanja aktivnog pritiska	87
5.1.1 Coulomb-ova metoda	87
5.1.2 Culmann-ova metoda	95
5.1.3 Rebhan-Poncelet metoda	97
5.1.4 Engesser-ova metoda	98
5.2 Različiti uslovi proračuna aktivnog pritiska	100
5.2.1 Uticaj ravnomjernog opterećenja na tlo iza potpornog zida kod određivanja aktivnog pritiska	100
5.2.2 Uticaj izlomljene unutrašnje strane potpornog zida kod određivanja aktivnog pritiska	101
5.2.3 Uticaj izlomljene linije terena iza potpornog zida kod određivanja aktivnog pritiska	102
5.2.4 Uticaj uslojenog tla iza potpornog zida kod određivanja aktivnog pritiska	104
5.2.5 Uticaj podzemne vode iza potpornog zida kod određivanja aktivnog pritiska	106
5.2.6 Aktivni pritisak tla na armirano betonski potporni zid	107
5.3 Bočni pritisci na nepomični potporni zid	109
6. PASIVNI PRITISAK TLA NA POTPORNE KONSTRUKCIJE	113
6.1 Opšte pretpostavke i uslovi	113
6.2 Metode određivanja pasivnog pritiska tla	115
6.2.1 Određivanje pasivnog otpora tla Coulomb-ovom metodom	115
6.2.2 Određivanje pasivnog otpora tla Culmann-ovom metodom	117
6.2.3 Određivanje pasivnog otpora tla Rebhan-Poncelet metodom	118
6.2.4 Određivanje pasivnog otpora tla Engesser-ovom metodom	119
7. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONISANJE ZASIPANIH POTPORNIH KONSTRUKCIJA	120
7.1 Sigurnost potpornih konstrukcija na prevrtanje	124
7.2 Sigurnost potpornih konstrukcija na klizanje	125
7.3 Globalna stabilnost potpornih konstrukcija	128
7.4 Provjera ivičnih napona u tlu	129
7.5 Statički proračun i dimenzionisanje masivnog betonskog potpornog zida	131
7.5.1 Primjer 1	132
7.5.2 Primjer 2	138
7.5.3 Primjer 3	142
7.5.4 Primjer 4	145
7.5.5 Primjer 5	149
7.6 Statički proračun i dimenzionisanje gabionskog potpornog zida	153
7.6.1 Primjer 6	154
7.6.2 Primjer 7	158
7.7 Statički proračun i dimenzionisanje betonskog potpornog zida sa konzolom	162
7.7.1 Primjer 8	163

## POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU

7.8 Statički proračun i dimenzionisanje potpornog zida sa zategom	168
7.8.1 Primjer 9	171
7.9 Statički proračun i dimenzionisanje armirano betonskog potpornog zida	175
7.9.1 Primjer 10	177
7.10 Statički proračun i dimenzionisanje potpornih konstrukcija od armiranog tla	182
7.10.1 Primjer 11	188
8. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONISANJE UGRAĐENIH POTPORNIH KONSTRUKCIJA	193
8.1 Određivanje pritisaka na jednostavne ugrađene potporne konstrukcije	194
8.2 Uticaj kohezije na aktivni pritisak i najveća dubina iskopa bez podgrađivanja građevinske jame	199
8.3 Primjer proračuna slobodno stojeće ili konzolne zagatne jame	200
8.3.1 Primjer 12	201
8.4 Stabilnost ugrađenih potpornih konstrukcija od šipova ili dijafragmi metodom modula reakcije tla	204
8.5 Metoda koeficijenta reakcije tla za analizu nosivosti armirano betonskih šipova i dijafragmi opterećenih pritiskom tla (horizontalnom silom)	208
8.6 Statički proračun ugrađene potporne konstrukcije od armirano betonskih šipova i dijafragmi uklještenih u nepokretan stabilan teren	211
8.7 Stabilnost dna građevinske jame i hidraulički slom	215
9. DRENAŽA IZA POTPORNIH BETONSKIH ZIDOVA	221
9.1 Podjela drenaža u zavisnosti od vrste tla i zasipa	221
9.2 Filtersko pravilo	225
10. PROJEKTOVANJE PREMA EUROCOD-u 7	227
10.1 Osnovni principi projektovanja	230
10.1.1 Projektovanje prema graničnim stanjima	231
10.1.2 Modeliranje konstrukcije	232
10.2 Projektovanje prema eurocodu 7	233
10.2.1 Dejstva	236
10.2.2 Osobine tla	237
10.2.3 Karakteristične vrijednosti geotehničkih parametara	238
10.2.4 Geotehnički razredi ili kategorije	240
10.2.5 Granična stanja nosivosti i upotrebljivosti	241
10.2.5.1 Granična stanja nosivosti	242
10.2.5.2 Projektni ili proračunski pristupi	244
10.2.5.2.1 Projektni pristup 1	245
10.2.5.2.2 Projektni pristup 2	246
10.2.5.2.3 Projektni pristup 3	246
10.2.5.3 Granična stanja upotrebljivosti	246

## POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU

10.3 Geotehnički projektni izvještaj	247
10.4 Potporne konstrukcije u eurocodu 7	248
10.4.1 Opšte napomene	248
10.4.2 Granična stanja kod potpornih konstrukcija	249
10.4.3 Dejstva ili opterećenja na potporne konstrukcije prema EC7	249
10.4.4 Geometrijski podaci	251
10.4.5 Proračunske situacije	251
10.4.6 Proračuni i građenje potporne konstrukcije	252
10.4.6.1 Opšte napomene	252
10.4.6.2 Drenažni sistem	253
10.4.7 Određivanje pritisaka tla	253
10.4.7.1 Opšte napomene	253
10.4.7.2 Pritisak tla u stanju mirovanja	254
10.4.7.3 Granične vrijednosti pritisaka tla	255
10.4.7.4 Efekti zbijanja tla	255
10.4.8 Pritisak vode	256
10.4.9 Proračun graničnih stanja	256
10.4.9.1 Opšte napomene	256
10.4.9.2 Opšta stabilnost	257
10.4.9.3 Slom u temeljima potpornih gravitacionih zidova	257
10.4.9.4 Lom pri rotaciji ugrađenih potpornih zidova	257
10.4.9.5 Lom pri vertikalnom pomjeranju ugrađenih potpornih zidova	258
10.4.9.6 Mogući mehanizmi loma za koje treba kontrolisati potporni zid	258
10.4.10 Granično stanje upotrebljivosti	259
10.4.10.1 Opšte napomene	259
10.4.10.2 Pomjeranja	259
10.5 Parcijalni i korelacioni faktori za granična stanja	260
10.5.1 Parcijalni faktori za potvrđivanje graničnog stanja ravnoteže (EQU)	260
10.5.2 Parcijalni faktori za potvrđivanje graničnog stanja konstrukcije (STR) i graničnog stanja tla (GEO)	261
10.5.2.1 Parcijalni faktori za dejstva ( $\gamma_F$ ) ili efekte od dejstava ( $\gamma_E$ )	261
10.5.2.2 Parcijalni faktori za parametre tla ( $\gamma_M$ )	262
10.5.2.3 Parcijalni faktori otpora ( $\gamma_R$ ) za plitko temeljenje	262
10.5.2.4 Parcijalni faktori otpora ( $\gamma_R$ ) prednapregnutih sidara	263
10.5.2.5 Parcijalni faktori otpora ( $\gamma_R$ ) za potporne konstrukcije	263
10.5.3 Parcijalni faktori za provjeru stanja uzgona (UPL)	263
10.5.4 Parcijalni faktori za stanje hidrauličkog loma u tlu (HYD)	264
10.6 Parcijalni faktori za projektne pristupe 1, 2, 3	265
10.6.1 Opšte napomene	265
10.6.2 Parcijalni faktori primjenjeni na dejstva i efekte od dejstava	265
10.6.3 Parcijalni faktori primjenjeni na čvrstoću materijala i otpore	266
10.7 Proračun potpornih konstrukcija na seizmiku prema evropskim normama	266
10.7.1 Uvodni dio	266
10.7.2 Seizmička dejstva na potporne konstrukcije	267
10.7.3 Razmatranja seizmičkih djelovanja na potporne konstrukcije	273
10.8 Proračun slijeganja potpornih konstrukcija	274
10.9 Metode provjere bitnih zahtjeva za objekat	276

## POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU

10.10 Riješeni zadaci prema EC7	277
Zadatak 1:	277
Zadatak 2:	286
Zadatak 3:	293
Zadatak 4:	299
LITERATURA	306
PRILOZI	308
O AUTORU	315

## PREDGOVOR

Potporne konstrukcije se često primjenjuju u građevinarstvu gdje njihovom izvedbom ostvarujemo potrebne denivelacije terena, osiguravamo usjeke na saobraćajnicama, primjenjujemo ih kod regulacije vodotoka, kod sanacije nestabilnih padina terena, kao i za primjenu u visokogradnji gdje podrumski odnosno suterenski armirano betonski zidovi objekta predstavljaju ujedno i potporne zidove. Potporne konstrukcije su izložene uticajima različitih opterećenja kao što je pritisak tla, hidrostatički pritisak, hidrodinamička dejstva, razna opterećenja na površini terena, seizmički uticaji i drugi uticaji.

Ova knjiga nije namijenjena samo studentima građevinskih fakulteta, nego i projektantima geotehničkih konstrukcija i izvođačima građevinskih radova.

Knjiga je podjeljena na deset poglavlja koja dosta detaljno obrađuju pojedine vrste potpornih konstrukcija, sa mogućim uticajima koji se mogu javiti, načinu proračuna i dimenzionisanja, te tehnologiji izgradnje svake pojedine potporne konstrukcije. Poseban značaj knjizi daje dvanaest detaljno urađenih zadataka prema dosadašnjem Pravilniku, počev od masivnih betonskih potpornih zidova, armirano betonskih potpornih zidova, betonskih zidova sa armirano betonskom konzolom, betonskih zidova sa zategom, gabionskih potpornih konstrukcija, potpornih konstrukcija od geosintetičkih materijala (armirano tlo) kao i ugrađenih potpornih konstrukcija. Kroz ove zadatke i teoretska razmatranja data u knjizi, studenti mogu dosta lako steći znanja potrebna za provjeru stabilnosti odnosno dimenzionisanje i gradnju potpornih konstrukcija.

Deseto poglavlje obrađuje projektovanje potpornih konstrukcija prema evrokodu 7 sa teoretskim obrazloženjem i postupcima proračuna, te sa četiri detaljno urađena zadatka geostatičkog proračuna prema evrokodu 7, i to armirano betonskog potpornog zida, gabionskog potpornog zida, betonskog potpornog zida sa armirano betonskom konzolom i betonskog potpornog zida sa geotehničkim sidrom. Ovo daje poseban značaj ovoj knjizi, jer u zemljama regiona se već postepeno prelazi na proračun prema evropskim normama, što će pomoći i studentima građevinskih fakulteta i inženjerima projektantima pri proračunu potpornih zidova prema evrokodu.

Knjiga treba da podstakne na samostalno razmišljanje o značaju geomehničkih istražnih radova potrebnih za pravilno projektovanje i izgradnju potpornih konstrukcija.

Nastojao sam koristiti razumljivu terminologiju radi što lakšeg čitanja i izučavanja knjige, što je tražilo i dosta truda da bi tekst bio što jednostavniji.

Posebnu zahvalnost dugujem magistru građevinarstva, višem asistentu Jasminu Hrnjadoviću, na pomoći oko izrade zadataka prema evrokodu 7. Takođe, dugujem zahvalnost recenzentima dr. sc. Milanu Steviću, redovnom profesoru u penziji i dr. sc. Ismetu Gušiću, vanrednom profesoru, na pregledanom rukopisu uz davanje korisnih sugestija.



# 1. UVOD

*Potporne konstrukcije* su trajni ili privremeni, masivni ili raščlanjeni građevinski objekti čiji je osnovni zadatak da podupiru i spriječavaju od urušavanja strme zasjeka terena kao i materijal u nasipu.

*Obložni zidovi* predstavljaju lakše raščlanjene ili kompaktne građevine koje treba da zaštite vertikalne ili strme zasjeka terena koji su statički stabilni od uticaja prirodne erozije.

Projektovanjem i izgradnjom potpornih konstrukcija stvaraju se slobodni prostori za gradnju novih građevinskih objekata kao što su objekti visokogradnje, saobraćajnice, zatim se postižu osiguranja kod regulacija vodotoka, osiguranje kosina terena i slično. Osim toga, izvođenje potpornih konstrukcija predstavlja jednu od stalnih mjera prilikom sanacije nestabilnih padina terena odnosno prilikom sanacije klizišta.

Izgradnjom potpornih konstrukcija postižemo i osiguravamo stabilnost visinske razlike dva nivoa terena. Nasipi ispred mostova kojima se ostvaruje pristup na mostove, završavaju se potpornim konstrukcijama na koje se oslanja nosiva konstrukcija mosta, tako da ove potporne konstrukcije nazivamo upornjacima mosta.

