

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Návrh zajištění břehového svahu

Design of Stabilization the River Slope

Študent

Andrej Dobrovolný

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D

Ostrava 2022

Zadání bakalářské práce

Student: **Andrej Dobrovolný**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Návrh zajištění břehového svahu**
Design of Stabilization the River Slope

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1, Úvod
- 2, Metody zajištění svahových zářezů
- 3, Návrh zajištění poškozeného břehu
- 4, Zhodnocení a srovnání jednotlivých návrhů
- 5, Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
Šimek, J. *Mechanika zemin*. SNTL, 1990. ISBN 80-03-00428-4.
Stanek, J., Kořínek, R. *Mechanika zemin - Stabilita svahů*. ES VŠB, 1991. ISBN 80-7078-103-3
Abramson, L. W. *Slope stabilization and stabilization methods*. John Wiley and Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-10622-4
Atkinson, J. *The Mechanics of Soils and Foundations*. New York: Taylor & Francis, 2007. ISBN 978-0-415-36256-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.**

Datum zadání: 29.10.2021

Datum odevzdání: 02.05.2022

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave dňa

.....

.....

podpis študenta

Pod'akovanie

Ako prvé chcem pod'akovať predovšetkým mojej rodine za plnú podporu počas celej doby štúdia. Zároveň chcem pod'akovať vedúcemu mojej práce Ing. Lukášovi Ďurišovi Ph.D. za ochotu, pomoc a cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce. Taktiež chcem pod'akovať Ing. Marekovi Mohylovi, Ph.D. za zapožičanie odbornej literatúry.

V Ostrave dňa

.....

.....

podpis študenta

Prehlasujem, že

- bol som zoznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, najmä § 35 – užitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitia diela a § 60 školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo k svojej vnútornej potrebe využiť bakalársku prácu (§ 35 odstavec 3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok bakalárskej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odstavcu 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžu len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok ich obhajoby.

V Ostrave dňa

.....

.....

podpis študenta

Anotácia

DOBROVOLNÝ, Andrej, 2022. *Návrh zajištění břehového svahu*. Ostrava. Bakalárska práca. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství. Vedúci práce Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh a posúdenie troch variant zaistenia brehového svahu. Úvodná časť sa zaoberá svahovými pohybmi. Druhá časť práce sa zaoberá jednotlivými možnosťami zaistenia brehového svahu. Posledná časť práce sa zaoberá trom navrhnutými variantami zaistenia brehového svahu a ich posúdeniu. Všetky návrhy a posudky sú spracované v programe GEO5.

Kľúčové slová: stabilizácia, brehový svah, stabilita svahu, oporná konštrukcia, GEO5

Annotacion

DOBROVOLNÝ, Andrej, 2022. *Design of Stabilization the River Slope*. Ostrava. Bachelor thesis. VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Geotechnics and Underground Engineering. Supervisor Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

The aim of this bachelor thesis is the design and the assessment of three variants of the river slope stabilization. The introduction part focuses on the slope movements. The second part of this thesis deals with the individual options of the river slope stabilization. The last part of this thesis deals with three proposed variants of the river slope stabilization and their evaluation. Designs and their assessments are processed in GEO5 software.

Keywords: stabilization, river slope, slope stability, retaining structures, GEO5

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Svahové pohyby.....	2
2.1. Příčiny a faktory vzniku svahových pohybů	2
2.2. Břehové erózie	4
2.3. Druhy svahových pohybů	5
3. Typy oporných konstrukcí	6
3.1. Gravitačné múry	7
3.1.1. Gravitačné múry z kameňa ukladané na sucho	7
3.1.2. Gravitačné múry z kameňa ukladaného na maltu	8
3.1.3. Gravitačné múry z prostého betónu	9
3.2. Uholníkové železobetónové múry	12
3.2.1. Monolitické železobetónové múry.....	12
3.2.2. Rebrové železobetónové múry.....	14
3.2.3. Prefabrikované železobetónové múry	15
3.3. Zárubné a obkladové múry	16
3.4. Gabiony	18
3.5. Pilótové steny	22
3.6. Podzemné steny	24
3.7. Štetovnicové múry	25
3.8. Biotechnické stabilizácie	27
4. Oporné konstrukcie – návrh a posúdenie	30
4.1. Posúdenie oporných múrov a gabionov.....	30
4.2. Zaťaženie oporných konstrukcií	35
4.2.1. Zemné tlaky	36
4.2.2. Vplyv vody na konštrukciu.....	43

Bakalárska práca
Návrh zajištění břehového svahu

4.3.	Odvodnenie.....	44
4.4.	Geotechnický monitoring	45
5.	Návrh podľa EC 7	46
5.1.	Geotechnické kategórie	46
5.2.	Medzné stavy.....	48
5.2.1.	Medzný stav porušenia	48
5.2.2.	Medzný stav použiteľnosti.....	50
5.3.	Návrhové prístupy	50
6.	Návrh zaistenia brehového svahu	53
6.1.	Popis prostredia	53
6.2.	Návrh v programe GEO5.....	54
6.3.	Jednotlivé varianty zaistenia brehového svahu	55
6.3.1.	Gravitačný múr	55
6.3.2.	Gabionový múr	56
6.3.3.	Monolitická železobetónová záporová stena	58
6.4.	Porovnanie jednotlivých návrhov	59
6.5.	Vyhodnotenie jednotlivých návrhov	66
6.6.	Zhodnotenie navrhnutých konštrukcií	68
7.	Záver	69
	Zdroje	70
	Zoznam obrázkov.....	73
	Zoznam tabuliek.....	74
	Zoznam grafov	75
	Zoznam príloh	75

