

REPUBLIKA SRBIJA  
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE  
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

**10. PROJEKTOVANJE INŽENJERSKIH  
KONSTRUKCIJA**

**10.4 GRAVITACIONI ZIDOVI**

**BEOGRAD, 2012.**

---

**Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd**

**Izdanja:**

<b>Br.</b>	<b>Datum</b>	<b>Opis izmena i dopuna</b>
1	30.04.2012.	Početno izdanje

**SADRŽAJ**

<b>10.4.1</b>	<b>UVODNI DEO</b>	<b>1</b>
10.4.1.1	PREDMET SMERNICE	1
10.4.1.2	REFERENTNI NORMATIVI	1
10.4.1.3	TERMINOLOGIJA	2
<b>10.4.2</b>	<b>OPŠTI DEO</b>	<b>3</b>
10.4.2.1	DEFINICIJA, VRSTE I ZNAČAJ POTPORNH KONSTRUKCIJA	3
10.4.2.1.1	Gravitacione potporne konstrukcije	4
10.4.2.1.2	Ankerne potporne konstrukcije	4
10.4.2.2	GEOTEHNIČKA ZAHTEVNOST	4
10.4.2.2.1	Geotehnička kategorija 1	4
10.4.2.2.2	Geotehnička kategorija 2	4
10.4.2.2.3	Geotehnička kategorija 3	5
10.4.2.3	PODLOGE ZA PROJEKTOVANJE POTPORNH KONSTRUKCIJA	5
<b>10.4.3</b>	<b>PREPORUKE ZA PROJEKTOVANJE</b>	<b>6</b>
10.4.3.1	ULAZNE PRETPOSTAVKE ZA PROJEKTOVANJE	6
10.4.3.2	METODE GEOTEHNIČKOG PROJEKTOVANJA	6
10.4.3.2.1	Metoda geomehaničkih analiza	6
10.4.3.2.2	Metoda propisanih intervencija	6
10.4.3.2.3	Metoda probnih opterećenja i modelskih ispitivanja	6
10.4.3.2.4	Metoda pratećeg projektovanja	7
10.4.3.3	KONSTRUKCIONI PRINCIPI U PROJEKTOVANJU	7
10.4.3.4	ARHITEKTONSKO OBLIKOVANJE POTPORNH KONSTRUKCIJA	7
10.4.3.5	PREPORUKE ZA IZBOR TEHNOLOGIJE GRAĐENJA	8
10.4.3.6	PROJEKTOVANJE U SEIZMIČKIM PODRUČJIMA	9
<b>10.4.4</b>	<b>KAMENI GRAVITACIONI ZIDOVI</b>	<b>9</b>
10.4.4.1	UVOD	9
10.4.4.2	KONSTRUISANJE KAMENIH GRAVITACIONIH ZIDOVA	10
10.4.4.3	ZAHTEVI ZA KVALITET MATERIJALA I SPECIFIČNOSTI GRAĐENJA	11
<b>10.4.5</b>	<b>BETONSKI GRAVITACIONI ZIDOVI</b>	<b>13</b>
10.4.5.1	UVOD	13
10.4.5.2	KONSTRUISANJE BETONSKIH GRAVITACIONIH ZIDOVA	13
10.4.5.3	ZAHTEVI ZA KVALITET MATERIJALA I SPECIFIČNOSTI IZGRADNJE BETONSKIH GRAVITACIONIH ZIDOVA	16
<b>10.4.6</b>	<b>ARMIRANI BETONSKI GRAVITACIONI ZIDOVI</b>	<b>17</b>
10.4.6.1	UVOD	17
10.4.6.2	KONSTRUISANJE AB GRAVITACIONIH ZIDOVA	21
10.4.6.3	ZAHTEVI ZA KVALITET MATERIJALA I SPECIFIČNOSTI IZVOĐENJA AB GRAVITACIONIH ZIDOVA	22
<b>10.4.7</b>	<b>GEOSTATIČKA ANALIZA GRAVITACIONIH ZIDOVA</b>	<b>23</b>
10.4.7.1	GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI	23
10.4.7.2	POSTUPAK DOKAZIVANJA GRANIČNIH STANJA NOSIVOSTI	24
10.4.7.3	PRITISCI TLA	26
10.4.7.4	MIRAN PRITISAK ZEMLJE	27
10.4.7.5	AKTIVNI I PASIVNI PRITISAK ZEMLJE PREMA RANKINU	28
<b>10.4.8</b>	<b>ODVODNJAVANJE I ZASIPANJE ZALEĐA GRAVITACIONIH ZIDOVA</b>	<b>30</b>
10.4.8.1	ODVODNJAVANJE VODA ZALEĐA	30
10.4.8.1.1	Uvod	30
10.4.8.1.2	Način izrade drenažnih slojeva	30

---

10.4.8.1.3	Odvod vode iz drenažnog sloja	32
10.4.8.2	ODVODNJAVANJE POVRŠINSKIH VODA	33
10.4.8.3	ZASIPI U ZALEĐU	34
10.4.8.4	ČEONO ZASIPAVANJE I ZAŠTITA	36

## 10.4.1 UVODNI DEO

### 10.4.1.1 Predmet smernice

Gravitacioni zidovi kao potporne konstrukcije su važni elementi puteva u težim geomorfološkim uslovima i značajno utiču na troškove, brzinu građenja i sigurnost saobraćaja.

Smernica je podeljena u tri uvodna i pet sadržajnih poglavlja (kameni gravitacioni zidovi, betonski gravitacioni zidovi, AB gravitacioni zidovi, geostatička analiza gravitacionih zidova, odvodnjavanje i zatrpavanje zaleđa gravitacionih zidova.

Smernica daje uslove za upotrebu gravitacionih zidova iz različitih materijala kod kojih se može govoriti o homogenom preseku, te geometrijske parametre kojima se ograničava dužina, visina i drugi konstrukcioni elementi. Navedeni su i osnovni principi statičke analize i armiranja gravitacionih zidova.

Zidovi od gabiona su po prirodi gravitacione građevine i nisu obrađeni u ovoj smernici, jer su to industrijski proizvodi i njihova primena obrađena je u prospektima i uputstvima proizvođača.

Projektantska smernica 10.4 – GRAVITACIONI ZIDOVI definiše konstrukcije koje svojom konstrukcionom strukturom prenose zaleđne pritiske zemlje i druga opterećenja na temeljno tlo.

Osnovna namena smernice je davanje uputstava za izbor pravilnog oblika i vrste konstrukcije koja svoju osnovnu funkciju za stabilizovanje zaleđnih pritisaka, obavlja po principu gravitacionog otpora.

Smernica postavlja uslove primene gravitacionih zidova od različitih materijala kod kojih se može govoriti o homogenom preseku, te geometrijske parametre sa kojima se ograničava dužina, visina i drugi konstrukcioni elementi. Navedeni su i osnovni principi statičke analize i armiranja gravitacionih zidova.

Gravitacioni zidovi zahtevne konstrukcije za izvođenje. Odluka o primeni zidova se donosi u prvoj fazi projekta puta i putnih objekata.

Izbor i obrazloženje izbora gravitacionih zidova, koja je donesena na osnovu odgovarajućih podloga je plod saradnje projektanta puta, stručnjaka za geomehaniku i projektanta inženjerskih konstrukcija.

### 10.4.1.2 Referentni normativi

SRDM 9.12.1 Ivični venci, hodnici i ivičnjaci  
 SRDM 9.12.2 Ograde  
 SRDM 9.12.8 Oplate, obrada i oblaganje vidnih betonskih površina  
 SRDM 9.12.9 Spojnice – prekidi u betonu  
 SRDM 10.5.0 Ankerisani zidovi i konstrukcije  
 EN 206-1:2003 Beton – 1.deo – Specifikacija, osobine, proizvodnja i skladnost  
 EN 13670:2009 Izvođenje betonskih konstrukcija

Zakon o planiranju i izgradnji	Sl. glasnik RS 47/03	2003	Law on Planning and Construction
Zakon o javnim putevima	Sl. glasnik RS 105/05	2005	Law on Public Roads
Zakon o zaštiti životne sredine	Sl. list SCG 135/04	2004	Law on Environmental Protection
Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton – BAB 87	Sl. list SFRJ 07-719/1	1987	Rule Book on Technical Normatives for Concrete and Reinforced Concrete – BAB 87
Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova	Sl. list SFRJ 1/91	1991	Rule Book on Technical Normatives for Bridge Loading
Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata	Sl. list SFRJ 15-295/90	1990	Rule Book on technical Normatives for Foundation of Civil Structures

Evropski standardi (EC) za projektovanje i proračun mostova i inženjerskih konstrukcija

Referentni standard	Naslov standarda u srpskom jeziku	Naslov standarda u engleskom jeziku
EN 1990:2002/A1. 2005	Evrokod – Osnove projektovanja konstrukcija	Eurocode – Basis of structural design
EN 1991-1-1	Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije – Deo 1-1: Opšta dejstva – Zapreminske mase, sopstvena težina, korisna opterećenja zgrada – Nacionalni prilog	Eurocode 1: Actions on structures – par 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings
EN 1991-1-2	Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije - Deo 1-2: Opšta dejstva – Uticaj požara na konstrukcije	Eurocode 1: Actions on structures – Par 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire
EN 1992-1-1	Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija - Deo 1- 1: Opšta pravila i pravila za zgrade	Eurocode 2: Design of concrete structures – part 1-1: General rules and rules for buildings
EN 1992-2	Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija - Deo 2: Betonski mostovi – Projektovanje i pravila za konstruisanje	Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 2: Concrete bridges – design and detailing rules
EN 1997-1	Evrokod 7: Geotehničko projektovanje – Deo 1: Opšta pravila	Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules
EN 1997-2: 2007	Evrokod 7: Geotehničko projektovanje – Deo 2: Istraživanje i ispitivanje tla	Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing
EN 1998-1	Evrokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija: Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade	Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
EN 1998-2	Evrokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija – Deo 2: Mostovi	Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges

#### 10.4.1.3 Terminologija

**Gravitacioni zid** je konstrukcija koja svojom masom obezbeđuje potrebnu sigurnost, čemu doprinosi i masa zemlje.

**Kameni gravitacioni zid** je konstrukcija od kamenih blokova nepravilnih oblika koji su međusobno betonom povezani u homogenu celinu koja svojom oblikovnom i gravitacionom strukturom prenosi pritiske zaleđa zemlje i druga opterećenja na temeljna tla.

**Armirani betonski gravitacioni zid** je konstrukcija od armiranog betona koji sa svojom oblikovnom i gravitacionom strukturom i masom okolne zemlje prenosi

pritiske zaleđa zemlje i druga opterećenja na temeljno tlo.

**Potporne konstrukcije** su svi tipovi zidova koji podupiru i stabilizuju tlo i trup puta.

**Temeljno tlo** predstavlja kamenito, šljunkovito ili zemljano tlo na koje se prenose opterećenja zida.

**Zaleđna zemlja (tlo zaleđa)** je naziv za intaktne kamene ili zemljane materijale koji se po potrebi podupiru odnosno štite.

**Zaleđni (brdski) zasip** predstavlja zemlju koja se nakon ili u toku izgradnje ugrađuje na zaleđnoj strani zida.

**Dolinski (čeoni) zasip** predstavlja zemljani materijal koji se nakon građenja ili u toku građenja ugrađuje na čeonj strani zida.

**Zaleđna (brdska) strana** je prostor na brdskoj strani zida.

**Trup zida** je vertikalni noseći element preko koga se zaleđni pritisci zemlje prenose preko temelja na temeljno tlo.

**Dolinska (čeona) strana** je vidljiva strana zida.

**Zaleđna (brdska) strana** je površina zida na brdskoj strani koju zid štiti.

**Dolinska (čeona) temeljna peta** je deo temelja produžen sa čelne strane.

**Zaleđna (brdska) temeljna peta** je sa zaleđne strane produženi deo temelja.

**Zaleđna (hridinska) konzola** je produženi konstrukcioni element na zaleđnoj strani koji doprinosi dodatnoj stabilnosti zida.

**Rebro (podupirač)** je element, koji je sa čeone ili zaleđne strane vezan na zid pod pravim uglom i ima statičku funkciju.

**Kruna – glava** je završni gornji deo zida.

**Visina zida** je odstojanje između najviše tačke na kruni i najniže tačke u dnu temelja.

**Visina trupa zida** je rastojanje između najviše gornje kote temelja i krune zida.

**Debljina zida** je odstojanje između čeone i zaleđne strane zida.

**Širina temelja** je odstojanje između krajnje čeone i zaleđne tačke temeljne plohe.

**Visina temelja** je odstojanje između gornje i donje plohe temelja.

**Nagib temelja** je ugao koji obrazuje linija temeljne plohe sa horizontalom.

**Nagib zida** je ugao između čeone ili zaleđne plohe i vertikale zida.

**Dubina temelja** je odstojanje između najviše kote dna temelja i najniže kote terena iznad nje.

**Kampada** je dužina potpornog dela zida između dve radne spojnice ili dilatacije.

**Konzolni kanal** je proširenje krune potpornog zida na čeonoj ili zaleđnoj strani i služi za potrebe oslanjanja i pričvršćenja ivičnog venca, hodnika i ograde.

**Koherentna – vezana tla** su materijali granulacije do 0,06 mm (zrna se ne vide prostim okom). U ovu grupu ubrajaju se prašina, glina i organska tla. Osnova za klasifikaciju je granica razvlačenja i indeks plastičnosti.

**Nekoherentna, nevezana tla** su tla sa granulacijom preko 0,06 mm. U ovu grupu spadaju čisti šljunak, čisti pesak, te pesak i šljunak sa glinastim vezivom. Osnova za klasifikaciju je granulometrijski sastav.

## 10.4.2 OPŠTI DEO

U potporne konstrukcije ubrajaju se svi tipovi konstrukcija koje podupiru tlo, trup puta, brdske i druge materijale ili zadržavaju vodu. Materijal (tlo, stena) treba da bude poduprt ako je formiran u strmim nagibima od nagiba kod kojih može samostalno da stoji.

### 10.4.2.1 Definicija, vrste i značaj potpornih konstrukcija

U pogledu namene, materijala, mehaničkih osobina, funkcije u prostoru i tehnologije izgradnje razlikujemo sledeće vrste potpornih konstrukcija:

- u pogledu perioda eksploatacije razlikujemo trajne i privremene potporne konstrukcije,
- u pogledu materijala: kamene, betonske i kombinovane,
- u pogledu položaja uz put razlikujemo potporne konstrukcije koje podupiru trup puta odnosno padinu iznad puta,
- u pogledu mehaničke krutosti razlikujemo krute i deformabilne potporne konstrukcije. Pojam krutosti potpornih konstrukcija je relativan, a izražava ga odnos između deformacije tla i deformacije potporne konstrukcije;
- u pogledu funkcije u prostoru razlikujemo konstrukcije za zadržavanje, podupiranje tla i brdskih padina i zadržavanje vode;
- u pogledu tehnologije izvođenja razlikujemo: potporne konstrukcije izrađene u otvorenoj građevinskoj jami, sa iskopom po kampadama, potporne konstrukcije građene sa površine terena odozgo nadole po kampadama po dužini i fazama.

Pri izgradnji puteva razlikujemo dve osnovne grupe potpornih konstrukcija za podupiranje padina i trupa puteva.

#### 10.4.2.1.1 Gravitacione potporne konstrukcije

Ovu grupu sačinjavaju gravitacioni (masivni) potporni zidovi izgrađeni od lomljenog kamena, nearmiranog ili armiranog betona.

Za stabilnost masivnih potpornih konstrukcija najvažniji je otpor tla na temeljnoj plohi. Međutim, kada se radi o otporu na bočnim plohama, on je manje izražen zbog čega ga u analizama ne uzimamo u obzir.

Ove potporne konstrukcije su ravnomernog poprečnog presjeka, a mogu biti lokalno ojačane rebrima. Sopstvena težina konstrukcije, u nekim slučajevima zajedno sa težinom zaleđnog tla te trenje između tla i konstrukcije doprinose stabilnosti konstrukcije.

Tipične masivne potporne konstrukcije su: masivni plitko temeljeni kameni, betonski i AB potporni zidovi ravnomernih ili promenljivih debljina.

#### 10.4.2.1.2 Ankerne potporne konstrukcije

Ankerni zidovi i konstrukcije posebno su obrađeni u smernici 10.5.

Potporne konstrukcije ukleštene u tla predstavljaju relativno tanki zidovi od armiranog betona ravnomerne ili promenljive debljine, čelični ili drveni zagatni zidovi, zidovi na šipovima, AB podupirači, zidovi građeni po tehnologiji odozgo nadole. Ove konstrukcije mogu da budu ankerisane, ojačane razupiračima ili samo ukleštene u temeljna tla. Na njihovo definisanje suštinski utiče otpor tla na bočnim pločama i geotehnički ankeri za obezbeđenje potrebne stabilnosti. Ove konstrukcije nemaju izrazite temeljne plohe, dok krutost na savijanje igra najznačajniju ulogu kod obezbeđenja pouzdanosti.

Vlastita težina ovakvih konstrukcija nema veliki značaj, zbog čega je u geomehaničkim analizama ne uzimamo u obzir.

#### 10.4.2.2 Geotehnička zahtevnost

Kategorija geotehničke zahtevnosti je značajna za određivanje obima potrebnih istraživanja, ocenu prikladnosti konstrukcije i predviđene tehnologije izvođenja, procenu troškova, izbor odgovarajućih projekatata i izvođača potpornih konstrukcija. Ova zahtevnost zavisi od stepena rizika pri izvođenju radova, vrste tla te potencijalno

mogućih posledica, mogućih grešaka kod projektovanja i izvođenja u smislu ugrožavanja okoline i objekata u uticajnom području kao i na pouzdanost izgrađenih konstrukcija.

Kategorija geotehničke zahtevnosti mora se da se odredi pre početka projektovanja. U sledećim fazama investicionog procesa može se promeniti najviše za jednu kategoriju.

Uz uvažavanje odredbi evropskih standarda i praktičnih iskustava, uvedene su tri kategorije geotehničke zahtevnosti:

##### 10.4.2.2.1 Geotehnička kategorija 1

U prvu geotehničku kategoriju ubrajaju se male i jednostavne potporne konstrukcije ukupne visine do 3,0 m, ali samo u slučajevima kada potporni odnosno planirani iskopi za izradu temeljenja ne ugrožavaju stabilnost u smislu dodatnih deformacija i prekoračenja graničnih stanja susednih objekata, infrastrukture, pojave globalne nestabilnosti padine itd.

Svrstavanje potpornih konstrukcija u prvu kategoriju dozvoljava se samo kada za temeljna tla postoje dokumentovana iskustva koja dokazuju da su potrebni postupci za projektovanje i izvođenje predviđenih radova toliko jednostavni da se dozvoljava upotreba iskustvenih metoda.

Nedokumentovana iskustva stečena tokom izgradnje objekata u bližoj okolini ne mogu se uzeti u obzir. Za projektovanje takvih potpornih konstrukcija dovoljni su iskustveni postupci. Procena geološko-geotehničkih uslova može se izvršiti pre projektovanja na osnovu iskustava i obilaska terena itd.

U ovu kategoriju ne mogu se uvrstiti potporne konstrukcije koje služe za poboljšanje stabilnosti aktivnih, mirujućih i potencijalnih klizišta.

##### 10.4.2.2.2 Geotehnička kategorija 2

U drugu geotehničku kategoriju ubrajaju se potporne konstrukcije kod kojih nisu prisutni veliki rizici, izuzetno veliki i zahtevni geotehnički uslovi i primeri opterećenja.