U urbanim sredinama, naročito u velikim gradovima, gdje se gradnja novih objekata izvodi u veoma skućenim prostorima i u podzemnim etažama, primjena potpornih konstrukcija je od izuzetnog značaja. To se odnosi na gradnju podzemnih parkirališta, raznih trgovačkih centara i podzemnih željeznica, tako da je nezamislivo izvoditi ovakve objekte bez poznavanja i primjene potpornih konstrukcija. Danas uglavnom, sa razvojem nauke i tehnike, imamo više različitih tehnologija gradnje potpornih konstrukcija.

Kod izvođenja stambenih ili poslovnih objekata koje imaju jednu ili više podzemnih etaža potrebno je izvesti građevinsku jamu gdje se javlja i potreba izgradnje određene vrste potporne konstrukcije.

Potporne konstrukcije koje su sastavni dio građevinske jame mogu biti privremene ili stalne na način da se uklape u konstruktivni sistem budućeg objekta.

Građevinske jame kod manjeg iskopa mogu se štititi različitim vrstama oplata koje se podupiru kosnicima. Međutim, kod dubljih i složenijih vrsta građevinskih jama, naročito kada se radi o ograničenom prostoru u gradovima, primjenjujemo dijafragme, nizove šipova, mlazno injektiranje i slično.

Veoma složene potporne konstrukcije su one kod kojih se iskop i temelj nalaze duboko ispod nivoa podzemnih voda. Ove potporne konstrukcije su pored ostalih opterećenja, o kojima će biti riječ u ovoj knjizi, opterećene i znatnim hidrostatičkim pritiskom, tako da se zaštita ovakvih građevinskih jama uglavnom vrši pomoću armirano betonskih dijafragmi i zagatnih stijena. Ove

građevine moraju biti neprekinute i izvedene u stabilnom tlu ili pobijene u čvrsto tlo.

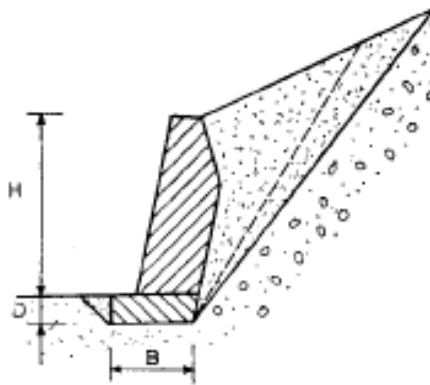
U potporne konstrukcije spadaju i razne vrste zagata koji su uglavnom opterećeni hidrostatičkim pritiskom odnosno opterećeni su dejstvom podzemne vode od koje štite građevinsku jamu. O ovim konstrukcijama će biti riječi u narednim poglavljima knjige.

Potporne konstrukcije primaju opterećenja od zemlje, vode ili drugog materijala ili nekog statičkog ili dinamičkog opterećenja, koje se nalaze iza potporne građevine.

Trebamo nastojati da potpornu konstrukciju ne opterećujemo silom hidrostatičkog pritiska, jer on stvara veliko horizontalno opterećenje na konstrukciju. Iz tih razloga se iza potporne konstrukcije izvodi filtarski sloj i drenaža kojima će se odvesti voda iza potporne konstrukcije i time smanjiti uticaj sile hidrostatičkog pritiska.

Potporne konstrukcije uglavnom osiguravaju i podupiru nasuti materijal koji se nalazi iza potporne konstrukcije odnosno potpornog zida tako da materijal iza zida nazivamo zasip, čija širina zavisi, prije svega, od načina na koji se izvodi potporna konstrukcija.

Visina između vrha zida odnosno terena iza zida i gornje površine temelja potpornog zida naziva se visina zida i obično se označava sa  $H$ .



Slika 1.1 Potporni zid sa zasipom iza zida

Širina temelja potpornog zida označava se sa  $B$  dok visina temelja se uglavnom označava sa  $D$  (slika 1.1).

Način gradnje potpornih konstrukcija ima bitan uticaj na izbor vrste potporne konstrukcije kao i na njenu geometriju odnosno dimenzije, jer moraju biti zadovoljeni odgovarajući kriteriji stabilnosti i nosivosti.

Izvođenje potporne konstrukcije mora se obavljati prema projektnoj dokumentaciji, a rad na gradnji jednog potpornog zida obuhvata slijedeće radnje:

## POTPORNE KONSTRUKCIJE PREMA EVROKODU

- pregled terena prije početka rada,
- iskolčenje,
- iskop zemlje za temelje potpornog zida,
- ugradnja armature i betona (kod armirano betonskog zida)
- izrada betonskih ili glinenih tajača (ovalna podloga za prihvat drenažne cijevi),
- postavljanje drenažanih cijevi,
- izrada poprečnih ispusta drenaže,
- izrada barbakana u potpornom zidu (cijevasti prodoru u tijelu zida za odvođenje procjednih voda koje se skupljaju iza potpornog zida),
- ugradnja kamenog filtra,
- uređenje okoliša nakon završetka radova.

## 2. PODJELA I GRADNJA POTPORNIH KONSTRUKCIJA

Potporne konstrukcije možemo podijeliti u dvije osnovne grupe koje se razlikuju prema načinu gradnje. Prvu grupu čine potporne konstrukcije koje se mogu graditi samo ako tlo na njih ne vrši pritisak i nazivaju se *zasipanim potpornim konstrukcijama*, dok drugu grupu predstavljaju one potporne konstrukcije koje se grade u tlu prije ili tokom iskopa tla ispred njih i nazivaju se *ugrađenim potpornim konstrukcijama*.

**Zasipane potporne konstrukcije** su masivni betonski zidovi, armirano betonski potporni zidovi, gabionski zidovi, montažni potporni zidovi kao i zidovi odnosno potporne konstrukcije od armirane zemlje kao najnovija vrsta potpornih konstrukcija.

**Ugrađene potporne konstrukcije** su uglavnom novijeg datuma i tu spadaju zidovi od zabijenih talpi, armirano betonske dijafragme kao i konstrukcije izvedene od zabijenih ili bušenih šipova.

Osnovni pojmovi koji se koriste kod projektovanja i izgradnje potpornih konstrukcija, su slijedeći:

Površina (ploha) potpornog zida predstavlja površinu potpornog zida koja prekriva dio terena i koja „drži“ tlo iza zida.

Nagib lica potpornog zida (nagib prednje strane zida) predstavlja nagnutost potpornog zida u odnosu na vertikalu. Pozitivan nagib je kada je nagnutost izvan poprečnog presjeka, a negativan nagib ukoliko je nagnutost prema poprečnom presjeku.

Kruna (vrh) potpornog zida predstavlja najvišu tačku potpornog ili obložnog zida.

Nožica potpornog zida je najniža tačka stope potpornog ili obložnog zida.