Potporne konstrukcije svrstane u ovu kategoriju zahtevaju tačnost u prikupljanju kvalitativnih i kvantitativnih geotehničkih podataka i rezultata geotehničkih analiza za ispunjavanje osnovnih kriterijuma sigurnosti i pouzdanosti, dok se za laboratorijska ispitivanja, projektovanje i izvođenje radova



moгу primeniti standardi i iskustvene metode. Za svrstavanje potpornih konstrukcija u višu geotehničku kategoriju većinom su presudni geotehnički, a ne konstrukcioni razlozi.

U ovu kategoriju ubrajaju se uobičajene potporne konstrukcije visine do 10 m sa ankerima ili bez njih na zaravnima ili padinskim lokacijama bez izrazitih diskontinuiteta na kojima nema aktivnih, mirujućih, fosilnih i potencijalnih klizišta većih dimenzija i dubina iznad 5 m. Za dokazivanje stabilnosti i graničnih stanja upotrebljavaju se odgovarajući standardni postupci i računski programi.

#### 10.4.2.2.3 Geotehnička kategorija 3

U geotehničko najzahtevniju kategoriju potpornih konstrukcija ubrajaju se projekti koji predstavljaju objekte sa izrazito velikim rizikom i posebnim zahtevima. Ova kategorija se najčešće primenjuje u izrazito teškim terenskim i geološko-geomehaničkim prilikama i/ili velikim seizmičkim opterećenjima.

Kod raspoređivanja potpornih konstrukcija u ovu kategoriju mora se uzeti u obzir:

- rizici povezani sa velikom ugroženošću sigurnosti ljudi i života,
- rizici povezani sa veoma velikim privrednim posledicama,
- rizici usled smanjenja pouzdanosti geološko-geomehaničkih projektnih podataka,
- veliki rizici koji su povezani sa pouzdanošću projektnog rešenja kada pouzdanost konstrukcije zavisi od delovanja drenažnih sistema, kada se pouzdanost rešenja ne može u potpunosti dokazati geomehaničkim analizama i proračunima,
- rizici usled izrazitog stepena seizmičke ugroženosti.

U koliko postoji verovatnoća ugroženosti ljudskih života ili ekonomskih posledica koje bi uticale na privredu države onda i ovi rizici uvrštavaju potporne konstrukcije u 3. kategoriju zahtevnosti.

U poređenju sa 1. i 2. kategorijom, objekti iz 3. kategorije se razlikuju po obimu, kvalitetu i kvantitetu ispitivanja, te po primenjenim metodama za geotehničke analize kao što su nelinearne i vremenski zavisne računске modele, eksperimentalne metode ispitivanja probnim opterećenjima, te osmatranim načinom izgradnje sa sprovođenjem unapred planiranih mera. Obim i način izvođenja

terenskih i laboratorijskih ispitivanja i analiza po pravilu prevazilazi kvalitetno i kvantitativno standardne postupke.

Kod svih potpornih konstrukcija, koje su uključene u najvišu kategoriju geotehničke zahtevnosti treba organizovati praćenje (monitoring) potporne konstrukcije i tla u uticajnom području u toku i nakon završetka radova.

#### 10.4.2.3 Podloge za projektovanje potpornih konstrukcija

Geotehničko projektovanje potpornih konstrukcija sadrži projektne aktivnosti: koncepciju problema stabilnosti, studiju odgovarajućih projektnih rešenja, prikupljanje potrebnih podataka, geomehaničke analize, izradu, kontrolu i overavanje nacrtu, praćenje izgradnje i izgrađenog objekta u eksploataciji.

Kod projektovanja saobraćajnica obično se pojavljuju problemi sa obezbeđenjem ograničenih intervencija u prostoru, nagibima kosina i dubina ukopavanja koji su povezani sa procenjenim geomehaničkim karakteristikama padina, što su pravi razlozi za proučavanje opravdanosti izgradnje potpornih konstrukcija.

Osnovu za projektovanje potpornih konstrukcija, slično kao i kod mostova, predstavlja celina geodetskih, geološko-geomehaničkih, hidroloških, seizmoloških, vodoprivrednih, putnih, saobraćajnih, meteoroloških, prostorskih i urbanističkih podataka lokacije za čitavo područje uticaja obrađivanog objekta. Za projektovanje potpornih konstrukcija posebno su važne geološko-geomehaničke podloge koje će biti obrađene u posebnim smernicama.

Pre projektovanja investitor mora da pripremi projektni zadatak u kome su navedeni raspoloživi podaci, geotehničke kategorije, podaci koje mora da pribavi projektant i drugi uslovi za projektovanje i izradu potporne konstrukcije.

Prikladnost, pouzdanost i ekonomičnost projektnog rešenja neposredno zavisi od znanja, iskustva i osposobljenosti projektanta, tačnosti i razumevanja terenskih podataka kojima imaju pristup samo ovlašćeni stručnjaci za pojedina područja u stalnoj saradnji sa projektantom koji mora da ima određeno znanje i iskustva iz svih gore navedenih interdisciplinarnih područja sa naglaskom na geologiju, geomehaniku i inženjerske konstrukcije.

### 10.4.3 PREPORUKE ZA PROJEKTOVANJE

#### 10.4.3.1 Ulazne pretpostavke za projektovanje

Kod projektovanja potpornih konstrukcija naručilac i projektant moraju da obezbede ispunjavanje sledećih uslova za projektovanje:

- Projektni podaci sa područja geotehnike, geodezije, hidrogeologije i seizmologije moraju da se pribavljaju, dokumentuju i interpretiraju uz poštovanje važećih propisa i standarda.
- Osnovni dokumenti koji služe kao osnova za projektovanje potpornih konstrukcija su projektni zadatak, geološko-geomehanički izveštaj ili dokumentovana relevantna iskustva sa tačno navedenim propisima i standardima primenjenim u interpretaciji podataka uz navođenje odgovornih osoba.
- Potporne konstrukcije mogu projektovati samo ovlašteni inženjeri sa iskustvom na području geotehničkog projektovanja.
- Konstrukcija će služiti samo namenama koje su predviđene projektnim zadatkom.

Projekat gravitacionih zidova mora da sadrži odgovarajuću situaciju i visinski prikaz konstrukcije u merilima koja obezbeđuju preglednost i celovitost definisanja konstrukcije. Minimalan grafički obim je situacija konstrukcije, podužni i poprečni preseki za različite visine zida, te odgovarajući prikaz konstrukcionih detalja. Iz nabrojanih crteža moraju biti vidljive sve dimenzije koje su izvođaču potrebne za isključavanje i građenje.

U tekstualnom delu treba navesti razloge za izbor konstrukcije, osnove za oblik odnosno zasnivanje konstrukcije i osnovne geološke karakteristike terena na kojem je predviđena izgradnja. Projektant treba da dostavi sve podatke za izgradnju konstrukcije i eventualna upozorenja koja izvođač mora da poštuje tokom izgradnje.

#### 10.4.3.2 Metode geotehničkog projektovanja

U geotehničkoj praksi u projektovanju potpornih konstrukcija u skladu sa odredbama Eurocode 7 – Geotehničko projektovanje, mogu da se primene četiri metode geotehničkog projektovanja:

- metoda geomehaničkih analiza,
- metoda propisanih intervencija,

- metoda probnih opterećenja i modelskih ispitivanja,
- metoda pratećeg projektovanja.

Kod dokazivanja različitih stanja za pojedinačne konstruktivne elemente dozvoljeno je kombinovanje različitih metoda geotehničkog projektovanja.

##### 10.4.3.2.1 Metoda geomehaničkih analiza

Na osnovu proračuna sa upotrebom relativno jednostavnih mehaničkih modela pri projektovanju treba dokazati da sva granična stanja koja mogu nepovoljno da utiču na nosivost, trajnost i upotrebljivost potporne konstrukcije ne budu prekoračena.

##### 10.4.3.2.2 Metoda propisanih intervencija

Kod potpornih konstrukcija 1. geotehničke kategorije, za slučaj da ne postoje sigurni fizički modeli graničnih stanja, a računski dokaz pouzdanosti nije obavezan, može se, na osnovu iskustava, dokazivanja pojedinih graničnih stanja nadoknaditi izvođenjem tačno navedenih intervencija koje uključuju projektni detalji, tehničke smernice, kontrola upotrebljenih materijala, opisi načina izvođenja radova.

Kod ovakvog načina geotehničkog projektovanja projektant mora da raspolaže dokumentovanim lokalnim iskustvima koji su sastavni deo projektne dokumentacije.

Metoda projektovanja sa propisanim merama često se upotrebljava kod izvođenja površinskih zaštita padina i potpornih konstrukcija visine do 3 m u poznatim geotehničkim uslovima.

##### 10.4.3.2.3 Metoda probnih opterećenja i modelskih ispitivanja

Probna opterećenja i modelska ispitivanja za dokazivanje ispunjavanja projektnih pretpostavki potporne konstrukcije mogu se izvesti na delu stvarne konstrukcije ili na modelima u prirodnom stanju ili smanjenim modelima.

Rezultati probnih opterećenja i eksperimentalnih ispitivanja na modelima mogu da se upotrebe za potvrđivanje projektnih pretpostavki i izvedenih projekata potpornih konstrukcija samo ako su uzete u obzir sledeće uticajne razlike:

- razlika u opštim uslovima tla (zbijenost, početni naponi, vlažnost itd.) kod probnih opterećenja i kod izvođenja ispitivanja u prirodi;

- uticaji vremena posebno u primerima kod kojih je trajanje probnih opterećenja i ispitivanja na modelima mnogo kraće od trajanja opterećenja stvarne konstrukcije;
- posebnu pažnju treba posvetiti merilima modela i njihovim uticajima posebno kada su upotrebljeni mali modeli.

U ovu kategoriju projektovanja ubrajamo proveru nosivosti i popuštanja geotehničkih sidara, puzanja sidara, nosivosti i deformacije šipova itd.

#### 10.4.3.2.4 Metoda pratećeg projektovanja

Pošto se u veoma teškim geotehničkim uslovima izgradnje potpornih konstrukcija, kod kojih su u početku izraženi nestabilnost kosine (padine) i uticaji podzemne vode, ne mogu pretpostaviti ponašanja potpornih konstrukcija sa vidika graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja upotrebljivosti, u većini takvih primera korisno je primeniti metodu pratećeg projektovanja. Ključni element ovakvog projektovanja je unapred planirano praćenje potpore konstrukcije i uticajnog područja tla tokom izgradnje (projektovanje po monitoring metodi). Ovakvu metodu po pravilu primenjujemo kod geotehnički najzahtevnijih objekata. Kod projektovanja potpornih konstrukcija po monitoring metodi potrebno je predvideti mogućnost naknadnih ojačanja.

Pre početka izgradnje, projektna dokumentacija treba da ispuni sledeće uslove:

U okviru realnih mogućnosti geomehaničkim analizama, treba dokazati granice prihvatljivog ponašanja konstrukcije.

Kod potpornih konstrukcija granice prihvatljivog ponašanja su određene dozvoljenim apsolutnim i relativnim pomeranjima tla i konstrukcije sa još uvijek prihvatljivim opterećenjima preseka konstrukcije i širine pukotina.

Kao sastavni deo izvođačkog projekta mora da bude izrađen tačan nacrt praćenja (monitoringa), pošto treba predvideti praćenje i merenja svih parametara koji obezbeđuju upotrebljivu sposobnost konstrukcije za obavljanje projektom predviđene funkcije. Sa rezultatima praćenja odnosno merenjima treba odrediti stvarno ponašanje konstrukcije u onim početnim fazama izgradnje u kojima još postoji mogućnost sprovođenja, da sa dodatnim merama obezbedimo ponašanje konstrukcije u skladu sa predviđanjima iz projektne dokumentacije.

Kod projektovanja treba unapred izraditi nacrt mera koje se u toku izgradnje mogu sprovesti odmah nakon što je poznato ponašanje konstrukcije do kojeg e došlo merenjima i izlaze iz okvira granica predviđenih projektom.

U uobičajene dodatne mere kod potpornih konstrukcija ubrajamo: privremena i trajna geomehanički ankeri, dodatno opiranje ili razupiranje, izradu dodatnih nasipa ili rasterećenja konstrukcije, dodatne drenažne intervencije, injektiranje zaleđa, vertikalni šipovi itd.

#### 10.4.3.3 Konstrukcioni principi u projektovanju

Pri projektovanju potpornih konstrukcija treba primeniti sledeće temeljne konstrukcione principe:

- Sve potporne konstrukcije moraju da budu koncipirani i konstruisani tako da će u primeni normalnih uslova izgradnje, nadzora i obezbeđenja kvaliteta i održavanja, biti ekonomične i sposobne da vrše funkciju predviđenu projektom zadatkom.
- U cilju garantovanja ekonomičnosti potpornih konstrukcija potrebno ih je konstruisati tako da ne prekorače granično stanje nosivosti i u ekstremnim okolnostima (stogodišnja voda, poplave, kvarovi drenažnih sistema itd.). Za granično stanje sa manjim posledicama (granična stanja upotrebljivosti) dozvoljava se primena samo najnepovoljnijih uticaja u normalnim uslovima eksploatacije (20-godišnje podzemne i površinske vode, rad drenažnih sistema uz redovno održavanje itd.).
- Kod koncipiranja potpornih konstrukcija treba izbegavati konstrukcione sisteme koji mogu, pri promeni opterećenja da brzo promene svoje kinematičke osobine odnosno stabilnost bez prethodnog upozorenja sa povećanjem pomeranja, deformacija, pukotina, jer bi se lako i brzo srušile;
- Konstrukcije treba koncipirati i projektovati tako, da se omogući što bolje i jednostavnije izvođenje i održavanje.

#### 10.4.3.4 Arhitektonsko oblikovanje potpornih konstrukcija

Kod većih samostalnih konstrukcija i arhitektonsko oblikovanje i uključivanje u

prirodni i urbani prostor predstavlja značajnu fazu projektovanja.

Iz toga razloga kod potpornih konstrukcija, koje zahtevaju velike intervencije u prostor, u projektnu grupu uključiti i stručno lice za arhitektonsko i prostorsko oblikovanje.

Za područje arhitektonskog oblikovanja odgovorni su projektant trase, odgovorni projektant potporne konstrukcije i odgovorno lice za arhitektonsko oblikovanje.

#### 10.4.3.5 Preporuke za izbor tehnologije građenja

Sa geotehničkog stajališta su tehnologije izvođenja potpornih konstrukcija definisane u pogledu redosleda faza izgradnje, te načina obezbeđenja potrebne stabilnosti iskopa i izrade drenažnih sistema odnosno zasipa.

Izbor optimalne tehnologije zavisi pre svega od globalne stabilnosti uticajnog područja potporne konstrukcije, osetljivosti objekata koji su locirani u uticajnom području, stabilnosti privremenih lokalnih iskopa, troškova izgradnje, raspoložive opreme potencijalnih izvođača, te rokova za izgradnju.

Razlikujemo sledeće tehnologije izvođenja:

- Duboko temeljenje potporne konstrukcije koja se pretežno gradi sa površine postojećeg terena. Konstrukcije mogu biti ankerisane ili neankerisane. Predviđene intervencije u prostor (iskopi) i potrebna ojačanja (ankeri) izvode se postepeno po pojedinačnim fazama izgradnje. U tu grupu ubrajamo: zidove od bušenih šipova, dijafragme, jet grouting potporne konstrukcije.
- Potporne konstrukcije izgrađene u otvorenim, međusobno odvojenim kratkim zasecanjima koji su raspoređeni u različitim nivoima po visini, gde su ankerisanjem obezbeđeni i već izgrađeni segmenti garantuju potrebnu stabilnost iskopa za sledeće faze. U tu grupu ubrajamo: ankerisane kontinuirane potporne zidove izgrađene po tehnologiji odozgo nadole, ankerisane AB grede odnosno brane za trajno čuvanje odnosno privremeno podupiranje dubokih iskopa građevinskih jama kod izgradnje potpornih konstrukcija, pokrivenih ukopa itd.
- Plitko temeljene potporne konstrukcije su potporni zidovi od kamena, betona ili AB izgrađeni u uobičajenim po dužini raspoređenim kampadama dužine 3 do 6 m.
- Plitko temeljene neankerisane odnosno ankerisane potporne konstrukcije

izgrađene u otvorenim nezaštićenim građevinskim jamama. U ovu grupu se ubrajaju konstrukcije kod kojih geološko-geotehnički uslovi omogućuju sigurno izvođenje dubokih građevinskih jama sve do predviđene kote temeljenja, kao i sve mere potrebne za podupiranje putnih nasipa i zatrpavanja koji su predviđeni za izvođenje u toku ili posle izvođenja radova. U tu grupu ubrajamo betonske potporne konstrukcije, kamene potporne zidove iz obrađenog ili neobrađenog kamena. U koliko troškovi privremenog osiguranja građevinske jame prelaze 25% vrednosti potporne konstrukcije, potrebno je izraditi analizu i napraviti poređenje ekonomičnosti obezbeđenja građevinske jame i uporediti sa varijantom izgradnje potporne konstrukcije koja se gradi sa površine postojećeg terena.

- Kombinacija više različitih tehnologija izvođenja potpornih konstrukcija gde se donji deo potporne konstrukcije gradi sa dna građevinske jame ograničene dubine, odnosno sa površine pri izgradnji puteva. U ovu grupu ubrajamo duboko temeljenje masivne potporne konstrukcije (temeljene na šipovima).

Na izbor odgovarajuće tehnologije za građenje najznačajniji uticaj imaju:

#### Globalna stabilnost uticajnog područja, koja se procenjuje:

Globalna stabilnost značajnog uticaja koja kod izvođenja potporne konstrukcije neće biti ugrožena. Očekuju se samo lokalna obrušavanja otvorenih kosina.

Mala ugroženost globalne stabilnosti, očekuje se plitko klizanje dubine do 2 m u ograničenoj meri.

Velika ugroženost globalne stabilnosti dugih i strmih padina sa objektima i infrastrukturom, velika hidrostatička opterećenja, tla su osjetljiva na uticaje rasterećenja itd.

#### Stabilnost lokalnih iskopa:

Stabilnost je zagarantovana u skladu sa normama geotehničkog projektovanja.

Uslovi stabilnosti lokalnih iskopa ne mogu se sa sigurnošću dokazati, zbog čega postoji opasnost od lokalnog obrušavanja.

Sigurnost lokalnih iskopa ne može se garantovati zbog velike osetljivosti tla na prisutnost vode te uticaje relaksacije tla.

#### Osetljivost objekata u uticajnom području:

U uticajnom području nema lociranih značajnijih objekata pošto su isti temeljeni u stabilnim materijalima ili u slučajevima u kojima geološko-geomehanički uslovi navode podatak da se pomeranja tla u područjima objekata sigurno neće pojaviti.

Mogućnost pojave manjih pomeranja tla može da uzrokuje samo manja oštećenja na objektima koja ne mogu da utiču na njihovu pouzdanost. Značajnija pomeranja tla uz objekte manje su verovatna.

Sigurnost i pouzdanost objekata u uticajnom području potpornih konstrukcija bila bi ozbiljno ugrožena u slučaju pojave pomeranja tla. Opasnost aktiviranja većih pomeranja tla i objekata u slučaju otvorene građevinske jame treba dokazati sa geomehaničkom analizom.

#### 10.4.3.6 Projektovanje u seizmičkim područjima

Za projektovanje potpornih konstrukcija uz saobraćajnice u uslovima normalne seizmičke ugroženosti dovoljno je samo određivanje potresne kategorije uticajnog područja sa uzimanjem u obzir podatka o potresima za povratni period od 475 godina. Osnovna karta opasnosti od potresa upotrebljava se zajedno sa EUROCODE 8 – Projektovanje sigurnih konstrukcija na potres. Za konstrukcije većeg rizika, kao što su dolinske pregrade i akumulacije, treba odrediti stvarne mikro seizmičke podatke lokacije.

Potporne konstrukcije treba zasnovati tako, da bez suštinskih oštećenja u potpunosti obavljaju svoju funkciju u toku i posle projektnog potresa.

Granično stanje potporne konstrukcije uz potresno opterećenje je definisano kao stanje konstrukcije pri kome se pojavljuju neprihvatljiva trajna opterećenja, trajna pomeranja potporne konstrukcije ili klizanje mase tla, koja su važna kako za konstrukciju tako i za funkcionalne učinke objekata.

Mogu se birati svi tipovi potpornih konstrukcija, koje su predviđene za statička opterećenja samo što u uslovima velike seizmičnosti zahtevaju odgovarajuće dopune. Odgovarajućom koncepcijom i konstruktivnim detaljima treba garantovati što veću duktilnost konstruktivnog sistema (krutost tla i potporne konstrukcije za seizmička opterećenja treba da budu odgovarajuća, povećanje slobodnih dužina sidara itd.).

Materijale za zasipanje zaleđa treba izabrati tako da se postigne što ravnomernije povezivanje sa postojećim tlom.

Drenažni sistemi u zaleđu potporne konstrukcije, moraju da podnose predviđena povremena i trajna pomeranja pod projektovanim opterećenjima i pri tom ne smeju da imaju oštećenja koja bi uticala na trajnost i upotrebljivost njegovih funkcija.

Kod nekoherentnog tla koji sadrži vodu, drenažni sistem treba omogućuje odvajanje vode ispod potencijalne plohe klizanja u zaleđu potporne konstrukcije.

### 10.4.4 KAMENI GRAVITACIONI ZIDOVİ

#### 10.4.4.1 Uvod

Kameni gravitacioni zidovi su konstrukcije od kamenih blokova nepravilnog oblika, veličine 0,3 – 0,7 m povezani međusobno betonom u homogenu celinu koja svojim oblikom i težinom prenosi pritiske zemlje i korisna opterećenja na temeljna tla. Kamen treba da je otporan na agresivno dejstvo (hemijsko i mahaničko) vode i okoline.

Koncipirani su tako, da rezultanta akcijskih sila ostaje u jezgru preseka. Kameni gravitacioni zidovi upotrebljavaju se najviše kao potporne konstrukcije koje štite padinu iznad saobraćajnice.

Odnos između kamenih blokova i betonske ispune je od 60 : 40 do 30 : 70. U preseku zida deluje pritisni napon, zbog čega nije potrebno ojačanje armaturom.

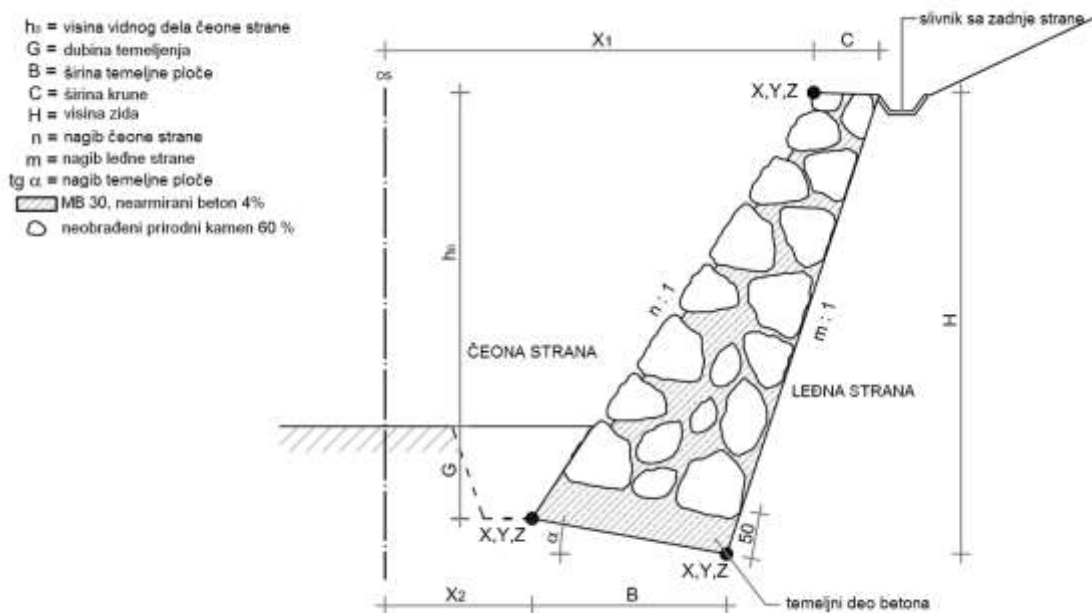
Uobičajena visina kamenih gravitacionih zidova je 1,0 – 6,0 m, a pre svega zavisi od kvaliteta temeljnog tla. Kameni ponderisani zidovi su ekonomična konstrukcija kada je na raspolaganju dovoljno kvalitetnog kamenog materijala i gdje konfiguracija terena (nagib padine) dozvoljava izvođenje konstrukcije manjim nagibima zidova.

Kameni gravitacioni zidovi se zbog formalnih karakteristika primenjuju kod potpornih konstrukcija u slučajevima kada je zahvat u zaleđe ograničen, a padina još uvek dozvoljava izvođenje iskopa od nagiba padine do nagiba leđne strane zida, pošto se konstrukcija izvodi po principu kontaktnog građenja (betoniranja).

U formalnom smislu kameni gravitacioni zidovi su zbog svog prirodnog izgleda (lice od

velikih odabranih kamenih blokova) prikladni pre svega za neurbane lokacije na kojima je od značaja njihovo uklapanje u prirodnu okolinu. Za urbana područja su prihvatljive

konstrukcije kod kojih su čeonu stranu dodatno obrađene kamenim oblaganjem manjim elementima ili se primenjuju i druga rešenja.

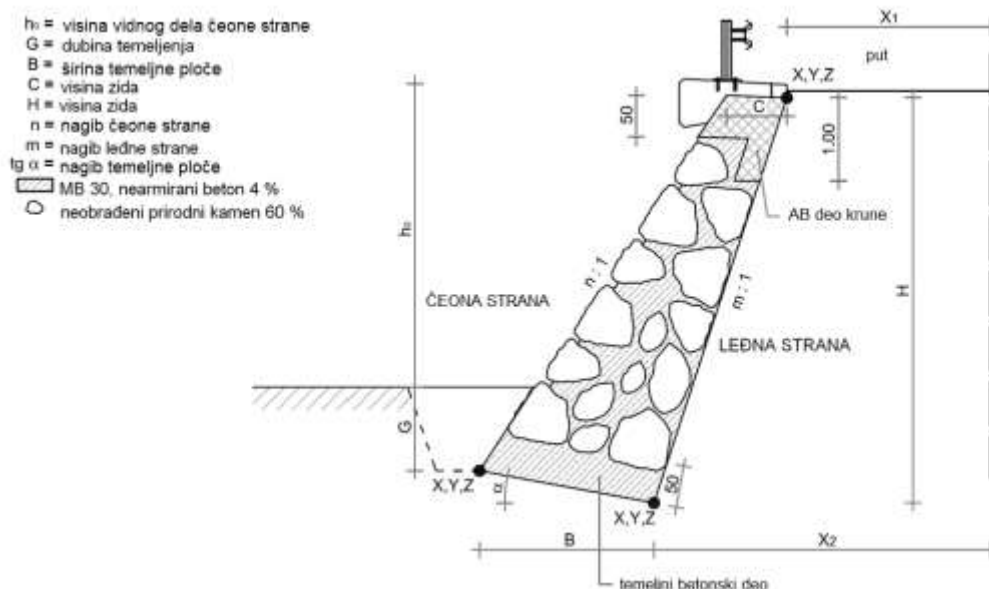


Slika 10.4.1: Potporni kameni gravitacioni zid iznad nivelete puta sa podacima za iskolčavanje

#### 10.4.4.2 Konstruisanje kamenih gravitacionih zidova

Kameni gravitacioni zidovi izvode se do nagiba čeonu strane 3:1, dok je nagib leđne strane nešto manji, tako da njihova međusobna razlika nije manja od 5°. Radi lakše formalne koncepcije, kameni zidovi po pravilu nemaju dodatna proširenja na dnu konstrukcije (temelja).

Minimalna debljina trupa kamenog gravitacionog zida uslovljena je veličinom kamenih blokova od kojih se konstrukcija izrađuje, a čija minimalna dimenzija iznosi 0,5 m, odnosno 0,1 m<sup>3</sup>. Uobičajena širina krune zida je 0,70 m. Debljina preseka se povećava sa dubinom prema razlici nagiba čeonu i zaleđne strane. Iz navedenog dejstva potrebno je kod izbora nagiba strana uzeti u obzir toliku razliku kojom će se u dnu konstrukcije obezbediti dovoljna širina temeljne plohe koja ne zahteva dodatna proširenja u čeonu ili zaleđnu smeru.



Slika 10.4.2: Potporni kameni gravitacioni zid pod niveletom puta sa podacima za iskolčavanje

Temeljni deo kamenih gravitacionih zidova izvodi se iz betona C 25/30 (MB 30). Nagib donje plohe betonskog temeljnog dela je u granicama 10-20 % (1:10 – 1:5) prema zaleđnoj strani, nagib gornje plohe je reflektivno identičan. Visina betonskog temeljnog dela iznosi 0,50 m.

Dubina temeljenja uslovljena je geološkom strukturom tla i dubinom smrzavanja. U slučaju, da se konstrukcije izvode u vodi, minimalna dubina temeljenja je 1,50 m, ili se temelj ukopava u čvrstu kamenu osnovu min. 0,5 – 1,0 m.

Podužni tok temeljne plohe kamenih gravitacionih zidova treba kontinuirano oblikovati do nagiba 20 % , a preko ove granice treba izvoditi stepenasto oblikovanje koje se prilagođava podužnom nagibu terena odnosno temeljnog tla.

#### 10.4.4.3 Zahtevi za kvalitet materijala i specifičnosti građenja

Kamen kao osnovni materijal kamenih gravitacionih zidova mora da sledećim zahtevima:

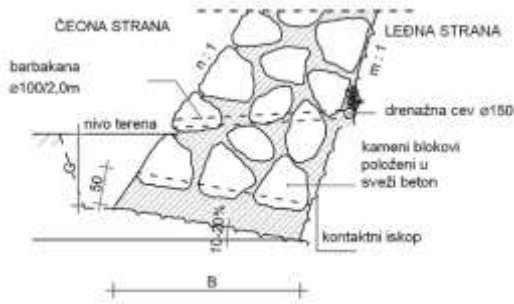
- kameni blokovi moraju da budu otporni na mraz,
- veličina pojedinih komada veća je od 0,50 m, odnosno minimalno  $0,1 \text{ m}^3$ ,
- kameni blokovi pre ugrađivanja moraju, da budu čisti kako bi se uspostavila kvalitetne veza sa betonom.

Beton kao vezni materijal, odnosno materijal punjenja treba da bude usklađen sa sledećim zahtevima:

- kvalitet mešavine betona je C 25/30 (MB 30),
- betonska mešavina mora se pripremiti tako, da se može ugrađivati bez oplata.

Potreban iskop za kamene gravitacione zidove treba predvideti na dužini jedne radne kampade, čiju dužinu uslovljava vrsta tla u zaleđu, a po pravilu iznosi od 3,0 do 6,0 m. Profil iskopa je identičan predviđenom profilu konstrukcije, tako da se izgradnja izvodi po principu kontaktne gradnje sa temeljnim tlom i tlom zaleđa.

Temeljni deo kamenih gravitacionih zidova izvodi se betonom C 25/30 (MB 30) u projektovanom geometrijskom obliku koji je uslovljen sa koncepcijom konstrukcije. Izrada podbetona nije potrebna. Zidanje – ugrađivanje kamenih blokova izvodi se neposredno u svežem betonu. Ugrađivanje – zidanje kamenih blokova izvodi se uz istovremeno dodavanje mešavine betona koji mora u potpunosti da prekrije kamene blokove i da popuni prostor između njih. Kod slaganja kamenih blokova nije dozvoljeno ponavljanje spuštanja i dizanja pošto u takvim slučajevima mogu da nastupe oštećenja već izgrađenih delova konstrukcija.



Slika 10.4.3: Detalj izvođenja temeljnog betonskog dela

Kameni blokovi slažu se u konstrukciju tako da je najveća i što ravnija ploha elementa orijentisana prema čelu. Fuge između kamenih elemenata su uvučene 10-15 cm pa mogu naknadno da se popune mešavinom humusa i semena trave, a mogu da se obrade i cementnim malterom.

Kod izvođenja se dozvoljavaju vertikalne i horizontalne radne spojnice. Vertikalne spojnice se uslovljavaju sa dužinom radne kampade, a horizontalne od napredovanja radova na pojedinačnoj kampadi. Radni spojevi ne zahtevaju dodatnu obradu u smislu izvođenja dilatacija (vertikalni spojevi) odnosno zaptivanje radi postizanja vodonepropusnosti konstrukcije.

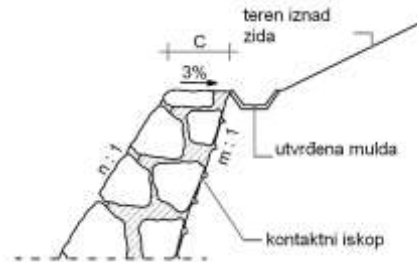
Kod vertikalnog napredovanja zidova potrebno je sprečiti moguće prodiranje zemlje koja bi isprljala površinu radnog spoja i sprečila povezivanje sa već izgrađenim delom. Ukoliko do toga slučajno dođe, prethodno mora da se očisti.



Slika 10.4.4: Detalj izrade kamenog gravitacionog zida

Obrada krune kamenih gravitacionih zidova zavisi pre svega od toga da li se radi o potpornoj konstrukciji koja se neposredno graniči sa kolovozom ili podupire padinu iznad kolovoza.

Kruna potpornih zidova koji podupiru padinu izvodi se od kamenih blokova kojima je moguće izvesti poravnavanje prethodno ugrađenih većih kamenih blokova, tako da je u podužnom smeru obezbeđena odgovarajuća ravnina, a u poprečnom smeru obezbeđen pad 3 % prema zaleđu na kome se izrađuje mulda za odvođenje atmosfere vode.



Slika 10.4.5: Detalj krune potpornog kamenog gravitacionog zida

U slučaju da se kameni gravitacioni zid izvodi kao potporna konstrukcija koja se neposredno graniči sa kolovozom, kruna se izvodi u betonu C 25/30 (MB 30). Oblik gornjeg betonskog dela uslovljen je odgovarajućim ankerisanjem naknadno izvedenih ivičnih venaca.



Slika 10.4.6: Detalj krune potpornog kamenog gravitacionog zida



## 10.4.5 BETONSKI GRAVITACIONI ZIDOVI

### 10.4.5.1 Uvod

Betonski gravitacioni zidovi su betonske konstrukcije koje oblikom i težinom prenose pritiske zemlje i korisno opterećenje na temeljno tlo. Rezultanta delovanja sila ostaje u jezgru preseka, tako da nije neophodno armiranje betonske konstrukcije.

Maksimalna visina betonskih gravitacionih zidova je 8,0 – 10,0 m, a pre svega zavisi od kvaliteta temeljnog tla.

Leđna strana je po pravilu nagnuta prema zaleđu čime se pritisci zemlje smanjuju. Konstrukcije su ekonomične naročito tamo gde su nagibi terena veći.

Konstrukcije sa vertikalnom leđnom stranom se primenjuju kod uobičajenih nagiba i pri uobičajenom kvalitetu temeljnog tla, a zidovi sa kosom leđnom stranom se primenjuju na tlu bolje nosivosti i kod većih nagiba terena.

Betonski gravitacioni zidovi se zbog dobrih formalnih karakteristika primenjuju kao potporne konstrukcije pri čemu su intervencije u zaleđu najmanje moguće, tako da je zasipanje iza leđne strane zida zanemarljivo. Kontaktno betoniranje betonskih potpornih gravitacionih zidova se retko izvodi, uz izuzetak dograđivanja postojećih zidova.

U formalnom smislu betonski gravitacioni zidovi se zbog svog izgleda (velike vidljive betonske površine), naročito koriste na lokacijama na kojima uključivanje u prirodno okruženje nije presudne važnosti, odnosno na lokacijama na kojima su već izgrađene slične betonske potporne konstrukcije. Da bi se ispunili estetski zahteva, vidljive površine betonskih zidova mogu da se obrade na odgovarajući način naknadnim oblaganjem kamenom, prethodnom obradom elemenata

oplate ili istovremenim zidanjem kamene obloge.

### 10.4.5.2 Konstruisanje betonskih gravitacionih zidova

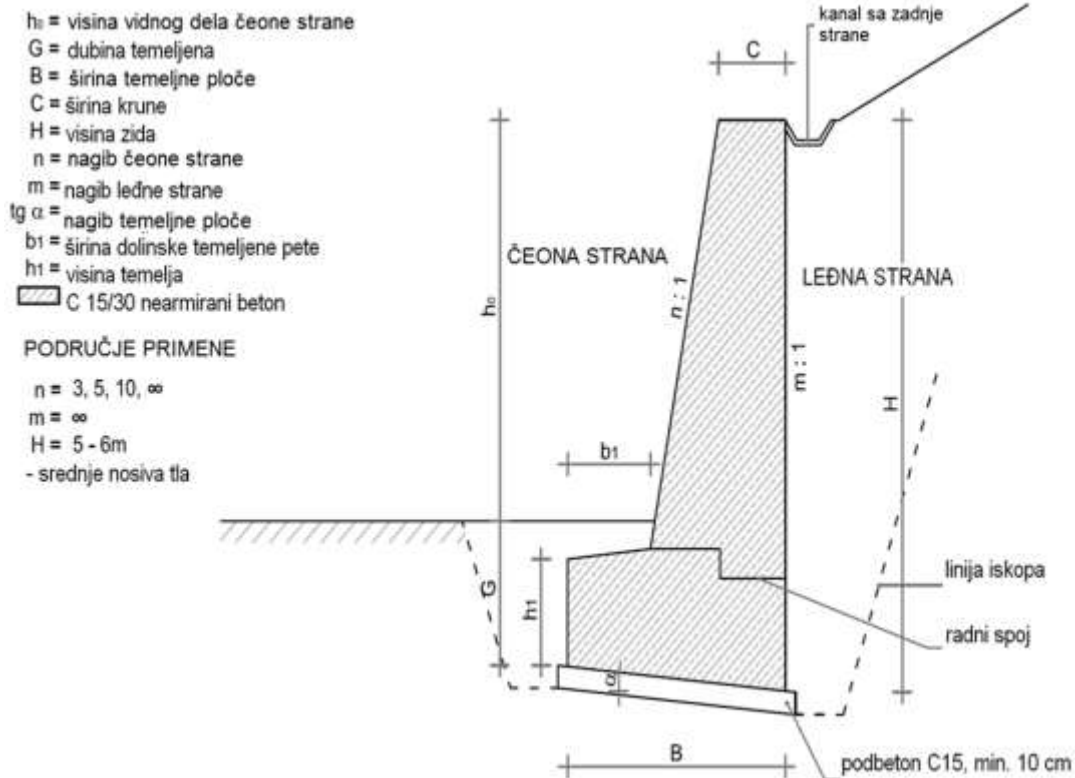
Betonski gravitacioni zidovi konstruišu se sa nagibima čelne strane od 3:1 do 10:1 ili vertikalno. Nagib leđne strane za zidove visine 5,0 – 6,0 m je vertikalno, dok se kod većih visina  $\frac{1}{4}$  gornje visine izvodi vertikalno, kod donje  $\frac{3}{4}$  visine se izvodi paralelno sa čelnom stranom. Betonski gravitacioni zidovi po pravilu imaju proširenje u dnu konstrukcije (temelji), koje se izvodi na čeonj strani zida.