Dreniranje potpornog zida predstavljaju različite mjere odvodnje vode iza zida i kroz zid (barbakane) koje uključuju odvodne cijevi odgovarajućih profila u podnožju plohe zida kao i procjedni materijal iza potpornog zida.

Tajača je betonska ili glinena ovalna podloga za prihvat odnosno smještaj drenažnih cijevi.

Barbakane ili procjednice predstavljaju cjevaste prodore u tijelu potpornog zida za odvođenje procjednih voda koje se skupljaju iza potpornog zida.

Slijeganje potpornog zida je promjena položaja zida u odnosu na visinske kote iz razloga spuštanja jednog dijela potpornog zida ili cijelog potpornog zida.

Klizanje potpornog zida predstavlja translatorno odnosno horizontalno pomjeranje zida u odnosu na projektovano i izvedeno stanje.

Naginjanje potpornog zida je tzv. otklon plohe zida od njegovog početnog položaja poprečno na saobraćajnicu ukoliko je potporni zid iznad nje.

Pukotine u potpornom zidu su „otvori“ u plohi zida koji su nastali zbog deformacija i pritiska tla iza zida ili lokalno zbog pužanja, skupljanja ili uticaja temperaturnih razlika.

**Prema vrsti materijala** potporne konstrukcije mogu biti od kamena, betona, armiranog betona, kombinacije kamena i betona, od sintetičkih materijala tzv. armirano tlo.

**Prema načinu prenošenja opterećenja** potporne konstrukcije možemo podijeliti na masivne odnosno gravitacione, polugravitacione potporne konstrukcije, potporne zidove sa konzolom, potporne zidove sa zategom, montažne zidove i ankerisane armirano betonske potporne zidove.

Potporne konstrukcije mogu biti sastavni konstruktivni dijelovi brodskih prevodnica (armirano betonski zidovi prevodnica), krila upornjaka mostova, zaštite predulaza u tunelima, valobrani kao i suterenski ili podrumski zid objekata visokogradnje, gdje armirano betonski zid suterena ili podruma objekta ujedno predstavlja i potpornu konstrukciju.

Potporne konstrukcije koje se temelje na dubini od 3 do 4 m od kote terena nazivaju se **duboko fundirane potporne konstrukcije**. Duboko fundirane potporne konstrukcije mogu biti kontinualne, polukontinualne i diskontinualne. Dubina temeljenja odnosno fundiranja ovakvih potpornih konstrukcija uglavnom zavisi od terena koji je geostatički stabilan.

Duboko temeljenje se često izvodi kod upornjaka mostova kao i u pristaništima i lukama. Oblik i dimenzije duboko fundiranih potpornih konstrukcija uglavnom zavise od spoljnih sila kao i od unutarnjih sila. Dimenzije duboko fundirane potporne konstrukcije kao i njen oblik zavise od radova koje treba izvršiti na terenu u zavisnosti da li se vrši sanacija terena usljed klizišta ili se vrši meliorizacija terena. Izbor duboko fundirane potporne konstrukcije u svrhu meliorizacije terena karakterišu manje nepovoljni uticaji i taj teren je uglavnom u stanju ravnoteže, za razliku od terena gdje treba izvršiti sanaciju i koji nije u

## 9. DRENAŽA IZA POTPORNIH BETONSKIH ZIDOVA

Projektovanje i pravilno izvođenje drenaža iza potpornih konstrukcija od posebnog je značaja kod masivnih betonskih i armirano betonskih potpornih zidova, dok kod gabionskih zidova i potpornih zidova od montažnih elemenata nisu potrebne posebne mjere za rješavanje odvodnje vode koja se nalazi iza zida, jer su ove konstrukcije same po sebi propusne.

Naime, masivni odnosno gravitacioni betonski i armirano betonski potporni zidovi veoma slabo propuštaju vodu koja se skuplja iza zida te time sprječavaju njeno proticanje kroz tlo. Za vrijeme dugotrajnih i jakih kiša nivo podzemne vode može porasti i time dodatno opteretiti ili čak preoptereti potporni zid, pa se zbog toga drenažom mora spriječiti povećanje hidrostatičkog pritiska na potporni zid.

### 9.1 PODJELA DRENAŽA U ZAVISNOSTI OD VRSTE TLA I ZASIPA

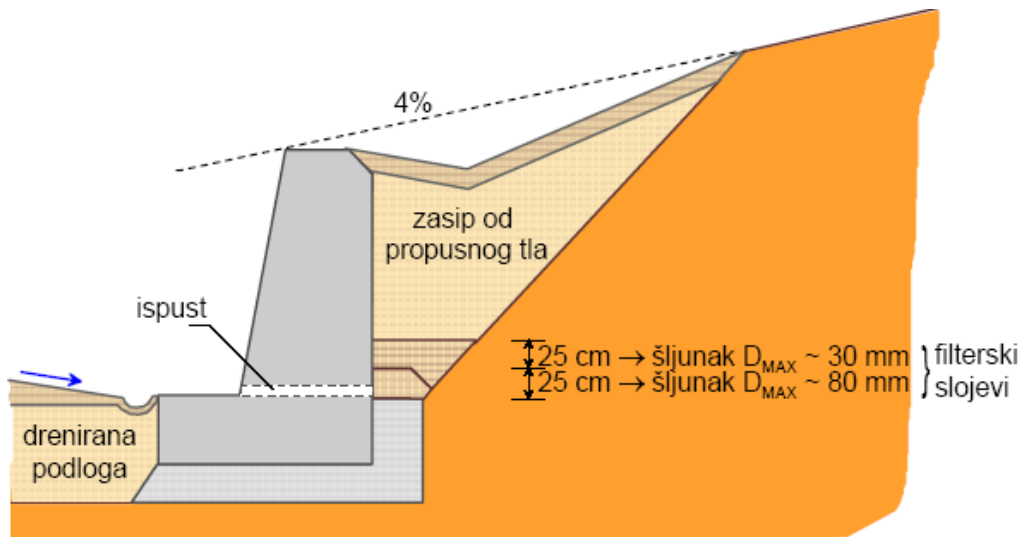
Voda ne samo što povećava pritisak na potpornu konstrukciju u vidu hidrostatičkog pritiska, već i stvara tzv. leće leda koje mogu oštetiti konstrukciju zida. Iz tih razloga vodu iza potporne konstrukcije treba što prije i dalje odvesti, a pri tome moramo znati da postoje dvije mogućnosti pojave vode iza zida, i to:

- podzemna voda,
- oborinska voda koja se infiltrira u tlo iza zida.