Minimalna debljina stene betonskog gravitacionog zida iznosi 0,40 m. Debljina preseka se povećava zajedno sa dubinom za razliku nagiba čeonje i leđne strane, koja po pravilu nije takva da ne bi zahtevala dodatna proširenja u obliku temeljne pete.

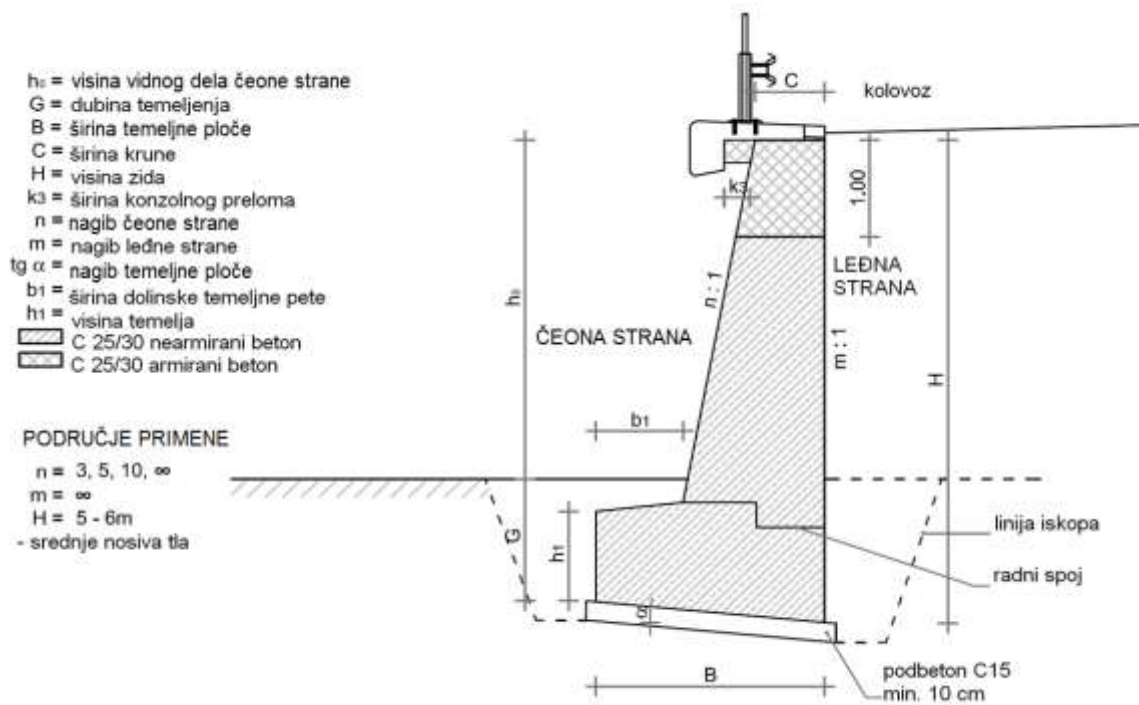
Betonski zidovi su od betona C 25/30 (MB 30). Nagib donje plohe temelja je u granicama 10-20 % (1:1 – 1:5) prema zaleđu. Gornja ploha temelja ima minimalni nagib 2 % od čelne strane zida. Visina temelja na kontaktu sa stenom zida treba da iznosi 80 % debljine stene.

Dubina temeljenja je uslovljena geološkom strukturom tla i dubinom smrzavanja. U slučaju da se konstrukcije izvode u vodi, minimalna dubina temeljenja iznosi 1,5 m ili se temelji ukopaju u stensku masu u dubini 0,5 – 1,0 m.

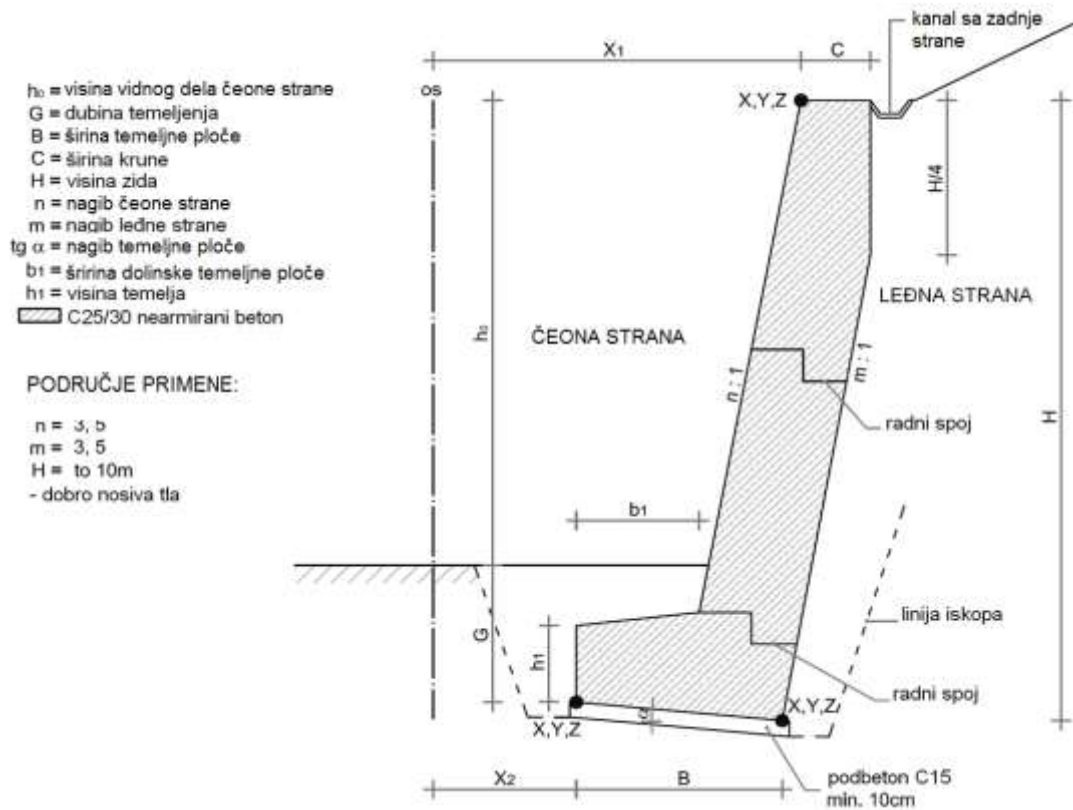
Oblikovanje podužnog toka temeljne plohe betonskih gravitacionih zidova je identičan kao kod kamenih gravitacionih zidova. Oblikovanje se izvodi u kontinuitetu do 20 % nagiba, a za veće nagibe plohu treba izvesti stepenasto uz prilagođavanje podužnom nagibu terena ispod linije temeljne plohe.



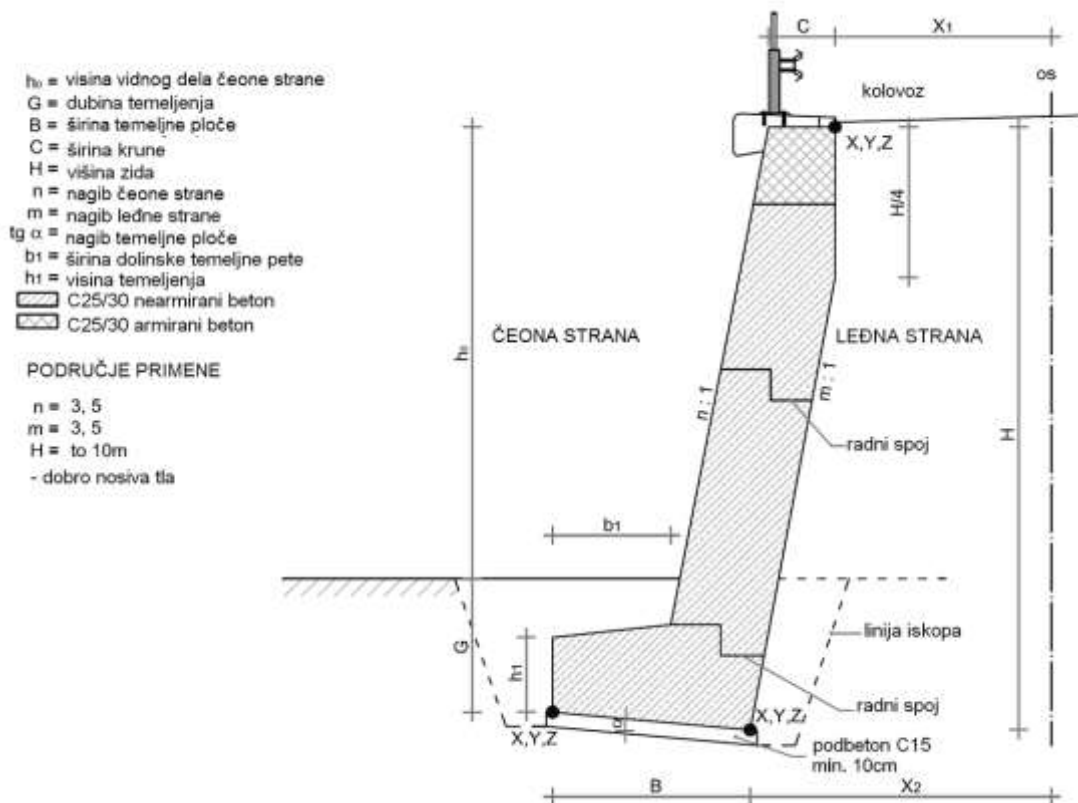
Slika 10.4.7: Potporni betonski gravitacioni zid iznad nivelete puta sa vertikalnom leđnom stranom



Slika 10.4.8: Potporni betonski gravitacioni zid ispod nivelete puta sa vertikalnom leđnom stranom



Slika 10.4.9: Potporni betonski gravitacioni zid sa kosom leđnom stranom i podacima za iskolčavanje



Slika 10.4.10: Potporni betonski gravitacioni zid sa kosom leđnom stranom i podacima za iskolčavanje

### 10.4.5.3 Zahtevi za kvalitet materijala i specifičnosti izgradnje betonskih gravitacionih zidova

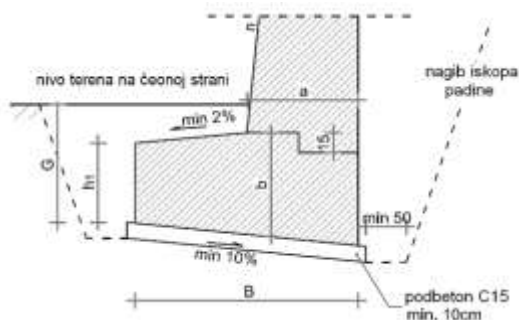
Beton mora odgovarati sledećim zahtevima:

- kvalitet betonske mešavine je C 25/30 (MB 30), otpornim na dejstvo mraza i soli,
- betonska mešavina mora da bude tako pripremljena da omogućuje kvalitetnu ugradnju u oplatu
- materijal za oplatu i obrada vidnih površina moraju da odgovaraju uslovima za vidljive i sakrivene betonske površine u skladu sa smernicom SRDM 9.12.8.

Potreban iskop za betonske gravitacione zidove treba predvideti na dužini jedne radne kampade koja je uslovljena vrstom tla iza zida, a iznosi 3,0 in 6,0 m. Profil iskopa je veći od preseka zida, pošto je na zaleđu potreban dodatni iskop za postavljanje oplata i za kasnije izvođenje radova na zasipanju prostora iza zida koji mora dobro da se kompresuje, za šta treba obezbediti odgovarajuću radnu širinu.

Temelji betonskih gravitacionih zidova izvode se betonom C 25/30 (MB 30) u odgovarajućem geometrijskom obliku na prethodno ugrađeni sloj podbetona C 12/15 (MB 15). U koliko je temeljenje u steni, proširenje čela pete temelja se ne izvodi, nego se izvede samo ankerisanje neraširenog dela zida u stensku osnovu. Podbeton se takođe ne izvodi, ako se radi o čistoj podlozi temelja.

Radni spoj temelja i trupa zida je stepenast čime se postiže veća sigurnost protiv klizanja ili se u temeljni deo ugradi ankerisana armatura.



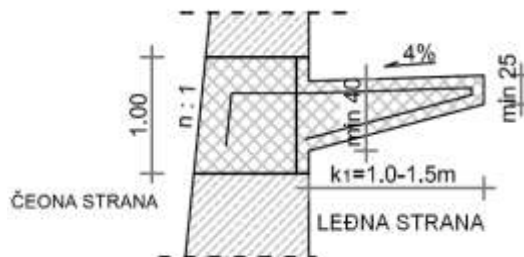
Slika 10.4.11: Detalj temelja betonskog zida

Dužina kampade temelja prilagođava se dužini kampade zida.

Betoniranje trupa betonskih gravitacionih zidova izvodi se nakon izrade temeljnog dela koji služi kao podloga za postavljanje elemenata oplata. Trup zida se izvodi po visini u jednoj ili više radnih faza što zavisi od visine betoniranog zida.

Za postizanje veće stabilnosti betonskih gravitacionih zidova može se na leđnoj strani zida može da se predvidi konzola. Dužina konzole po pravilu iznosi od 1,0 do 1,5 m, a ako se radi o zidovima većih dimenzija, konzola može da bude i veća. U delu konzole betonskog gravitacionog zida treba predvideti odgovarajuće ojačanje sa armaturom na visini od približno 1,0 m.

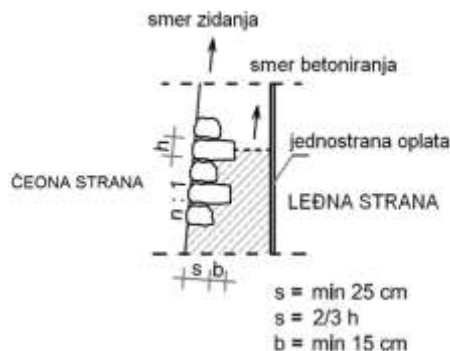
Debljina konzole na spoju sa zidom min. 0,40 m, na kraju konzole min. 0,25 m. Nagib gornje plohe konzole iznosi 4 % prema zaleđu zida.



Slika 10.4.12: Detalj konzole betonskog zida

U slučaju da se zahteva izrada čeonj strane betonskih zidova u kamenu, može da se izvede na dva načina:

- istovremenim zidanjem kamene obloge i betoniranjem zaleđa,
- naknadnim oblaganjem (ne preporučuje se za zidove na kontaktu sa tokom vode).



Slika 10.4.13: Detalj betonskog zida sa istovremenim zidanjem kamene obloge

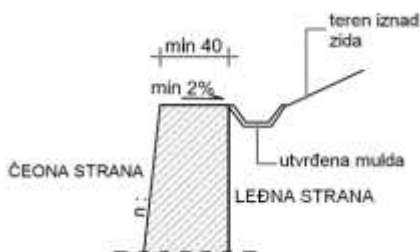


Slika 10.4.14: Detalj betonskog zida sa naknadnim oblaganjem

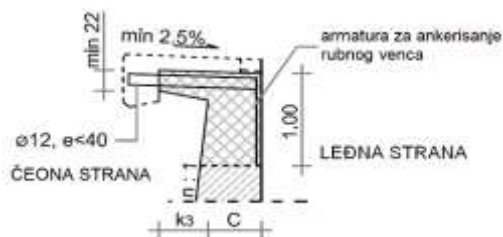
Kod izvođenja su dozvoljeni vertikalni i horizontalni spojevi. Vertikalni spojevi se uslovljavaju dužinom radne kampade, horizontalni visinom napredovanja radova na pojedinačnoj kampadi. Horizontalne radne spojeve čiji broj treba da bude što manji treba izvoditi stepenasto kao i spoj između temelja i trupa zida. Radni spojevi ne zahtevaju dodatnu obradu u smislu vodonepropusnosti.

Obrada krune betonskih gravitacionih zidova najviše zavisi od toga da li se radi o potpornoj konstrukciji koja se neposredno graniči sa kolovozom ili o konstrukciji koja se nalazi iznad kolovoza i podupire padinu. Krune zidova iznad kolovoza ne zahtevaju posebnu obradu. Širina krune je min. 0,40 m, mora sa ima poprečni pad 2, prema leđnoj strani na kojoj se izvodi odgovarajuća mulda za odvodnjavanje atmosferske vode.

U slučaju da se betonski gravitacioni zidovi izvode kao potporna konstrukcija koja se neposredno graniči sa kolovozom, završetak krune treba prilagoditi obliku ivičnog venca i hodnika. Ukoliko osnovna konstruktivna visina krune nije adekvatna za odgovarajuće naleganje, onda se kruna proširi propustom. Oblikovanje konzolnog odvodnog kanala izvodi se u skladu sa SRDM 9.12.1.



Slika 10.4.15: Detalj krune betonskog gravitacionog potpornog zida



Slika 10.4.16: Detalj krune betonskog gravitacionog potpornog zida sa konzolom



Slika 10.4.17: Detalj krune betonskog gravitacionog zida

## 10.4.6 ARMIRANI BETONSKI GRAVITACIONI ZIDOVİ

### 10.4.6.1 Uvod

Armirani betonski gravitacioni zid je konstrukcija od betona ojačanog armaturom koji svojom formalnom i ponderacionom koncepcijom i masom okolnog tla prenosi pritiske zemlje i korisnog opterećenja na temeljno tlo. Koncepcija konstrukcije u poređenju sa betonskim gravitacionim zidom predstavlja uštedu u debljini zida.

Razlikujemo AB gravitacione zidove kao AB zidove sa temeljom na prednjoj strani i tanje ugaone zidove bez ili sa rebrima (podupirači) i relativno širokom temeljnom pločom.

AB gravitacioni zidovi upotrebljavaju se kao potporne konstrukcije, naročito na tlu male nosivosti i u slučajevima kada se u zaleđu formira nasip. Za potporne konstrukcije koje se nalaze iznad kolovoza i podupiru padinu, ugaoni zidovi se primenjuju samo u izuzetnim slučajevima, pošto zahtevaju velike iskope u padini u zaleđu zida, što treba izbegavati.

AB gravitacioni zidovi su konstrukcije izvedene od betona min. C 25/30 (MB 30) i armature koja se određuje na osnovu dimenzionisanja kritičnih preseka konstrukcije. Maksimalna visina AB gravitacionih zidova iznosi 10,0 – 12,0 m, u slučaju ugaonih zidova sa rebrima, visina

može da bude i veća. Visina najviše zavisi od kvaliteta temeljnog tla.

Upotreba AB gravitacionih zidova ne može da se izbegne u slučajevima kada zbog ograničenja prostora ne mogu da se izvedu masivni zidovi, i u slučajevima kada je finansijski opravdana. AB gravitacioni zidovi primenjuju se na slabijem tlu manje nosivosti gde masivne konstrukcije ne mogu zadovolje kriterijum nosivosti temeljnog tla. U izuzetnim slučajevima kod tla male nosivosti temeljenje zida može da se izvede na šipovima ili bunarima.

Ugaoni AB gravitacioni zidovi izvode se većinom kao potporni zidovi u slučajevima kada se izvode novi nasipi i gde je zemljište za nasip ograničeno. AB zidovi su ekonomični u smislu upotrebe betona i prikladni za tla manje nosivosti pošto velika površina temelja smanjuje pritiske na temeljno tlo. Dodatno smanjenje odnosno povoljniji raspored pritisaka garantuju izvedena rebra (podupirači).

Posebna konstrukcija AB ugaonih zidova su zidovi sa rebrima za ojačanje (podupirači) na zaleđnoj strani. Povoljni su za zidove većih visina pošto se njihovom upotrebom smanjuju dimenzije i količina potrebne armature, naponi i deformacije.

Rebra za ojačanje debljine 0,5 – 0,7 m postavljaju se na rastojanju 3 – 5 m, dok se njihov oblik prilagođava dimenzijama čeone

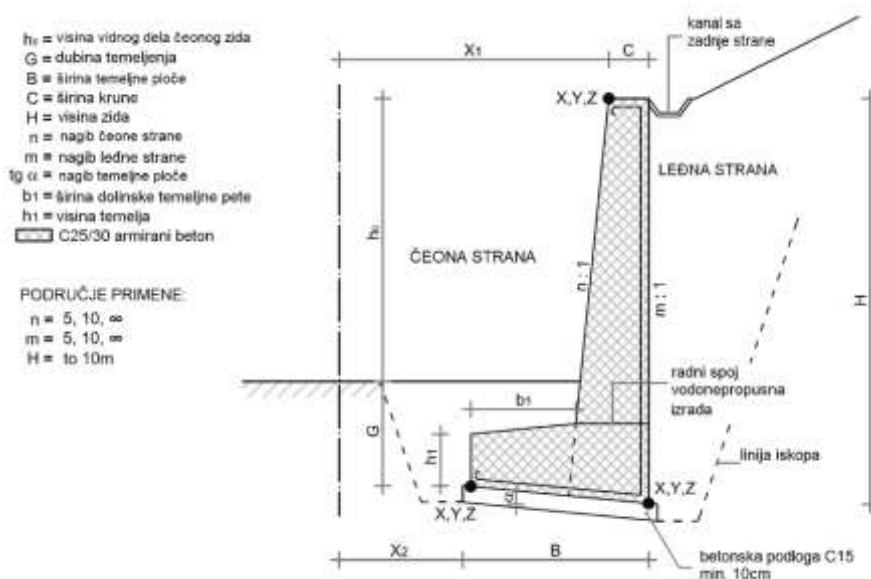
stene i temelja. Vrh rebra je 50 – 70 cm pod nivoom nivelete puta, tako da ne ometa kolovoznu konstrukciju.

Vrh zida može da se izvede bez i sa konzolom, i prilagođava se širini bankine ili hodnika za pešake u slučajevima kada se zid nalazi na spoju sa mostom.

Izvođenje nasipa u zaleđu ugaonog zida sa rebrima je otežano. Poželjno je da nasipni materijal bude kameni odnosno šljunkoviti koji se lakše kompresuje.

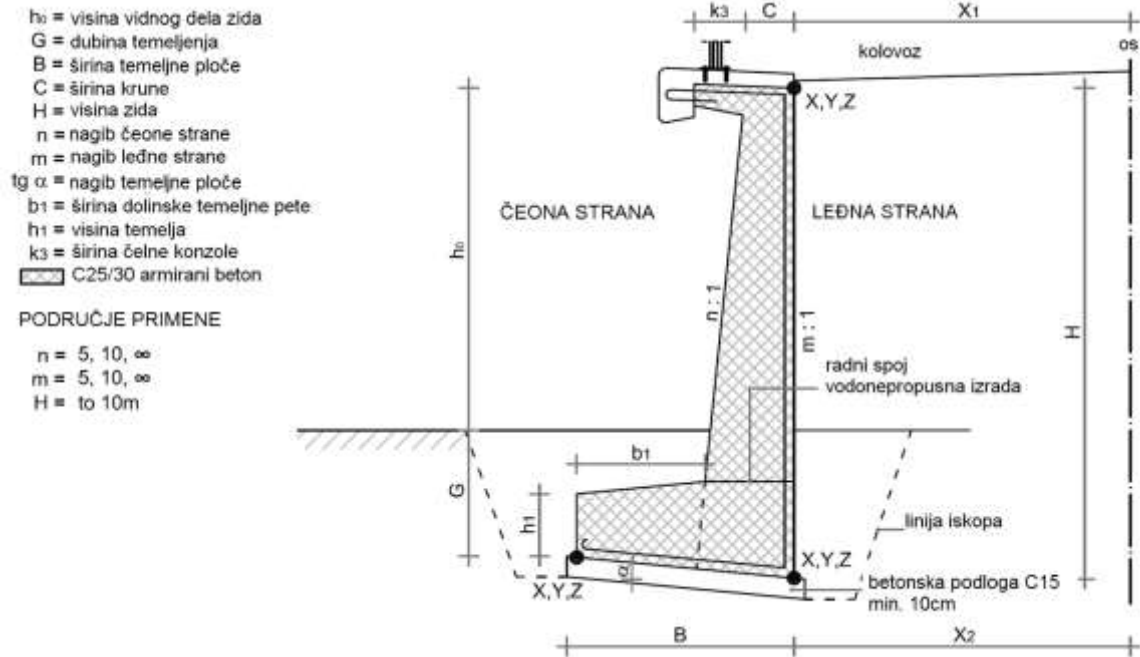
U nekim primerima ugaoni zidovi manjih visina mogu da se ojačaju rebrima koja se nalaze sa prednje – vidljive strane sa proširenjem temelja u tom smeru. Ovakvi zidovi se izvode u slučajevima kada postoji potreba za ravnim leđnim površinama.

U formalnom smislu za AB ponderacione zidove važe slične karakteristike kao i kod betonskih gravitacionih zidova. Tako su površinsko neobrađeni AB gravitacioni zidovi zbog svog izgleda (velike vidljive betonske površine) naročito pogodni za lokacije kod kojih uklapanje u prirodno okruženje nije od presudne važnosti, odnosno za lokacije na kojima postoje već izgrađeni slični zidovi. Za ispunjavanje estetskih zahteva vidne površine AB gravitacionih zidova mogu dodatno da se obrade naknadnim oblaganjem ili prethodno obrađenim elementima oplate.

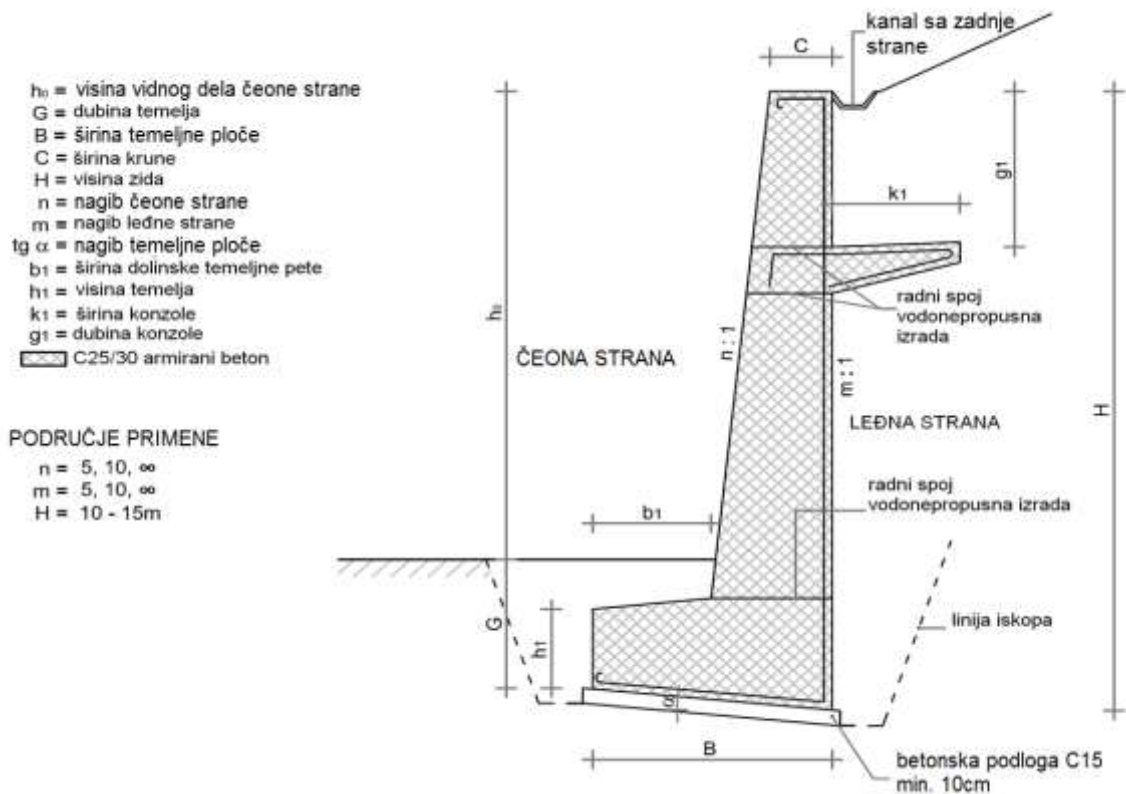


Slika 10.4.18: AB gravitacioni potporni zid sa podacima za iskolčavanje

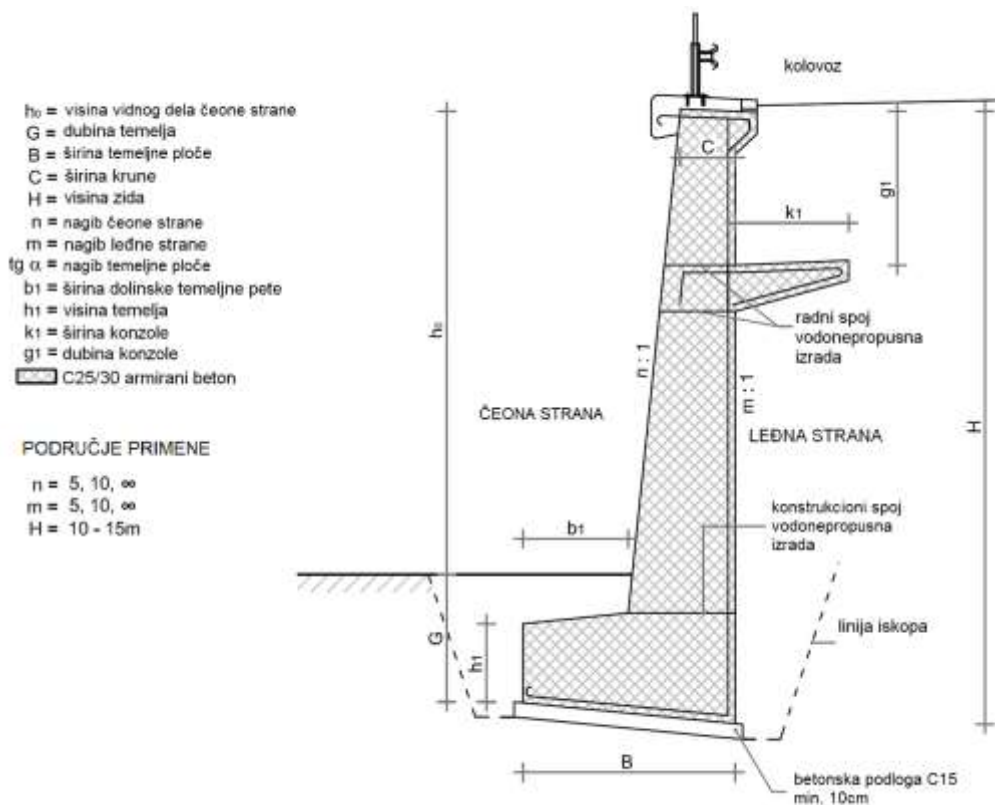




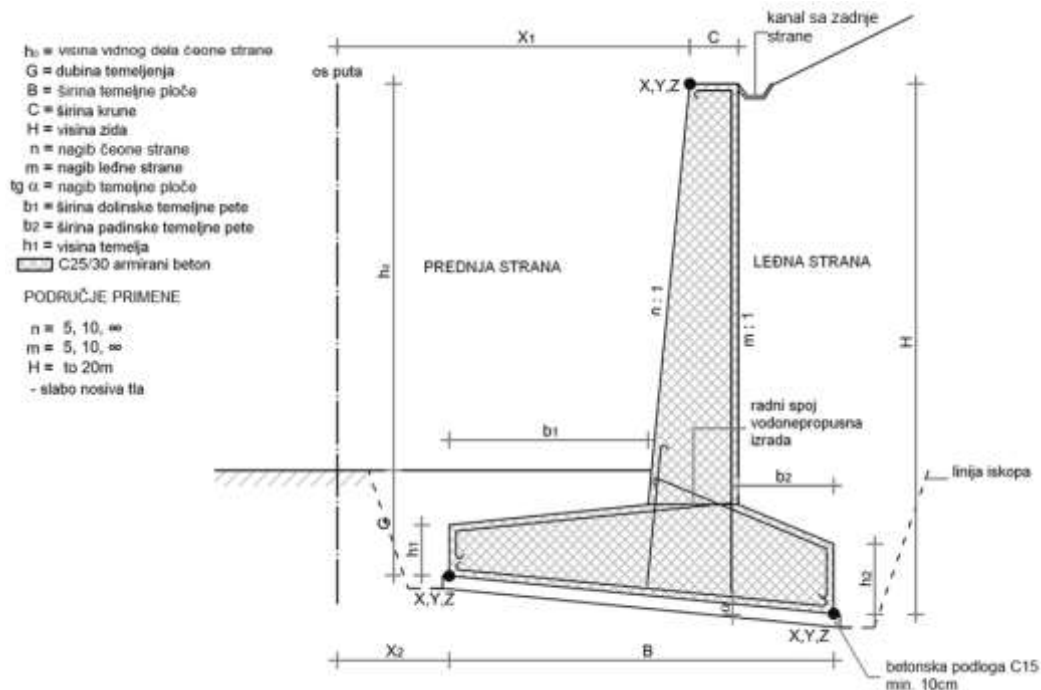
Slika 10.4.19: AB gravitacioni zid sa podacima za iskolčavanje



Slika 10.4.20: AB gravitacioni potporni zid sa konzolom

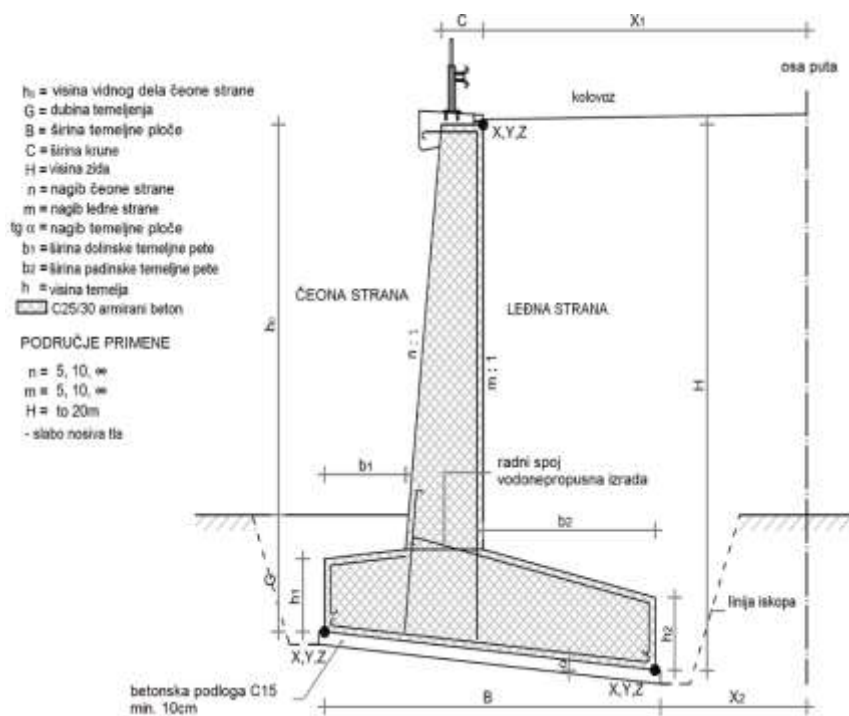


Slika 10.4.21: AB gravitacioni zid sa konzolom



Slika 10.4.22: Ugaoni AB gravitacioni zid iznad nivelete puta sa podacima za iskolčavanje

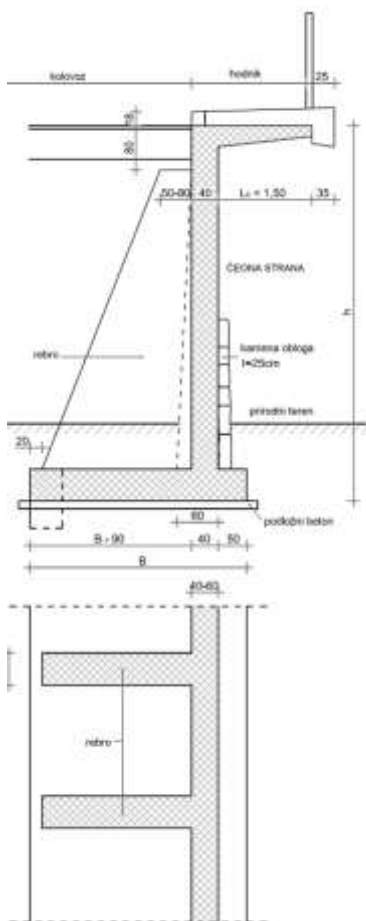




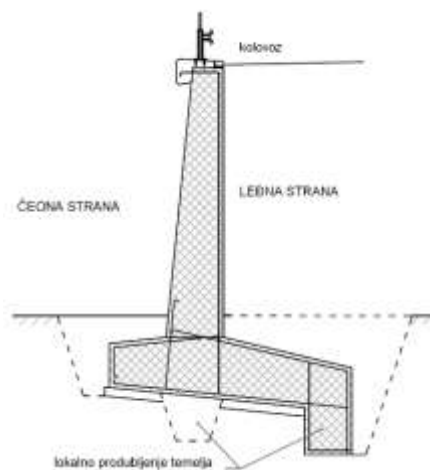
Slika 10.4.23: Ugaoni AB gravitacioni zid ispod nivelete puta sa podacima za iskolčavanje

### 10.4.6.2 Konstruisanje AB gravitacionih zidova

AB gravitacioni zidovi konstruišu se sa nagibom čelne strane od 5:1 do 10:1 odnosno vertikalno. Nagib leđne stene je po pravilu vertikalno, ali može biti i u nagibu. AB gravitacioni zidovi uvek imaju raširenje u dnu konstrukcije, koji se izvodi na čelnoj strani zida. Kod ugaonih AB zidova raširenje se izvodi sa obe strane.



Slika 10.4.24: Ugaoni AB potporni zid sa rebrima za ojačanje (podupirači)



Slika 10.4.25: Oblikovanje temelja za povećanje interakcije između zida i terena

Minimalna debljina AB gravitacionog zida iznosi 0,40 m. Debljina preseka se povećava

sa visinom u odnosu na razliku između nagiba čeone i leđne strane stene koja ni u jednom slučaju ne može da bude takva da ne bi zahtevala dodatna proširenja u obliku čeone temeljne pete, odnosno čeone i zaleđne, ako se radi o ugaonom zidu.