#### **Oborinska voda**

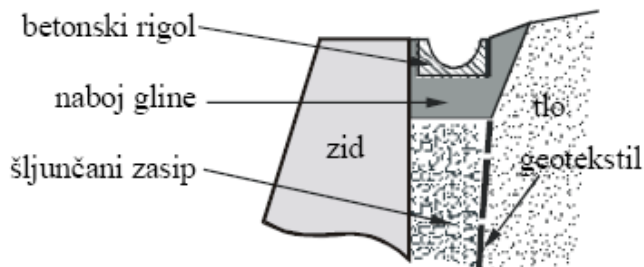
Da bismo spriječili da oborinska voda dospije u tlo iza potpornog zida moramo na površini terena iza zida projektovati i izvesti jedan sloj od vodonepropusnog materijala (obično glina) i to ukoliko je zasip iza zida od nekoherentnog odnosno propusnog materijala. Zatim, ovu oborinsku vodu treba odgovarajućim kanalom na površini terena iza zida odvesti što dalje i uključiti u sistem oborinske kanalizacije ukoliko isti postoji na datoj lokaciji ili odvesti u prirodni recipijent.

Na slijedećim slikama prikazani su primjeri izvođenja drenaže u zavisnosti od vrste podloge na kojoj se potporni zid nalazi.



Slika 9.1 Drenaža iza potpornog zida koji se nalazi na nepropusnoj podlozi

Kod projektovanja i izvođenja potpornog beonskog ili armirano betonskog zida posebnu pažnju treba posvetiti i izvođenju zaleđa u vrhu potpornog zida radi mogućnosti prihvatanja i odvodnje oborinskih odnosno površinskih voda. Karakterističan detalj te odvodnje prikazan je na slijedećoj slici.

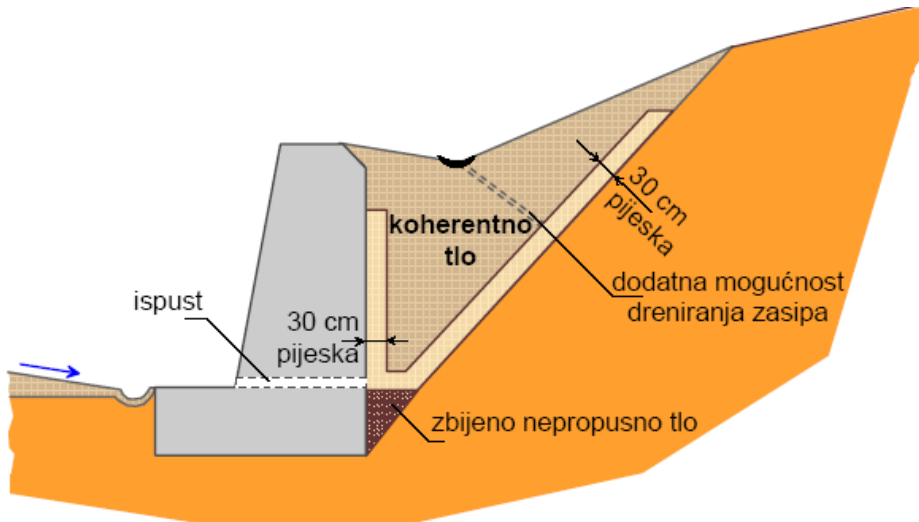


Slika 9.2 Detalj drenaže i odvodnje u zaleđu vrha potpornog betonskog zida

### **Podzemna voda**

Podzemnu vodu raznim sistemima dreniranja trebamo odvesti van potporne konstrukcije. Uglavnom sistemi dreniranja se sastoje od zasipa nekoherentnim materijalom iza potpornog zida, a granulacija zrna se određuje na osnovu filterskog pravila, kao na slici 9.1.

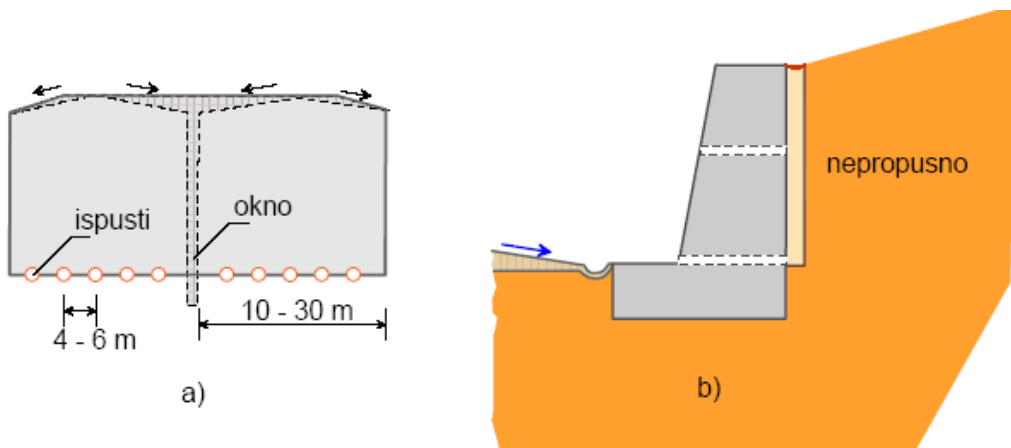
Najpovoljniji su zasipi koji po svom obliku približno odgovaraju kritičnom klinu kao što je prikazano na slici 9.3



Slika 9.3 Izgled drenaže ako je zasip iza potpornog zida od koherentnog tla

Kod potpornih betonskih zidova sa vertikalnim otkopom (slika 9.4) izrada drenaže je nešto jeftinija, ali što je najvažnije ona nije tako funkcionalna i efikasna i ovakav oblik drenaže iza zida trebamo primjenjivati samo kod slučajeva gdje postoji mala mogućnost pojave podzemne vode. Bitno je razlikovati odvodnju u donjem dijelu potpornog zida za slučaj propusne i nepropusne podloge (slika 9.1).