Konstrukcija AB gravitacionih zidova je od betona min. C 25/30 (MB 30). Nagib donje plohe temelja izvodi se u granicama 10-20 % (1:10 – 1:5) prema leđnoj strani. Nagib gornje plohe temeljnih peti je 2 % od čeone stene odnosno leđne stene u slučaju AB ugaonog zida. Visina temelja na kontaktu sa stenom jednaka je debljini stene na toj visini.

Dubina temeljenja uslovljena je sa geološkom strukturom tla i dubinom smržavanja. U primeru da se konstrukcije izvode u vodi, minimalna dubina temeljenja je 1,5 m ili se temelj ukopa u stensku masu na dubini 0,5 – 1,0 m.

Oblikovanje podužnog toka temeljne plohe AB gravitacionih zidova identičan je kao kod kamenih ili betonskih gravitacionih zidova. Oblikovanje se izvodi u kontinuitetu do 20 % nagiba, za veće nagibe plohu treba izvoditi stepenasto prilagođavanje podužnom nagibu terena ispod linije temeljne plohe.

#### 10.4.6.3 Zahtevi za kvalitet materijala i specifičnosti izvođenja AB gravitacionih zidova

Beton mora da odgovara sledećim zahtevima:

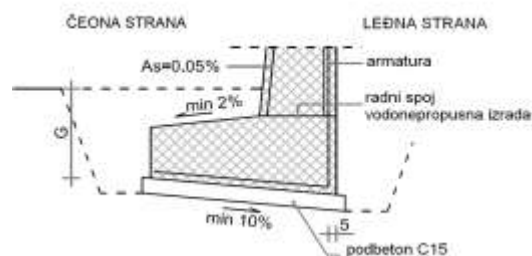
- kvalitet betona C 25/30 (MB 30),
- betonska mešavina mora da se pripremi tako da je moguće kvalitetno ugrađivanje u oplatu po principu vodonepropusnog betona,
- materijali za oplatu i obradu vidnih površina, moraju da odgovaraju uslovima za vidljive i sakrivene betonske površine u skladu sa smernicom SRDM 9.12.8.

Potrebni iskop za AB gravitacione zidove predviđa se na dužini jedne radne kampade koju uslovljava vrsta tla zaleđa, a iznosi između 3,0 i 6,0 m. Profil iskopa je veći od preseka zida pošto se u zaleđu izvodi dodatni iskop radi postavljanja oplata. Pored toga, treba uzeti u obzir potrebu za kasnijim zasipavanjem na leđnoj strani zida koji mora da se kompresuje mašinama koje zahtevaju odgovarajuću radnu širinu.

AB ugaoni gravitacioni zidovi se obično primenjuju za naknadnu izgradnju nasipa iza

njih, tako da je iskopavanje u zaleđu minimalno.

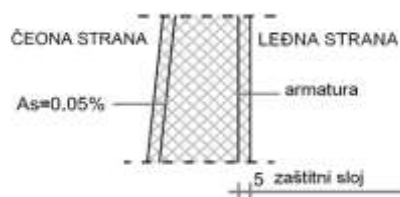
Temelji AB gravitacionih zidova izvodi se od betona C 25/30 (MB 30) u odgovarajućem geometrijskom obliku na sloju podbetona iz C 12/15 (MB 15), čija debljina iznosi min. 10 cm. Podložni beton se ne izvodi u slučaju čiste podloge temelja. Radni spoj temelja sa stenom može da se izvede i u nivou pošto armatura sprečava pojavu eventualnog klizanja.



Slika 10.4.26: Detalj temelja AB gravitacionog zida

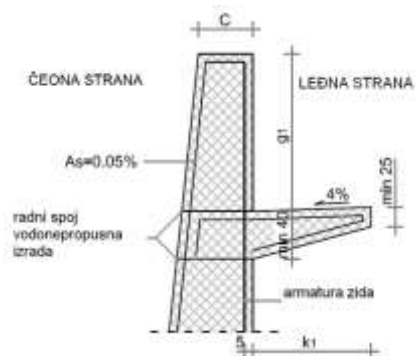
Betoniranje stene se izvodi po završetku temeljnog dela koji služi kao podloga za postavljanje elemenata oplata. Stena se izvodi u jednoj ili više radnih faza što zavisi od visine.

Za postizanje veće stabilnosti AB gravitacionih zidova može da posluži konzola na zaleđnoj strani. Dužina konzole je 1,0 – 1,5 m, a može da bude i veća ako se radi o većim zidovima. Debljina konzole na spoju sa zidom mora da bude min. 0,40 m, a na kraju konzole min. 0,25 m. Nagib gornje plohe konzole iznosi 4 % prema steni zida.



Slika 10.4.27: Detalj AB gravitacionog zida

U slučaju da se zahteva izrada čeone strane betonskog zida u kamenu, može da se izvede samo naknadnim oblaganjem (ne upotrebljava se za zidove na kontaktu sa tokom vode).



Slika 10.4.28: Detalj AB gravitacionog zida sa zaleđnom konzolom

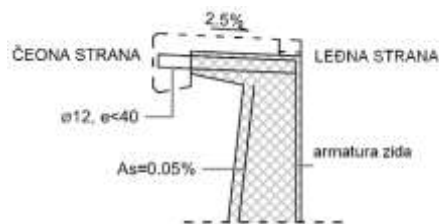
Prilikom izvođenja dozvoljeni su vertikalni i horizontalni spojevi. Vertikalni spojevi su uslovljeni dužinom radne kampade, dok su horizontalni sa napredovanjem radova po visini uslovljeni i usvojenom visinom kampade. Radni spojevi zahtevaju odgovarajuću obradu u smislu vodonepropusnosti. Izrada dilatacionih, radnih i prividnih spojnica obrađena je u smernici SRDM 9.2.9.

Obrada krune AB gravitacionog zida zavisi od toga da li se radi o potpornoj konstrukciji koja se neposredno graniči sa kolovozom ili se radi o konstrukciji koja podupire padinu. Krune potpornih zidova koji podupiru padinu ne zahtevaju posebnu obradu. Širina krune je min. 0,40 m, a poprečni nagib mora da bude 2 % prema zaleđnoj strani na kojoj se izvodi mulda za odvodnjavanje atmosferske vode.

Ako se AB gravitacioni zid izvodi kao potporna konstrukcija koja se neposredno graniči sa kolovozom, onda priključak krune mora da se prilagodi obliku ivičnog venca i hodnika koji se ankeriše u krunu. Ukoliko širina krune nije dovoljna za oslanjanje, mora da se proširiti konzolnim odvodnim kanalom.



Slika 10.4.29: Detalj krune potpornog AB gravitacionog zida



Slika 10.4.30: Detalj krune potpornog AB gravitacionog zida

#### 10.4.7 GEOSTATIČKA ANALIZA GRAVITACIONIH ZIDOVA

Geostatička analiza mora da se zasniva na geološko geomehaničkim terenskim i laboratorijskim ispitivanjima, te na prostorno-urbanističkim, saobraćajnim, geodetskim, putnim, hidrološko-hidrotehničkim, klimatskim i seizmološkim podacima.

Geostatička analiza je samostalni deo koji u zavisnosti od geotehničke zahtevnosti dokazuje granična stanja nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti. U narednim tačkama detaljnije su predstavljena granična stanja nosivosti, postupci proračuna po preporukama prEN 1997-1.

##### 10.4.7.1 Granična stanja nosivosti

U geostatičkoj analizi gravitacionih zidova obrađuju se sva granična stanja nosivosti za sve projektne situacije (stalne, privremene i vanredne projektne situacije) u toku izgradnje, upotrebe, održavanja i u vanrednim situacijama za ukupni vek trajanja konstrukcije:

- gubici globalne stabilnosti:
  - o početno stanje (stabilnost lokacije predviđene konstrukcije pre početka izgradnje),
  - o stabilnost prilaznih puteva,
  - o stabilnost privremenih iskopa,
  - o stabilnost radnih platoa,
  - o stabilnost među stanja,
  - o globalna stabilnost konstrukcije,
  - o stabilnost padine iznad i ispod konstrukcije,
- lom tla zbog iscrpljene nosivosti,
- pomeranje temelja,
- prevrtanje,
- rušenje konstrukcionih elemenata ili rušenje na spoju tih elemenata,
- kombinovano rušenje tla i konstrukcionih elemenata,
- pomeranje konstrukcije koja nastaje kao posledica prekomernog opterećenja

konstrukcije ili zbog uticaja susednih objekata,

- rušenje zbog strujanja podzemne vode,
- rušenje zbog hidrostatičkog loma tla,
- rušenje zbog ispiranja sitnih frakcija,
- rušenje zbog nastajanja praznih prostora na granici između slojeva ili uz konstrukciju.

Kod **dokazivanja graničnih stanja** nosivosti naročito treba uzeti u obzir:

- promene nivoa podzemne vode i pornih pritisaka uslovljene vremenskim i prostornim činiocima,
- nedozvoljena propusnost ispod i kroz konstrukciju,
- menjanje karakteristika tla uslovljen vremenskim i prostornim činiocima,
- menjanje veličine i kombinacije uticaja,
- iskopi i erozije ispred konstrukcije,
- zasipavanje iza konstrukcije,
- učinak eventualno planiranih objekata u blizini, predviđena dodatna opterećenja i rasterećenja,
- pomeranja tla zbog sleganja tla, smrzavanja i sličnih uzroka.

Uticaji sila leda i valova ne uzimaju se istovremeno.

Kod analize **stabilnosti lokacije** potporne konstrukcije treba uzeti u obzir sledeće uzroke za gubitak stabilnosti:

- gubitak globalne stabilnosti tla i okolnih objekata,
- nedozvoljena pomeranja tla kao posledica deformacija usled smicanja, sleganja ili vibracija,
- rušenje zbog unutrašnje ili spoljašnje erozije,
- rušenje radi hidrostatičkog loma ili uzgona,
- oštećenja ili gubitak upotrebljivosti susednih zgrada, puteva ili vodotoka zbog pomeranja tla,
- rušenje koje nastupi kao posledica klizanja ili prevrtanje krutih kamenih blokova,
- zemljotres.

#### 10.4.7.2 Postupak dokazivanja graničnih stanja nosivosti

Opšta jednačina za kontrolu graničnih stanja nosivosti je:

$$E_{d,u} \leq R_{d,u} \quad (10.4.1)$$

$E_{d,u}$  = aktivni projektni uticaj u razmatranom graničnom stanju

$R_{d,u}$  = uporedivi projektni otpori, koji se aktiviraju u razmatranom graničnom stanju

Opterećenja nastaju pre svega usled:

- pritiska tla iz zaleđa,
- težine konstrukcije,
- dodatnih opterećenja (npr. saobraćaj, težina objekata),
- hidrostatičkih pritisaka,
- valovi i sile leda,
- poniranje,
- sile od udara vozila,
- temperaturni uticaji,
- seizmičko opterećenje.

Projektne vrednosti uticaja  $E_d$  i projektne vrednosti otpora  $R_d$  određuju se parcijalnim faktorima:

- $\gamma_F$  parcijalni faktor uticaja  $F_{rep}$ ,
- $\gamma_E$  parcijalni faktor učinka uticaja  $E$ ,
- $\gamma_M$  parcijalni faktor osobina materijala  $X$ ,
- $\gamma_R$  parcijalni faktor otpora  $R$ .

Statička analiza po prEN 1997.1 predviđa tri načina (pristup 1, 2 i 3) koji se među sobom razlikuju po kombinaciji parcijalnih faktora za uticaje, otpore i karakteristike materijala. Parcijalni faktori su navedeni u dodatku A uz normu prEN 1997.1 za konstrukciona granična stanja STR i geotehnička granična stanja GEO.

Za neankerisane gravitacione potporne konstrukcije primenjuju se vrednosti iz sledećih tabela:

- A.2.1 za uticaje ili njihove učinke
- A.2.2 za karakteristike materijala
- A.2.3.5, A.2.3.6 za otpore

Tabela 10.4.1: Parcijalni faktori uticaja ( $\gamma_F$ ) ili učinaka uticaja ( $\gamma_E$ ) prEN 1997-1, A.2.1

VRSTA OPTEREĆENJA		Oznaka	Niz	
			A1	A2
STALNA	nepovoljna	$\gamma_G$	1.35	1.0
	povoljna		1.0	1.0
PROMENLJIVA	nepovoljna	$\gamma_Q$	1.5	1.3
	povoljna		0	0

Tabela 10.4.2: Parcijalni faktori na karakteristike tla ( $\gamma_M$ ), prEN 1997-1, A.2.2

KARATERISTIKA	Oznaka	Niz	
		M1	M2
Ugao smicanja (*, **)	$\gamma_\phi$	1.0	1.25
Kohezija (*)	$\gamma_c$	1.0	1.25
Nedrenirano na otpornost	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Jednostavna otpornost	$\gamma_{qu}$	1.0	1.4
Zamenljiva težina	$\gamma_\sigma$	1.0	1.0

\* drenirano stanje    \*\* sigurnost na  $\tan(\phi)$

Tabela 10.4.3: Parcijalni faktori otpora ( $\gamma_R$ ) za potporne konstrukcije, prEN1997-1, A.2.3.5

OTPOR	Oznaka	Niz		
		R1	R2	R3
Nosivost	$\gamma_{Rv}$	1.0	1.4	1.0
Klizanje	$\gamma_{Rh}$	1.0	1.1	1.0
Otpor tla	$\gamma_{Re}$	1.0	1.4	1.0

Tabela 10.4.4: Parcijalni faktori za otpore ( $\gamma_R$ ) za kliznu i globalnu stabilnost, prEN 1997-1, A.2.3.6

OTPOR	Oznaka	Niz		
		R1	R2	R3
Otpor tla	$\gamma_{Re}$	1.0	1.1	1.0

Tabela 10.4.5: Račun uticaja i otpora po prEN 1997-1

	Pristup 1	Pristup 2	Pristup 3
Projektna vrednost rezultante uticaja $E_{d,U}$	$E(F_{rep} \cdot \gamma_F, X_k / \gamma_M, a_d)$	$\gamma_E \cdot E(F_{rep}, X_k, a_d)$ or $E(F_{rep} \cdot \gamma_F, X_k, a_d)$	$E(F_{rep} \cdot \gamma_F, X_k / \gamma_M, a_d)$ or $\gamma_E \cdot E(F_{rep} \cdot \gamma_F, X_k / \gamma_M, a_d)$
Projektna vrednost rezultante otpora $R_{d,U}$	$E(F_{rep} \cdot \gamma_F, X_k / \gamma_M, a_d)$	$R(F_{rep}, X_k, a_d) / \gamma_R$	$R(F_{rep} \cdot \gamma_F, X_k / \gamma_M, a_d)$
Kombinacija niza faktora	A1-M1-R1 and A2-M2-R1	A1-M1-R2	A1 or A2-M2-R3
Primedba	Proveriti obe kombinacije		A1 za konstrukcione uticaje A2 za geotehničke uticaje

**Pristup 1** zahteva kontrolu primenom dve kombinacije faktora uz izuzetak slučaja u kome jedna od kombinacija nije kritična. Kod **prve kombinacije** uzimaju se parcijalni faktori za sve uticaje prema A1. Parcijalni faktori za karakteristike tla su  $\gamma_M = 1$  (M1), dok su uticajni faktori otpora  $\gamma_R = 1$  (R1). U **drugoj kombinaciji** parcijalni faktori su  $\gamma_F = 1$  (A2), uz izuzetak za promenljivo nepovoljno opterećenje  $\gamma_F = 1,3$ . Za karakteristike tla M2 upotrebljavaju se parcijalni faktori, dok su parcijalni faktori otpora isti kao kod prve kombinacije  $\gamma_R = 1$  (R1).

U **pristupu 2** primenjuju se propisani parcijalni faktori na pojedinačne uticaje, njihove učinke i otpore, dok se za karakteristike tla upotrebljavaju karakteristične vrednosti. Pristup se naziva i pristup uticajima (učincima) i otporima.

Kod **pristupa 3** primenjuju se propisani parcijalni faktori za pojedinačne uticaje ili njihove učinke uzrokovane konstrukcijama i drugim uticajima koji ne proizilaze iz pritisaka zemlje. Kod proračuna uticaja i otpora, koji proizilaze iz potisaka tla, primenjuju se parcijalni faktori za karakteristike tla. Pristup

se naziva pristup uticaja (učinaka) i materijalnih faktora.

Dobijene **vrednosti materijalnih osobina tla** su rezultati terenskih i/ili laboratorijskih ispitivanja, dok su karakteristične vrednosti izabrane na osnovu dobijenih vrednosti izabrane i odlučujuće (računske) vrednosti materijalnih osobina. Karakteristične vrednosti mogu da budu više ili manje od dobijenih. U proračunu se upotrebljava najnepovoljnija kombinacija viših i nižih vrednosti. Karakteristične vrednosti mogu da se odrede sa statičkom analizom ili na osnovu iskustava stečenih pri rešavanju sličnih problema na susednim ili sličnim lokacijama. **Projektne vrednosti geotehničkih parametara  $X_d$**  izračunavaju se na osnovu karakterističnih vrednosti:

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (10.4.2)$$

gde su:

$X_k$  karakteristična vrednost parametra,  
 $\gamma_M$  delimični faktor sigurnosti za materijal

**Podaci o geometriji** uključuju nivo i nagib planuma, nivo vode, granice pojedinih slojeva, njihovu debljinu i oblik, geometriju iskopa, oblik konstrukcija i slične druge podatke. Projektne vrednosti podataka i geometrije  $a_d$  izračunava se:

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (10.4.3)$$

$a_{nom}$  geometrijski podatak

$\Delta a$  sigurnosna geometrijska mera

Manja odstupanja u geometriji uključuju i faktore  $\gamma_F$  i  $\gamma_M$ , zbog čega u većem broju slučajeva može da se zanemari dodatna geometrijska sigurnost ukoliko nema znatnijeg uticaja na rešenje. Kada se pasivni otpor uzima u obzir, onda se ispred konstrukcije smanjuje kota tla za 10% visine konstrukcije ispod kote iskopa, ali to smanjenje ne može da bude veće od 0,5 m.

Kod kontrole klizanja, osim uobičajenih kontrola:

$$H_d \leq R_d + R_{p,d} \quad (10.4.4)$$

$$R_d = V_d \cdot \tan \delta_d \text{ drenirano stanje} \quad (10.4.5)$$

$$R_d = A_c \cdot c_{u,d} \text{ nedrenirano stanje} \quad (10.4.6)$$

u slučajevima kada vazduh ili voda dostižu visinu spoja temelja i gline u nedreniranom stanju, treba proveriti i:

$$R_d \leq 0.4 \cdot V_d \quad (10.4.7)$$

U jednačinama 9.4 – 9.7 oznake su:

$H_d$  projektna vrednost uticaja horizontalne komponente,

$V_d$  projektna vrednost uticaja vertikalne komponente,

$\delta_d$  ugao trenja između tla i konstrukcije,

$R_{p,d}$  projektna vrednost pasivnog otpora,

$A_c$  površina temelja opterećenog pritiskom,

$c_{u,d}$  projektna vrednost nedrenirane otpornosti na smicanje,

$R_d$  projektna vrednost otpora na smicanje

### 10.4.7.3 Pritisci tla

Kod gravitacionih zidova kod kojih se pomeranja ne aktiviraju radi uticaja pritiska tla ili su minimalna, uzimaju se u obzir horizontalna opterećenja na konstrukciju koja nastaju od pritiska tla u zaleđu kao **mirni pritisci tla  $p_o$** . Kada se aktiviraju pomeranja konstrukcije, onda se uzimaju **aktivni pritisci tla  $p_a$** , ako se konstrukcija udaljava od tla, odnosno **pasivni pritisci tla  $p_p$** , kada se konstrukcija približava tlu. Aktivni pritisak tla je manji od mirnog pritiska, dok je pasivni veći:

$$k_a < k_0 < k_p$$

Na veličinu i nagib pritisaka tla utiču sledeći faktori:

- karakteristike tla na smicanje,
- efektivni vertikalni naponi,
- dodatno opterećenje,
  - nagib površine terena,
  - nagib zida u odnosu na vertikalnu,
- nivo vode i poniranje podzemne vode,
  - veličine i smerovi pomeranja konstrukcije,
- ravnoteža sila u horizontalnom i vertikalnom smeru za konstrukciju u celosti,
  - krutost konstrukcije i potpornog sistema,
  - ugao trenja između tla i konstrukcije.