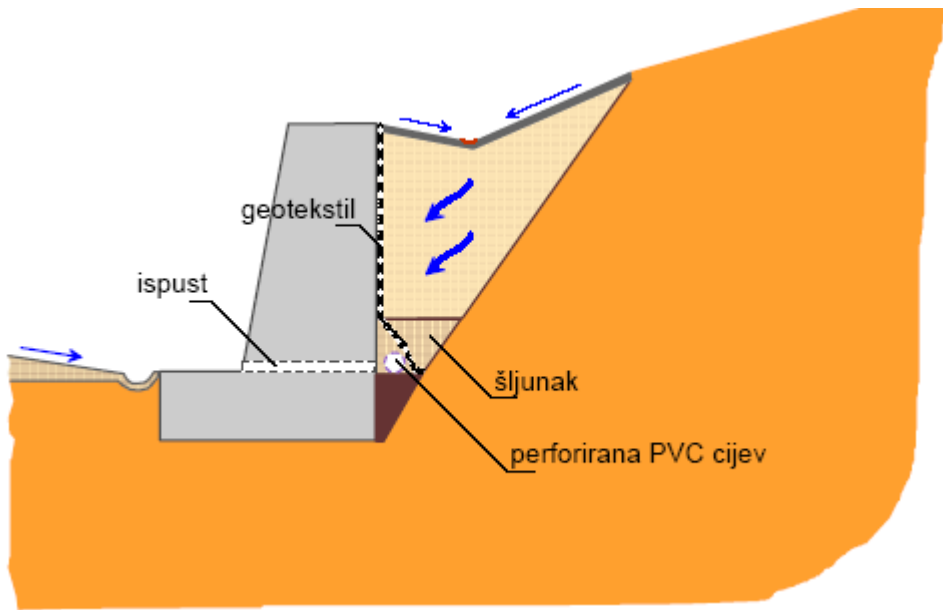
Na slici 9.4 prikazano je da voda koja se prikupi u drenaži odvodi se cijevima do otvora u potpornom zidu (barbakane) kao i putem kanala u sistem oborinske kanalizacije ili u obližnji potok. Nikako nije dopušteno da se voda koja je istekla kroz otvore u potpornom zidu, nekontrolisano ispušta ispred zida.



Slika 9.4 a) pogled na potporni zid b) slučaj vertikalnog otkopa

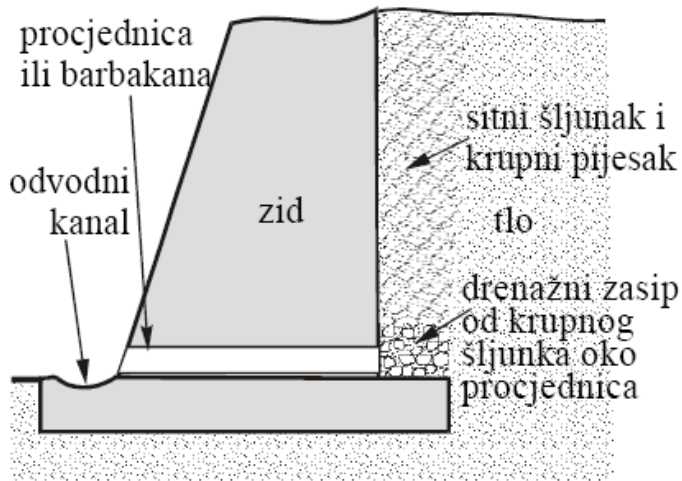


Danas se u drenažnim sistemima sve više koriste geotekstili koji imaju osobinu da propuštaju vodu, a zadržavaju sitne čestice tla čime sprječavaju zamuljivanje drenaže tokom vremena (slika 9.5).

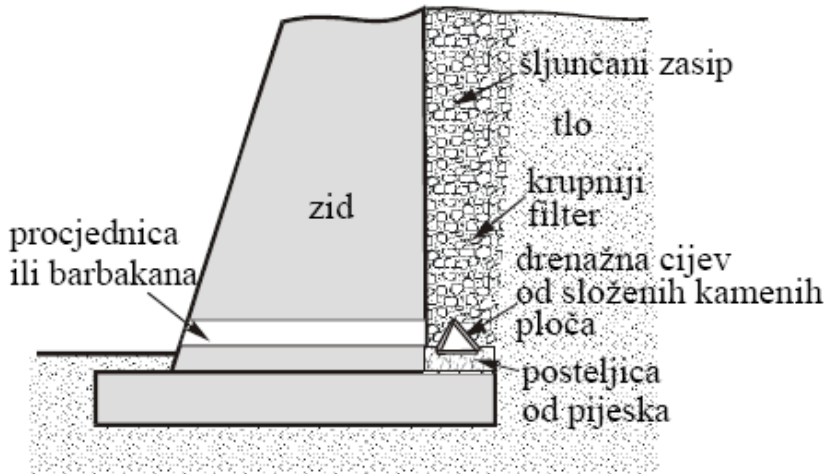


Slika 9.5 Primjena geotekstila u drenažnom sistemu

Na slijedećim slikama prikazani su karakteristični načini izvođenja drenaže iza betonskog potpornog zida, i to bez ili sa drenažnom cijevi.

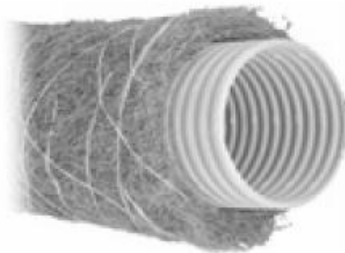


Slika 9.6 Drenaža iza potpornog betonskog zida bez cijevi



Slika 9.7 Drenaža iza potpornog betonskog zida sa cijevima od „kamenih ploča“

Danas prilikom izvođenja drenaže iza potpornih betonskih zidova uglavnom se ugrađuju plastične drenažne cijevi koje se trebaju zaštititi odgovarajućom filterskom zaštitom koja može biti od geosintetičkih materijala (geotekstil), kako je prikazano na slici 9.8.



Slika 9.8 Drenažna cijev sa filterskom zaštitom

## 9.2 FILTERSKO PRAVILO

Osnovni zadatak drenaže je da provede podzemnu vodu od slabo propusne sredine odnosno prirodnog tla u zaleđu potpornog zida do jako propusne drenažne cijevi. Pri tome može doći do ispiranja čestica tla, a da bi se to spriječilo potrebno je drenažu projektovati i izgraditi u slojevima koji imaju krupnoću zrna između početnog prirodnog tla i perforacija na drenažnoj cijevi. Svaki slijedeći sloj je krupniji od prethodnog tako da je onaj sloj iz kojeg voda teče tzv. *osnova* dok je onaj sloj u koga voda utiče tzv. *filtrar*.

Filtrar mora zadovoljiti dva osnovna zahtjeva, i to:

1. hidrauličku stabilnost,
2. mehaničku stabilnost.

Hidraulička stabilnost predstavlja uslov da se omogući nesmetano tečenje vode kroz oba materijala.

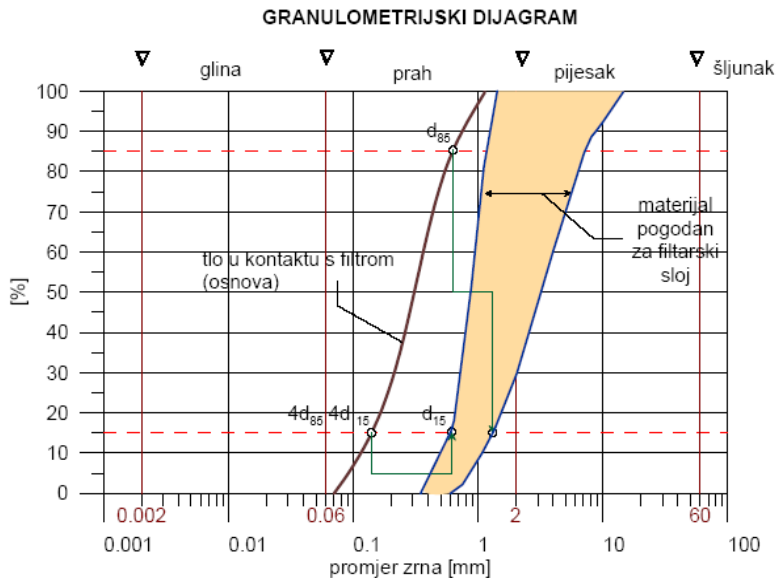
Mehanička stabilnost predstavlja uslov da se onemogući iznošenje čestica tla osnove kroz čestice filtra.

Kao što vidimo, na filter se postavljaju dva međusobno suprotna zahtjeva, odnosno, slobodno proticanje vode traži da su pore filtra što veće, a zadržavanje čestica tla traži da su što manje. Primjenjivat ćemo Terzaghi-ovu preporuku prilikom konstrukcije filtra koja se odnosi na karakteristične vrijednosti veličine zrna filtra i osnove. Granulometrijski sastavi filtra i osnove moraju zadovoljiti slijedeće analitičke izraze:

$$\text{Za hidrauličku stabilnost: } 4 < \frac{D_{15\text{filtra}}}{D_{15\text{osnove}}} < 5 \quad (9.1)$$

$$\text{Za mehaničku stabilnost: } 4 < \frac{D_{15\text{filtra}}}{D_{85\text{osnove}}} < 5 \quad (9.2)$$

Ovi izrazi definišu tzv. filtersko pravilo koje je prikazano na dijagramu (slika 9.9).



Slika 9.9 Određivanje osobina filtra na osnovu filternskog pravila

# 10. PROJEKTOVANJE PREMA EUROCODU 7

Posljednjih godina se u Evropi razvija jedan jedinstven sistem tehničkih normi za projektovanje građevinskih objekata. Zajednički naziv ovog sistema normi je *EUROCOD*.

Izradom Eurocodova upravlja Tehnički komitet 270 (TC 270) Evropskog odbora za normizaciju (CEN). Nakon 2009. godine ovaj sistem eurocodova trebao bi postati jedina norma u zemljama članica EU kao i u još nekim zemljama Evrope.

Sistem eurocodova predstavlja skup od 10 normi, i to:

- 1) EN 1990 Eurocod: Osnove projektovanja konstrukcija
- 2) EN 1991 Eurocod 1: Djelovanja na konstrukcije
- 3) EN 1992 Eurocod 2: Projektovanj betonskoh konstrukcija
- 4) EN 1993 Eurocod 3: Projektovanj čeličnih konstrukcija
- 5) EN 1994 Eurocod 4: Projektovanje kompozitnih čeličnih i betonskih konstrukcija
- 6) EN 1995 Eurocod 5: Projektovanje drvenih konstrukcija
- 7) EN 1996 Eurocod 6: Projektovanje zidanih konstrukcija
- 8) EN 1997 Eurocod 7: Geotehničko projektovanje
- 9) EN 1998 Eurocod 8: Projektovanje konstrukcija otpornih na potrese
- 10) EN 1999 Eurocod 9: Projektovanje aluminijskih konstrukcija

Eurocod 7 (EC 7) se sastoji iz dva dijela:

- 1) EN 1997-1 Geotehničko projektovanje-dio 1, opća pravila
- 2) EN 1997-2 Geotehničko projektovanje-dio 2, istraživanje i ispitivanje tla.

Eurocod 7, kao i ostali eurocodovi, oslanja se na niz normi, a to su norme za izvođenje posebnih geotehničkih radova (EN 1536:1999 Bušeni šipovi; EN 1537:1999 Sidra u tlu; EN 12063:1999 Stijene od talpi; EN 12699:2000 Razmičući šipovi (zabijeni i utisnuti šipovi); EN 14199 Mikrošipovi; EN-ISO 13793:2001 Toplinsko ponašanje zgrada-toplinsko projektovanje temelja radi izbjegavanja izdizanja od smrzavanja.

Standardizacija terenskih i laboratorijskih eksperimenata na tlu i u stijenama u nadležnosti je CEN-ovog Tehničkog komiteta TC 341 i u završnoj je fazi te se uskoro očekuje njihovo donošenje, pa će se time zaokružiti normizacija geotehničkih radova u projektovanju konstrukcija.

Eurocod 7, pa i svi ostali eurocodovi, napisani su kao zaokruženi sistem postupaka i preporuka za koje stručnjaci određenih profila smatraju da odražavaju trenutna saznanja struke i čija primjena osigurava dogovoreni nivo rizika nepovoljnih događaja.

Eurocodovi su pisani u obliku pobrojanih članaka i unutar sistema tih normi članak ima ili status principa za koje nema alternative ili status preporuke koja zadovoljava principe, ali su dozvoljene alternative.

EN 1997 treba se koristiti zajedno sa EN 1990:2002 koji utvrđuje zahtjeve za upotrebljivost i za sigurnost, te daje smjernice za pouzdanost konstrukcije i osnovu projektovanja. Takođe, EC 7 se odnosi na zahtjeve u pogledu čvrstoće, stabilnosti i trajnosti geotehničkih konstrukcija. Uticaji kao što su pritisci tla, na primjer, moraju se računati u skladu sa pravilima EN 1997. EC 7 ne obrađuje posebno uslove aseizmičkog projektovanja, već EC 8 (EN 1998) u sebi sadrži propise i pravila za aseizmičko geotehničko projektovanje koja dopunjuju pravila EC 7.

EN 1997-1 (geotehničko projektovanje – opšta pravila) sadrži slijedeća poglavlja:

- 1 poglavlje: Opšte odredbe
- 2 poglavlje: Osnove geotehničkog projektovanja i proračuna
- 3 poglavlje: Geotehnički podaci
- 4 poglavlje: Nadzor na izvođenju, osmatranje i održavanje
- 5 poglavlje: Nasipanje, odvodnjavanje, poboljšanje i ojačanje tla
- 6 poglavlje: Plitko temeljenje
- 7 poglavlje: Temeljenje na šipovima
- 8 poglavlje: Sidrenje
- 9 poglavlje: Potporne konstrukcije
- 10 poglavlje: Hidraulički lom
- 11 poglavlje: Opšta stabilnost
- 12 poglavlje: Nasipi.