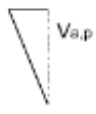
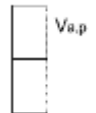


Različiti autori predlažu različite jednačine za proračun u kojima se gore navedeni uticaji različito uzimaju. U slučaju vertikalnog zida i glatkog spoja između zidova i tla, upotrebljavaju se Rankinove jednačine, koje uzimaju u obzir uticaj karakteristike smicanja i napetost zaleđa. Coulombova teorija punog nagiba zaleđa uzima u obzir nagib potporne konstrukcije i trenje između konstrukcije i tla, dok ne uzima u obzir koheziju tla. Za konkretan slučaj se, u pogledu veličine pojedinih uticaja, odlučuje koji će se način proračuna primeniti.

U donjoj tabeli prikazana su minimalna relativna pomeranja konstrukcije za aktiviranje aktivnih i pasivnih pritisaka zemlje za nekoherentna tla.

Za pasivni pritisak zemlje vrednosti u zagradama važe za relativna pomeranja koja

su potrebna za aktiviranje polovice pasivnih pritisaka. Ukoliko se tlo nalazi ispod nivoa podzemne vode, relativna pomeranja za pasivni otpor moraju da se povećaju za 1,5 do 2 puta u odnosu na vrednosti iz tabele.

Tabela 10.4.6: Potrebna relativna pomeranja za aktiviranje aktivnih i pasivnih pritisaka zemlje

Oblik pomeranja	Aktivni pritisak		Pasivni pritisak	
	Rastresita tla	Gusta tla	Rastresita tla	Gusta tla
	$v_a / h$ (%)	$v_a / h$ (%)	$v_p / h$ (%)	$v_p / h$ (%)
	0.4 – 0.5	0.1 – 0.2	7 (1.5) – 25 (4)	5 (1.1) – 10 (2)
	0.2	0.05 – 0.1	5 (0.9) – 10 (1.5)	3 (0.5) – 6 (1)
	<b>1.1</b> 0.8 – 1.0	<b>1.2</b> 0.2 – 0.5	<b>1.3</b> 6 (1) – 15 (1.5)	<b>1.4</b> 5 (0.5) – 6 (1.3)
 <b>1.5</b>	0.4 – 0.5	0.1 – 0.2		
	$v_a$ = pomeranje zida aktiviranjem aktivnih pritisaka zemlje $h$ = visina zida		$v_p$ = pomeranja zida za aktiviranje pasivnog pritiska zemlje $h$ = visina zida	

Pasivni otpori ispred temelja gravitacionih potpornih konstrukcija uzimaju se u obzir samo u sledećim primerima:

- aktiviraju se odgovarajuća pomeranja konstrukcije,
- materijal se neće iskopavati (ostaje prirodan teren),
- sve vreme može se da se garantuje odgovarajuća zbijenost i kvalitet tla koji je uzet u proračunu,
- neće doći do rastresitosti tla, ispiranja ili slabljenja karakteristika zbog uticaja podzemne vode ili nepovoljnih klimatskih prilika,
- neće nastati fuga od skupljanja tla na spoju između temelja i tla.

#### 10.4.7.4 Miran pritisak zemlje

Miran pritisak zemlje  $p_0$  izračunava se na osnovu vertikalnih efektivnih napona  $\sigma'$  prema jednačini:

$$p_0 = \sigma' \cdot k_0 \quad (10.4.8)$$

Za vodoravna i normalna konsolidovana tla važi jednačina (Jaky):

$$k_0 = (1 - \sin \varphi) \quad (10.4.9)$$

za prekonsolidovana tla prema jednačini:

$$k_0 = (1 - \sin \varphi) \cdot \sqrt{OCR} \quad (10.4.10)$$

pri čemu je  $\varphi$  ugao unutrašnjeg trenja tla, a OCR faktor prekonsolidacije. Ako je zaleđe nagnuto pod uglom  $\beta$  u odnosu na horizontalu, onda se koeficijent mirnog pritiska tla  $k_{0,\beta}$  (za horizontalnu komponentu) računa prema:

$$k_{0,\beta} = k_0 \cdot (1 + \sin \beta) \quad (10.4.11)$$

### 10.4.7.5 Aktivni i pasivni pritisak zemlje prema Rankinu

Rankinove jednačine za aktivni pritisak zemlje  $p_a$  i pasivni otpor  $p_p$  su:

$$p_a = \sigma' \cdot k_a \cdot \cos(\beta) - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} \quad (10.4.12)$$

$$p_p = \sigma' \cdot k_p \cdot \cos(\beta) + 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_p} \quad (10.4.13)$$

Koeficijent aktivnog pritiska zemlje  $k_a$  i koeficijent pasivnog pritiska zemlje  $k_p$  izračunavaju se jednačinama:

$$k_a = \left( \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \right)^2 \quad (10.4.14)$$

$$k_p = \left( \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \right)^2 \quad (10.4.15)$$

Ako se radi o ravnom zaleđu ( $\beta=0$ ), jednačine se pojednostave:

$$p_a = \sigma' \cdot k_p - 2 \cdot \sqrt{k_a} \cdot c \quad (10.4.16)$$

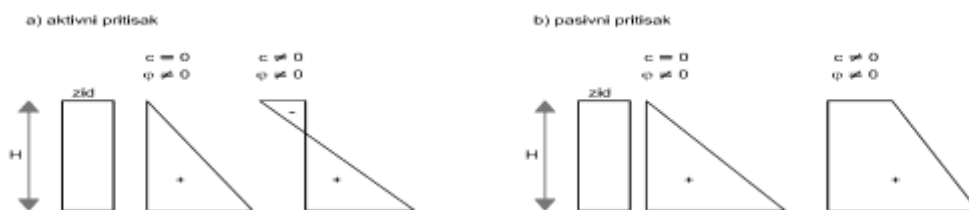
$$p_p = \sigma' \cdot k_p + 2 \cdot \sqrt{k_p} \cdot c \quad (10.4.17)$$

$$k_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (10.4.18)$$

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \quad (10.4.19)$$

U ovima jednačinama je  $\varphi$  ugao unutrašnjeg trenja tla,  $c$  kohezija,  $\sigma'$  efektivni vertikalni naponi i  $\beta$  nagib terena zaleđa.

Na slici 10.4.31 prikazan je tok aktivnih i pasivnih pritisaka na vertikalni zid sa ravnim zaleđem i homogenim sastavom tla za nekoherentna tla ( $\varphi \neq 0$ ,  $c = 0$ ) i koherentna tla ( $\varphi \neq 0$ ,  $c \neq 0$ ).



Slika 10.4.31: Dijagram aktivnih i pasivnih pritisaka

Coulombove jednačine za aktivni i pasivni pritisak su

$$p_a = \sigma' \cdot K_a \quad (10.4.20)$$

$$p_p = \sigma' \cdot K_p \quad (10.4.21)$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2} \quad (10.4.22)$$

$$K_P = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha - \delta) \left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2} \quad (10.4.23)$$

Ukoliko je zaleđe ravno ( $\beta = 0$ ), zid vertikaln ( $\alpha = 0$ ) i površinu glatka  $\delta=0$ , jednačine za koeficijente aktivnog i pasivnog pritiska

zemlje se pojednostavljaju i prelaze u proste Rankinove izraze:



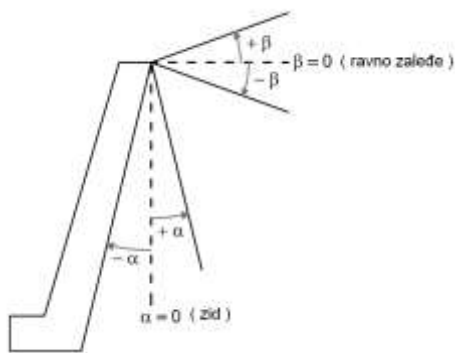
$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (10.4.24)$$

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \quad (10.4.25)$$

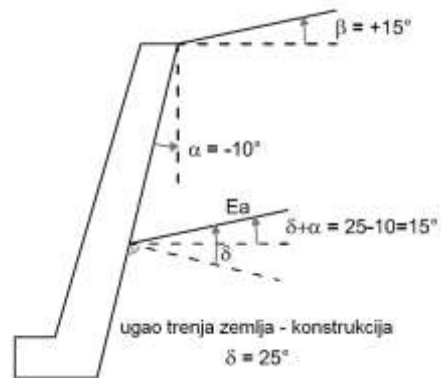
U jednačinama Coulombove teorije, oznake su sledeće:

- $\sigma'$  = efektivni vertikalni naponi,
- $\varphi$  = ugao unutrašnjeg trenja zemlje,
- $\beta$  = nagib zaleđa,
- $\alpha$  = nagib zida,
- $\delta$  = ugao trenja između zida i tla,

Na slici 10.4.32 prikazani su predznaci za nagib površine terena, dok su na slici 10.4.33 prikazani uticaji nagiba zida i trenja između tla i konsolidacije na smer rezultante pritiska zemlje.



Slika 10.4.32: Nagib zaleđa i zida



Slika 10.4.33: Primer uticaja zida na nagib rezultante pritiska zemlje

Na slici 10.4.34 prikazana su tri različita gravitaciona zida i uticaji oblika na glavna opterećenja – težina zida  $G_{zid}$ , težina zemlje iznad pete i konzole  $G_{zem}$  i pritisci zemlje  $E_a$  (aktivni) i  $E_p$  (pasivni). Pasivni pritisak prikazan je samo na prvom primeru zida. Kod zida sa konzolom u tački T efektivni vertikalni naponi padaju na vrednost  $\sigma'_v = 0 \text{ kPa}$ , što ima za posledicu da se na toj dubini ponište vrednosti aktivnog pritiska zemlje. Na visini  $h_1$  uz pretpostavku linearne raspodele dostiže se linija aktivnog pritiska zemlje, kao što je prikazano na slici (10.4.34c). Visina  $h_1$  zavisi od dužine konzola  $L_k$  i ugla unutrašnjeg trenja  $\varphi$ :

$$h_1 = l_k \cdot \tan(45^\circ + \varphi/2) \quad (10.4.26)$$



Slika 10.4.34: Opterećenja gravitacionog zida

### 10.4.8 ODVODNJAVANJE I ZASIPANJE ZALEĐA GRAVITACIONIH ZIDOVA

Poglavlje odvodnjavanja razmatra sledeće četiri tematske grupe:

- odvodnjavanje voda zaleđa,
- odvodnjavanje površinskih voda,
- zasipanje (zatrpavanje) zaleđa zida,
- zasipavanje i čuvanje čela zida (prednje strane).

#### 10.4.8.1 Odvodnjavanje voda zaleđa

##### 10.4.8.1.1 Uvod

U tlu iza zida može da bude prisutna podzemna voda, proceđene brdske vode, a mogu da se nalaze i akumulacije sa brdske strane zida. Ako su potporni zidovi izgrađeni u vodi, moraju da se uzmu u obzir različiti nivoi voda u koritu, a time i nepovoljni uticaji u zaleđu zida. Ako se uticaj prisustva vode u zaleđu ne sprečava, onda se u zaleđu konstrukcije pojavljuju dodatni pritisci vode uz istovremeno smanjenje otpora tla na smicanje zasutog klina iza zida.

Da bi se sprečili nepovoljni uticaji pritiska vode, potrebno je izvesti efikasno i odgovarajuće odvodnjavanje vode iz zaleđa gravitacionih zidova.

Najjednostavniji i najefikasniji način sigurne odvodnje voda zaleđa zidova je ostvaranje otvora sa cevima promera 10 cm (barbakane) sa rasporedom po širini i visini prilagođenom geološkoj građi terena iza zida.

Koncipiranje drenažnog sistema, koji predstavlja uslov za efikasno odvodnjavanje zaleđa zavisi od hidrogeoloških i geomehaničkih karakteristika tla, oblika krivulje procjeđivanja, propusnosti tla, hemijskog sastava, te opasnosti od unutrašnje erozije u nasipu ili prirodnom tlu u zaleđu.

Delovanju sila toka vode u zaleđu najbolje se suprotstavljaju kose drenaže koje su u takvom položajem gotovo neizvodljive. Za pravilan položaj drenažnog sloja treba uzeti u obzir i činjenicu da do povećanja aktivnog pritiska tla, zbog pritiska strujanja vode, može da nastupi samo kada je podzemna voda stalno prisutna (stacionarna voda) na visini koja prouzrokuje te pritiske. Pritisak na gravitacioni zid se povećava u slučajevima kada zbog naglih padavina dolazi do velikog

dotoka vode koju izvedena drenaža ne može blagovremeno da odvede.

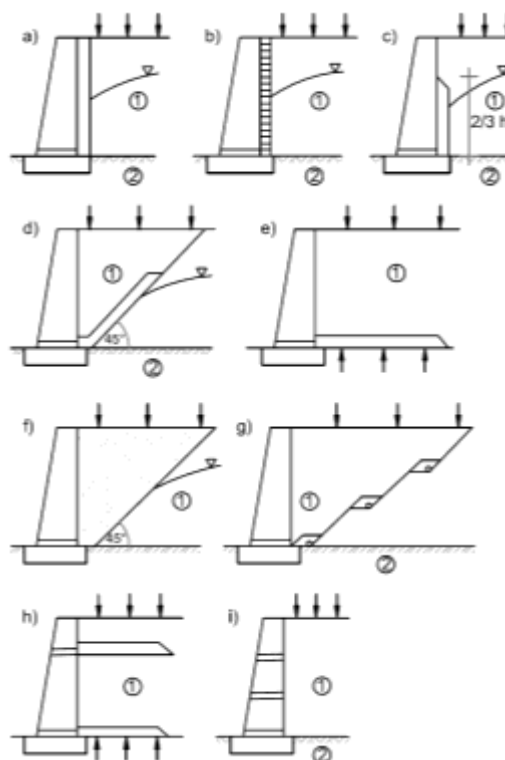
##### 10.4.8.1.2 Način izrade drenažnih slojeva

Drenažni sistem mora da omogući dovoljan odvod vode iz zaleđa da konstrukcija ni u tom slučaju ne bude izložena dodatnom pritisku od zadržavanja vode u zaleđu.

Drenažni sistem je sastavljen od:

- drenažnog ili filterskog sloja,
- neprekinute drenažne cevi koja je ugrađena po dužini drenažnog sloja i odvodi vodu u odvodnik.

Kod izvođenja drenažnih sistema u zaleđu zidova jako je važno da li se radi o potpornoj konstrukciji kod koje će se naknadno izvoditi zasip u zaleđu ili se radi o potpornoj konstrukciji u usecima sa stabilnim prirodnim zaleđem.



1 - koherentna tla u zaleđu-prirodna ili nasuta  
2 - nepropusna temeljna tla

Slika 10.4.35: Moguće varijante lociranja drenažnog sloja u zaleđu gravitacionog zida

Imajući na umu, da se drenažni sistemi retko ili se uopšte ne održavaju, jer su često nedostupni, kod dimenzionisanja filtriranja, treba predvideti učinak smanjenja filtriranja zbog taloženja minerala i sitnih čestica u tokom procjeđivanja. U slučaju da se drenažni sloj izrađuje od nekoherentnog lošeg

materijala, onda mora da ispuni sledeće kriterije:

- mora da bude filterski stabilan,
- mora da ima vodopropusnost granulacijski dobro sastavljenog šljunka,
- ako se posebno ne proračunava kapacitet, onda debljina drenažnog sloja mora da bude 40 – 80 cm.

U slučaju da se drenažni sloj izvodi u kombinaciji sa podlogom od filterskog geotekstila, onda isti mora da se ugradi neposredno po kosini otkopanog prirodnog terena, dok se međuprostor do ledne površine zida ispunjava šljunkovito-kamenim materijalom koji omogućava svoj proceđenoj vodi da proдре do drenažne cevi koja se nalazi na dnu filterskog sloja i po kojoj otiče voda do sabirnog odvodnika. Ovako izabran položaj filtera sprečava unutrašnju eroziju u prirodnom terenu. Nedostatak geotekstilne podloge jeste njena osetljivost na prisustvo mineralnih rastvora u proceđenoj vodi, koji prouzrokuju začepljenje. Ako se radi o područjima koja su bogata mineralnim rastvorima, upotreba geotekstila se ne preporučuje.

Kao alternativno rešenje, posebno za vertikalne drenažne slojeve, preporučuje se korišćenje drenažnog betona. Prednost drenažnog betona je jednostavno ugrađivanje pošto nije potrebno sabijanje, što predstavlja veliku prednost kod zidova koji se nalaze uz padine sa zaleđem u kome je ograničen iskop, a istovremeno obezbeđuje odgovarajuću čvrstoću.



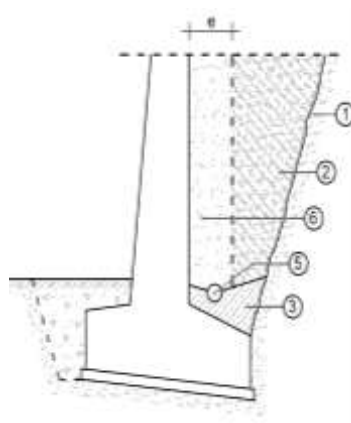
- 1 - iskop,
- 3 - beton punjenja
- 4 - kameni nabačaj ili šljunak,
- 5 - drenažna cev  $d_{min} = 20 \text{ cm}$

Slika 10.4.36: Izrada drenaže kamenim nabačajem ili šljunkom okrugle granulacije

Odrediti:

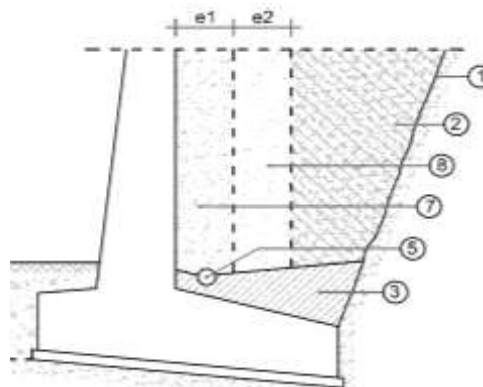
- debljinu filterskog sloja  $e$ ,
- filterski materijal.

Upotreba: kod potpornih zidova u brdovitom terenu i grubom šljunkovitom materijalu kojim se izvodi zasipanje zaleđa.



- 1 - iskop,
- 2 - zasip,
- 3 - beton punjenja,
- 5 - drenažna cev  $d_{min} = 20 \text{ cm}$ ,
- 6 - filter

Slika 10.4.37: Izrada drenaže sa jednoslojnim filterom



- 1 - iskop,
- 2 - zasip,
- 3 - beton punjenja,
- 5 - drenažna cev  $d_{min} = 20 \text{ cm}$ ,
- 7 - normiran filter 1,
- 8 - normiran filter 2

Slika 10.4.38: Izrada drenaže sa filterom iz dva sloja

Odrediti:

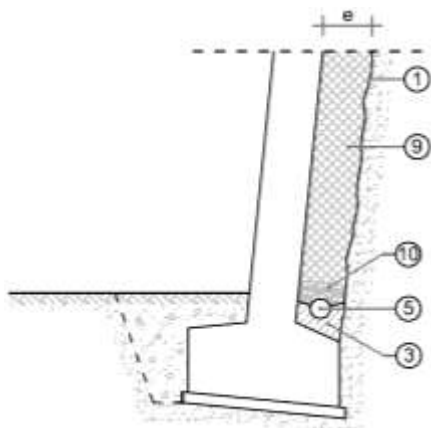
- debljina filterskog sloja  $e$ ,
- filterski materijal.

Upotreba: kod šljunkovitog ili peskovitog materijala kojim se vrši zasipanje.

Odrediti:

- debljine filterskih slojeva 1 i 2,
- filterski materijal.

Upotreba: za glinovita tla fine granulacije.



- 1 – iskop,
- 3 – beton punjenja,
- 5 – drenažna cev  $d_{min} = 20$  cm,
- 9 – drenažni beton,
- 10 – šljunkoviti materijal okrugle granulacije 30 – 50 cm)

Slika 10.4.39: Izrada drenaže drenažnim betonom

Upotreba: u svim slučajevima u kojima se zahteva da filter dokaže određenu otpornost.

Kod izbora filterskog materijala treba uzeti u obzir činjenicu da filter treba da obavlja hidrostatičku i mehaničku funkciju. Ujedno, filter mora da spreči unutrašnju eroziju nevezanih kamenih mineralnih zrna u tlu, koji se graniči sa filterom, a istovremeno mora da obezbedi dovoljnu vodopropusnost.

Materijali koji dolaze u obzir za izradu filtera mogu se svrstaju u sledeće grupe:

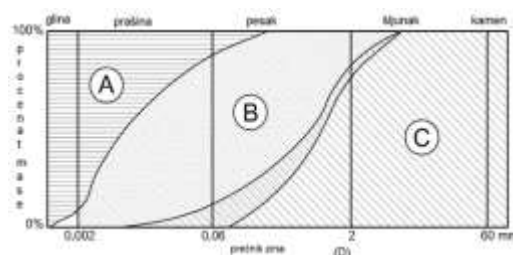
- jednofrakcioni nevezani kameni materijali ili materijali sa dobro raspoređenom granulacijom, kao što su pesak i šljunak;
- hidrauličko ili bitumensko povezani materijali (filteri ili drenažni beton); agregat za beton je iz jedne frakcije, dok se filter izvodi u monolitnom ili prefabrikovanom obliku);
- filterski geotekstil.

Za filter može da se kaže da dobro vrši svoju funkciju ako je voda koja otiče kroz sloj nevezanih kamenitih zrnastih materijala sa povećavanjem propusnosti čista i otiče u dovoljnoj količini.

Na dijagramu (slika 10.4.40) prikazane su krivulje filtracije za pojedine vrste tla na

osnovu kojih treba izabrati odgovarajući tip filtera.

- tla sa krivuljom filtracije u zoni A spadaju u kategoriju male do neznatne ugroženosti u smislu unutrašnje erozije. Kod ove kategorije tla filter ima više mehaničku nego hidrauličku funkciju;
- prašina, peščana prašina i prašina i fini pesak – područje zone B predstavljaju tla koja su podložna velikim unutrašnjim erozijama, a naročito su ugrožena tla sa jednofrakcionom granulacijom,
- tla sa krivuljom filtracije u zoni C po pravilu ne zahtevaju filterski sloj nego samo odgovarajuću veličinu rupa u plaštu drenažne cevi.



(pesak, prečnik zrna, procenat mase)

Slika 10.4.40: Područja krivulja filtracije za tla tipa A, B i C

#### 10.4.8.1.3 Odvod vode iz drenažnog sloja

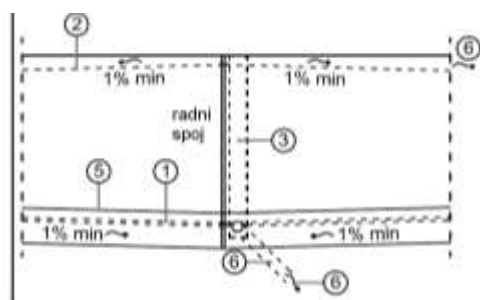
Za odvod vode koja prolazi kroz filterski sloj treba u najnižoj tački ugraditi podužne drenažne cevi. Cevi mogu da budu perforirane betonske cevi iz filterskog betona ili drenažne cevi od veštačkog materijala (obično PVC). Perforacija obično zauzima 1/3 do 1/2 gornjeg oboda cevi.

Minimalni prečnik cevi je 200 mm. Ako se očekuje opasnost od pojavljivanja krečnjačke obloge, promer cevi treba povećati (upotreba PVC cevi sa stanovišta sprečavanja krečnjačkih naslaga je najpovoljnija). Minimalni nagib u podužnom smeru je 1 %.

Za dobro održavanje protočnosti drenažnih cevi potrebno je da se na udaljenosti 50 – 70 m (u zavisnosti od konfiguracije) predvide kontrolni šahtovi za reviziju, čiji je prečnik 80 cm (u zavisnosti od dubine šahta).

Drenažnu cev treba ugraditi na posteljicu od podbetona koji u poprečnom smeru treba da se prostire po čitavoj širini filtera do iskopane zemlje prirodnog tla. Odgovarajućim nagibom podbetona postiže se oticanje vode u drenažnu cev. Podbeton obuhvata perforiranu cev do visine rupa u cevi. Debljina betonske posteljice zavisi od prilika

na terenu, ali ne sme da bude manja od 20 cm.



- 1 perforirana betonska cev,
- 2 betonska mulda ili kanaleta,
- 3 kontrolni šaht drenaže,
- 4 betonska cev,  $d_{min} = 30$  cm,
- 5 površina terena,
- 6 kolektorski priključak

Slika 10.4.41: Podužni profil odvodnjavanja zaleđa zida

Ispusti u zidu (cevi za proceđivanje – barbakane) mogu da se primene samo kod kontaktnog betoniranja padine koje imaju mali dotok vode i predstavljaju jedini drenažni element ovakvih zidova.

Svi navedeni primeri upotrebljavaju se u slučaju kada je dno temelja gravitacionog zida u nepropusnom tlu u kome nije moguće oticanje voda iz zaleđa kroz temeljno tlo.

U koliko se dno temelja gravitacionog zida nalazi u propusnom tlu, a zasip iza gravitacionog zida se izvodi nepropusnim materijalom, onda odvodnjavanje vode iz zaleđa može da se izvede bez drenažnih cevi u zaleđu. U tom slučaju je sasvim dovoljno da se filterski sloj neposredno poveže sa propusnim zraslim tлом. Ukoliko se zasipanje zaleđa gravitacionog zida izvodi propusnim materijalom, ne mora da se izvodi filterski sloj iza zida, dok je postavljanje drenažne cevi na dnu zida neophodno samo u slučaju nepropusnog temeljnog tla.

Gravitacioni zidovi uz vodotokove izloženi su čestim promenama nivoa vode. Podizanje nivoa vode na prednjoj strani zida ima za posledicu podizanje vode i u zaleđu. Da bi se efikasno ujednačio nivo vode sa obe strane zida, treba ugraditi mrežu cevi u gravitacioni zid, a zasip iza zida napraviti od materijala koji ima dobre drenažne karakteristike. Za deo zaleđa važe prethodno dati podaci vezani za dreniranje zaleđa uz uvažavanje činjenice da se uzdužna drenažna cev ne izvodi, nego se izvodi odgovarajuća mreža procednih cevi (barbakan) u zidu (maksimalni razmak 2,0 m, min. prečnik 120 mm). Detalj

zasipavanja oko cevi za proceđivanje vode mora da se izvede od kamenog materijala okruglog oblika.

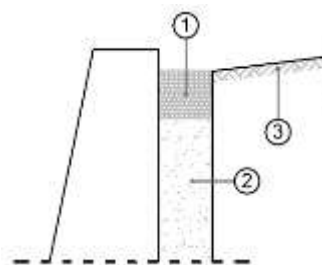
Odvodnjavanje konzola izvodi se drenažnom cevi koja se polaže na spoju konzole i zida. Proceđena voda zbog izvedenog nagiba od 4 % prema zidu dotiče do drenažne cevi koja se povezuje sa ostalim sistemom odvodnjavanja vode u zaleđu zida.

#### 10.4.8.2 Odvodnjavanje površinskih voda

Odvodnjavanje površinskih voda sa padine iza zida sprečava proceđivanje te vode u drenažni sloj iza zida i smanjuje njegovo opterećenje.

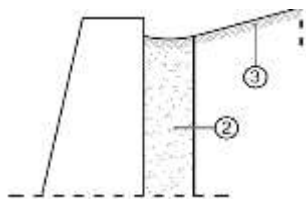
Površinska voda se može da se hvata običnim elementima za odvodnjavanje kao što su mulde, kanalete ili obloženi járci. Ovi elementi se preko odgovarajućih sabirnih šahtova sa peskolovom spajaju na sistem odvodnjavanja koji je odvojen od drenažnog sistema. Peskolovi se izvode tako, da im je prilaz što lakši i održavanje što jednostavnije. Preporučuje se i zasađivanje u zaleđu krune, i to zasađivanje žbunja koje je veliki potrošač vode.

Elemente odvodnjavanja površinskih voda sa zaleđa na krajevima gravitacionih zidova treba zaključiti i povezati sa odvodnjavanjem puta. Izvedeno stanje mora da obezbedi zaštitu od erozije slobodnog dela padine.



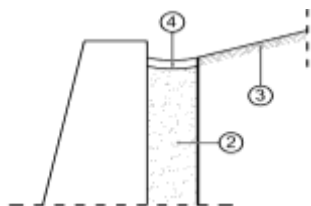
- 1 šljunkovite okrugle frakcije 30-50 cm
- 2 filter
- 3 zatravljena površina zaleđa

Slika 10.4.42: Odvodnjavanje bez mulde – za nagibe terena do 5 % sa malim doticanjem vode



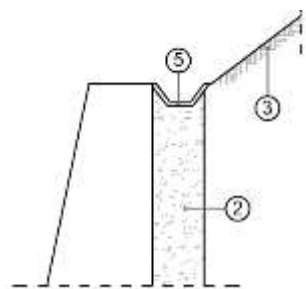
2 filter  
3 površina zaleđa obogaćena humusom

Slika 10.4.43: Odvodnjavanje travnatim jarkom – za nagibe terena od 5 % do 12 % sa srednjim dotokom vode



2 filter  
3 zatravljena površina zaleđa  
4 mulda

Slika 10.4.44: Odvodnjavanje muldom – za nagibe terena od 5 % do 12 % sa većim dotokom vode



2 filter  
3 zatravljena površina zaleđa  
5 kanaleta

Slika 10.4.45: Odvodnjavanje kanaletom – za nagibe terena veće od 12 % sa velikim dotokom vode

### 10.4.8.3 Zasipi u zaleđu

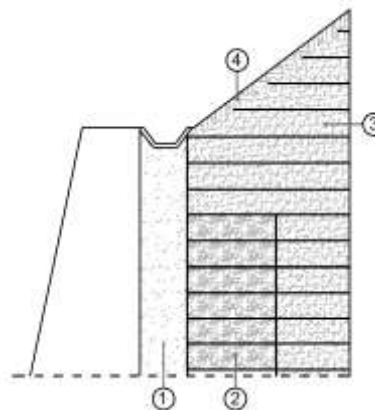
Veliki deo oštećenja gravitacionih zidova posledica je nestručnog zasipavanja, jer se obično u području neposredno uz zid zasipni materijal previše sabije.

Kod potpornih zidova, kod kojih je iskop iza zida veći, preporučuje se sledeći postupak:

- zatrpavanje treba izvoditi u slojevima debljine do 30 cm i sabijati lakim sredstvima za kompresovanje,
- sabijanje može da počne tek nakon udaljavanja od leđne strane zida za 1 m, a nastavlja se u smeru od zida,

- gornji metar zasutog materijala se kompresuje do samog zida,
- konstantnu debljinu jednoslojnog ili dvoslojnog filtera treba obezbediti izvlačenjem graničnih dasaka ili lima,
- gornju površinu zasipa treba prekriti slojem zemlje male propusnosti.

Iskustva iz prakse su, da je dreniranje najefikasnije izvesti od drobljenog kamena umotanog u geotekstil.



1 filter  
2 zona bez sabijanja, širine 1,0 m  
3 pažljivo sabijena zona  
4 zemlja male propusnosti

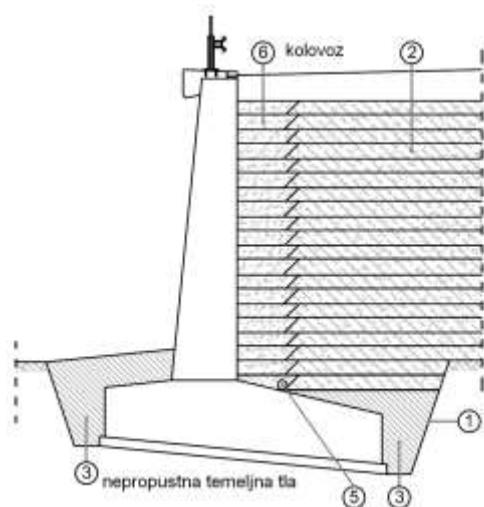
Slika 10.4.46: Detalj zatrpavanja gravitacionog potpornog zida

Kod potpornih zidova zasuti materijal u zaleđu zida mora dobro da se kompresuje zbog postizanja dovoljne nosivosti i što manjeg sleganja. Jače kompresovanje ima za posledicu manju propusnost. Zasip potpornih gravitacionih zidova koji osiguravaju padinu razlikuje se od zasipa potpornih zidova koji osiguravaju trup puta po zapremini koja je po pravilu mnogo veća.

Priključak zasipavanja u zaleđu može da se izvede na dva načina:

- potporna konstrukcija se izvodi se celosti pre početka izgradnje nasipa; izgradnja nasipa ili zasipa izvodi se naknadno u slojevima po čitavoj širini nasipa direktnim priključenjem na zid potporne konstrukcije; u ovom slučaju slojevi se izvode na sredini debljine, a zbijanje se vrši lakšim mašinama za kompresovanje; ako se nasip pravi od koherentnog materijala, onda se uza zid izvodi pojas širine 1 m od odgovarajućeg filterskog materijala kojim se odvodnjava voda iz zaleđa (slika 10.4.47) i u slučaju da se izgrađuje nasip od nekoherentnog dobro propusnog materijala, filterski sloj (G) uz zaleđe zida nije potreban, i ugrađuje se

samo stabilna drenažna cev za odvod proceđene vode (slika 10.4.48).



(nepropusno temeljno tlo)

- 1 iskop
- 2 – nasip od koherentnog materijala
- 3 – koherentni nepropusni materijal
- 5 – drenažna cev
- 6 – filter

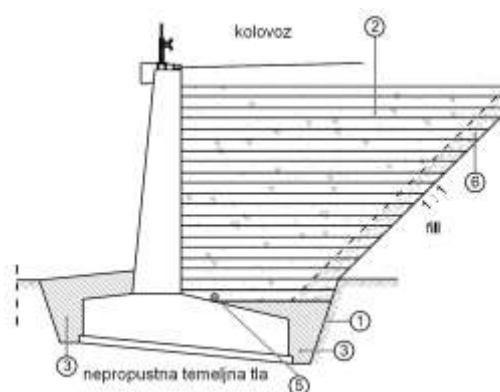
Slika 10.4.47: Priključak nasipa iz koherentnog zemljanog materijala za potpornu konstrukciju

- potporna konstrukcija je udaljena od prirodnog zaleđa ili nasipa; u ovom slučaju zasipavanje iza zida izvodi se u obliku klina; ako je zasipni klin od propusnog materijala, izrada filtera je neophodna samo u izuzetnim slučajevima i to na granici između prirodnog materijala ili izgrađenim nasipom i zasipnim klinom iz nekoherentnog i materijala dovoljne vodopropusnosti (slika 10.4.49); ako se zasipni klin izvodi iz koherentnog materijala, neophodno je izvođenje drenažnog sloja (filtera) uz zid potpore konstrukcije (slika 10.4.50).



- 1 – iskop
- 2 – zasip od nekoherentnog materijala
- 3 – koherentni nepropusni materijal
- 5 – drenažna cev

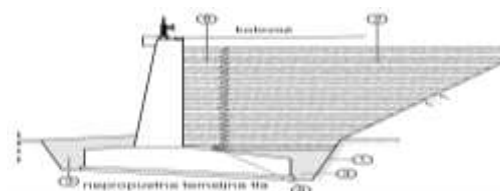
Slika 10.4.48: Priključak nasipa od nekoherentnog zemljanog materijala ka dograđenoj potpornoj konstrukciji



(nepropusno temeljno tlo)

- 1 – iskop
- 2 – zasip od nekoherentnog materijala
- 3 – koherentni nepropusni materijal
- 5 – drenažna cev
- 6 – filter, po potrebi

Slika 10.4.49: Zasipni klin od nekoherentnog materijala



(nepropusno temeljno tlo)

- 1 – iskop,
- 2 – zasip od koherentnog materijala,
- 3 – koherentni nepropusni materijal,
- 5 – drenažna cev,
- 6 – filter

Slika 10.4.50: Zasipni klin od koherentnog materijala i jednoslojnog filtera

Praktična iskustva kod izvođenja zasipavanja u zaleđu su pokazala da je najjednostavnija i

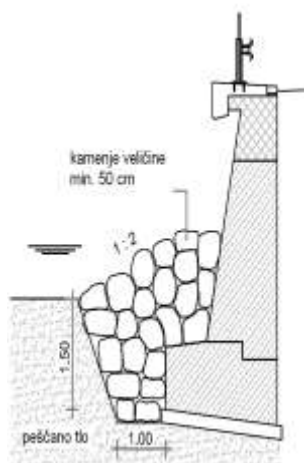
najkvalitetnija izrada zasipnog klina od nekoherentnih šljunkovito peskovitih materijala koji ne zahtevaju izgradnju dodatnog filtera za odvod proceđene vode.

Značajnu ulogu kod izvođenja zasipavanja ima samo sabijanje zasutog materijala. Od načina zasipavanja i sabijanja u velikoj meri zavisi oblik dijagrama napona odnosno položaj hvatišta rezultante. Loše sabijanje može da uzrokuje prekomerna pomeranja zidova.

#### 10.4.8.4 Čeono zasipavanje i zaštita

Zasuti materijal ispred čeone strane temelja, delimično i po visini zida na odgovarajući način treba da se kompresuje u zavisnosti od predviđene upotrebe površine iznad čeonog zasipavanja. Preporučuje se kompresovanje na 92 - 98 % zbijenosti po standardnom Proctorovom postupku.

U slučaju da je čeona strana gravitacionog zida izložena vodotokovima, zasipavanje iznad temelja se izvodi na način koji će sprečavati uticaje erozije toka vode. Zasipavanje se izvodi većim komadima kamena, veličine 0,5 m odnosno 0,1 m<sup>3</sup>. Kameni blokovi moraju se međusobno dobro da se uklješte, pošto povezivanje sa betonom nije poželjno.



Slika 10.4.51: Detalj obezbeđenja čeone strane temelja gravitacionog zida na kontaktu sa vodotokovima (temeljenje u nekoherentnom temeljnom tlu).