Pošto se EN 1997 treba koristiti zajedno sa EN 1990:2002, uvedene su pretpostavke koje se baziraju na standardu EN 1990:2002, i to:

- potrebni podaci za projektovanje se dobijaju i interpretiraju samo od stručnih lica odgovarajuće kvalifikacije,
- projektanti su lica sa potrebnim iskustvom i odgovarajućom kvalifikacijom,
- nadzor i kontrolu kvaliteta izvedenih radova na terenu i u laboratorijama i radionicama sprovode samo stručna kvalifikovana lica,
- građevinski materijali i oprema koji se koriste moraju biti u skladu sa odredbama pravila EN ili prema odredbama standarda za građevinske materijale,
- geotehnička konstrukcija se mora održavati sa ciljem osiguranja njene upotrebljivosti tokom planiranog vijeka njenog korištenja.

Prema EC 7 date su definicije neophodnih pojmova koji su vezani za projektovanje, građenje i održavanje geotehničkih konstrukcija, a to su:

- a) **Geotehničko dejstvo** koje predstavlja uticaj tla, nasipa, vode u mirnom stanju (hidrostatski opterećenje) i podzemne vode, a koja se prenose na geotehničku konstrukciju.
- b) **Građevinsko tlo** je tlo, stijena ili nasip koji se nalaze na lokaciju prije početka građevinskih radova na geotehničkoj konstrukciji.
- c) **Uporedno iskustvo** je utvrđena informacija koja se odnosi na građevinsko tlo koje razmatramo u projektu i koja uključuje iste vrste stijena i tla za koje se slično geotehničko ponašanje očekuje, u interakciji sa sličnim geotehničkim konstrukcijama.
- d) **Geotehnička konstrukcija** je sistem dijelova sastavljenih u cjelinu, uključujući i nasip koji se ugrađuje tokom izvođenja samog građevinskog objekta, a koji je tako projektovan da može primiti sva opterećenja koja na njega djeluju.
- e) **Krutost** predstavlja otpornost materijalu prilikom pojave deformacija.
- f) **Otpornost** je mogućnost poprečnog presjeka nekog dijela geotehničke konstrukcije ili nekog njenog dijela, da prihvati i podnese bez loma, otpornost na savijanje, na zatezanje, izvijanje i slično.

Prilikom projektovanja geotehničkih konstrukcija svako projektovano geotehničko stanje mora biti verifikovano tako da se u njemu ne javljaju određena granična stanja prema odredbama EN 1990:2002. Tokom određivanja projektovanih geotehničkih stanja kao i graničnih stanja, moramo uzeti u obzir i odgovarajuće uticaje i faktore, kao što su:

- veličina geotehničke konstrukcije,
- potrebne uslove vezane za okolinu kao što je infrastruktura, pojava opasnih hemikalija i slično,
- stanje i nivo podzemnih voda,
- seizmičnost lokacije gdje se gradi ili nalazi geotehnička konstrukcija,
- lokalne uticaje kao što su površinske vode, promjene temperature vazduha i vlažnosti vazduha na lokalitetu gradnje geotehničke konstrukcije, hidrološki parametri, eventualna pojava slijeganja tla (kao što je karakteristično na području grada Tuzle u Bosni i Hercegovini).

Uopšte gledano, granična stanja se mogu pojaviti u samom tlu, u geotehničkoj konstrukciji ili kao stanje loma i u tlu i u geotehničkoj konstrukciji. Granična stanja treba odrediti proračunima, na osnovu eksperimentalnih modeliranja i primjenom monitoringa. U geotehničkoj praksi uglavnom na osnovu iskustva se utvrđuje koja vrsta graničnog stanja će biti mjerodavna za projektovanje.

Stambeni i poslovni objekti koji imaju podzemne etaže ili suterene, a gdje su zidovi tih etaža ujedno i potporne konstrukcije, moraju biti zaštićene od prodora podzemnih voda. Prilikom projektovanja treba da posmatramo kompleksnost svakog geotehničkog projekta u njegovoj povezanosti sa rizicima, te treba

napraviti razliku između jednostavnih i lakih geotehničkih konstrukcija i zemljanih radova malog obima.

Kod geotehničkih konstrukcija male složenosti i manjeg rizika, uključujući tu i zemljane radove, dopuštene su i uprošćene projektne procedure. Upravo iz tih razloga, za definisanje kriterijuma za geotehničko projektovanje, uvedene su tri geotehničke kategorije ili razreda. Klasifikacija geotehničkih konstrukcija u odgovarajuću geotehničku kategoriju treba da se uradi prije početka istražnih geotehničkih radova. Odabranu kategoriju treba poslije i provjeriti i po potrebi promijeniti u svakoj narednoj fazi projektovanja geotehničke konstrukcije. Svako projektovanje u geotehnici zasniva se na primjeni modela.

## 10.1 OSNOVNI PRINCIPI PROJEKTOVANJA

Eurocod traži da svaka građevina tokom izgradnje kao i tokom korištenja zadovolji bitne zahtjeve, a to se odnosi na *nosivost*, *upotrebljivost*, *otpornost na požar*, *trajnost* i *pouzdanost*.

**Nosivost** je sposobnost konstrukcije da izdrži sva predvidiva mehanička opterećenja bez oštećenja koja izazivaju njeno rušenje ili gubitak integriteta, ili nosivost je osobina mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije u odnosu na predviđena mehanička opterećenja.

**Upotrebljivost** predstavlja zahtjev da konstrukcija za „normalna“ opterećenja zadrži svoju bitnu funkciju kojoj je namijenjena, odnosno da ostane upotrebljiva.

**Otpornost na požar** je sposobnost konstrukcije da zadrži nosivost za predvidivo djelovanje požara. Ona zahtjeva posebne mjere projektovanja za mnoge konstrukcije, ali kako je to za geotehničke konstrukcije manje značajan zahtjev, ovdje se neće posebno obrađivati.

**Trajnost** je zahtjev da konstrukcija zadovolji ostale bitne zahtjeve za vrijeme njenog zahtijevanog vijeka trajanja.

**Pouzdanost** je zahtjev da planirane osobine konstrukcije tokom izgradnje i korištenja budu i ostvarena.

U jednom projektu geotehničke konstrukcije moraju biti detaljni opisi proračunskih situacija, koji po potrebi sadrže:

- uticaje ili dejstva, kombinacije uticaja i slučajevne opterećenja,
- podobnost zemljišta na kome se treba graditi geotehnička konstrukcija ili je već izgrađena u odnosu na pomjeranja u tlu i opštu stabilnost,
- raspored pojedinih zona tla i stijena,
- eventualne rudarske iskope i podzemne građevine,
- padove slojeva tla ili stijena,
- rasjede, pukotine i prsline,
- šupljine u tlu nastele rastvaranjem materijala kao što su vrtače ili pojedina mjesta koja su zapunjena mekanim materijalom,
- hemijska korozija,