Zoznam skratiek a symbolov

Symbol	Jednotka	Názov
A a pod.		súbor dielčích súčiniteľov pre zaťaženie alebo jeho účinky a podobne
b	m	šírka základu alebo základovej škáry
bm		bežný meter
c	kPa	súdržnosť zemin
č.		číslo
d	m	hlbka votknutia odľahčovacej dosky
EC 7		Eurokód 7
GK		geotechnická kategória
h	m	výška múru
h_1	m	výška nadnásypu
HPV		hladina podzemnej vody
IG		inžinierskogeologický
k	m	šírka koruny múru
l_1	m	šírka vyloženia odľahčovacej dosky
M		súbor dielčích súčiniteľov pre parametre zemin
NP		návrhový prístup
R		súbor dielčích súčiniteľov pre odpor konštrukcie
R_s	kN/m	únosnosť čelného spoja siete
R_t	kN/m	pevnosť zvaranej siete
S_a	kN	výslednica aktívneho zemného tlaku
S_p	kN	výslednica pasívneho zemného tlaku
S_r	kN	výslednica zemného tlaku v klúde
t.j.		to jest
\emptyset	mm	priemer
γ	kN/m ³	objemová tiaž zemin v prirodzenom uložení
γ_{sat}	kN/m ³	objemová tiaž zemin plne nasýtená vodou
γ_{su}	kN/m ³	objemová tiaž zemin nadľahčovaná vodou
σ	kPa	napätie

Symbol	Jednotka	Názov
σ_a	kPa	aktívny zemný tlak
$\sigma_{a,zv}$	kPa	zvýšený aktívny zemný tlak
σ_p	kPa	pasívny zemný tlak
$\sigma_{p,zn}$	kPa	znížený pasívny zemný tlak
σ_r	kPa	zemný tlak v klúde
φ	°	uhol vnútorného trenia zeminy

Zvyšné symboly a ich názvy sú uvedené pri jednotlivých vzorcoch v textovej časti práce.

1. Úvod

Zrejme neexistuje odvetvie stavebníctva, v ktorom by nebola prítomná geotechnika. Úloha geotechniky je nezastupiteľná v procese návrhu a realizácie, či sa jedná o zakladanie stavieb, výstavbu stavebných jám, budovanie násypov a zárezov u dopravných stavieb, realizáciu skládok a výsypok, alebo pri budovaní najnáročnejších stavieb ako sú tunely a priehradky.

Základným aspektom všetkých geotechnických konštrukcií je priama interakcia medzi geotechnickou konštrukciou a geologickým prostredím.

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh zaistenia brehového svahu, čo sa môže javiť ako jednoduchá úloha, avšak opak je pravdou. Návrh opornej konštrukcie nespočíva iba v samotnom posúdení konštrukcie, ale aj v posúdení celkovej stability svahu ako aj posúdeniu na okolitú zástavbu či životné prostredie.

Návrh opornej konštrukcie je rozsiahla a náročná problematika obsahujúca veľké množstvo možných geotechnických konštrukcií ako aj metód ich realizácie. V prvotnej fáze návrhu akejkolvek geotechnickej konštrukcie je veľmi náročné určiť, ktorá bude najideálnejšia, keďže každá má svoje výhody ako aj nevýhody.

Túto prácu možno rozdeliť na teoretickú a praktickú časť. Teoretická časť sa zaoberá popisom svahových pohybov, zameraných predovšetkým na nežiadúce účinky vody pozdĺž vodných tokov. Ďalej sa práca zaoberá jednotlivými možnosťami zaistenia brehového svahu ako aj aplikáciou Eurokódu 7 pri návrhu týchto konštrukcií.

V praktickej časti sú navrhnuté 3 varianty zaistenia brehového svahu, ktoré sú následné porovnané medzi sebou. Návrh je realizovaný v programe GEO5 a výstupy z tohto programu sú súčasťou príloh.

V závere práce sú jednotlivé varianty zaistenia brehového svahu vyhodnotené z pohľadu rôznych kritérií. Toto vyhodnotenie sa nachádza v podkapitole 6.5. a následne sú všetky návrhy zhodnotené v podkapitole 6.6..

2. Svahové pohyby

Pri zakladaní na svahoch je z geologického hľadiska veľmi dôležitá stabilita územia, ktorá je limitovaná svahovými pohybmi. Pojmom svahový pohyb rozumieme gravitačný pohyb hornín a zemín po svahu. Od takéhoto pohybu sa odlišuje transport hornín a zemín po svahu, spôsobený transportnými médiami, ako je voda, sneh, ľad a vietor.

Vývoj a vznik svahových pohybov je podmienený predovšetkým gravitačným účinkom na častice hornín a zemín, ktoré tvoria svah. Pomer medzi silami, ktoré sa snažia zabrániť pohybu (pevnosť hornín a trenie na vytvárajúcej sa šmykovej ploche), t.j. pasívnymi silami a silami, ktoré sa snažia uviesť svah do pohybu (gravitácia, hydrodynamický tlak a pod.) t.j. aktívnymi silami sa nazýva stupeň stability.

Z uvedených informácií vyplýva, že pokiaľ na svahu prevládajú účinky aktívnych síl, horniny sa dajú do pohybu a vzniká svahový pohyb. Výsledná forma svahových pohybov sú svahové poruchy – deformácie. [1]

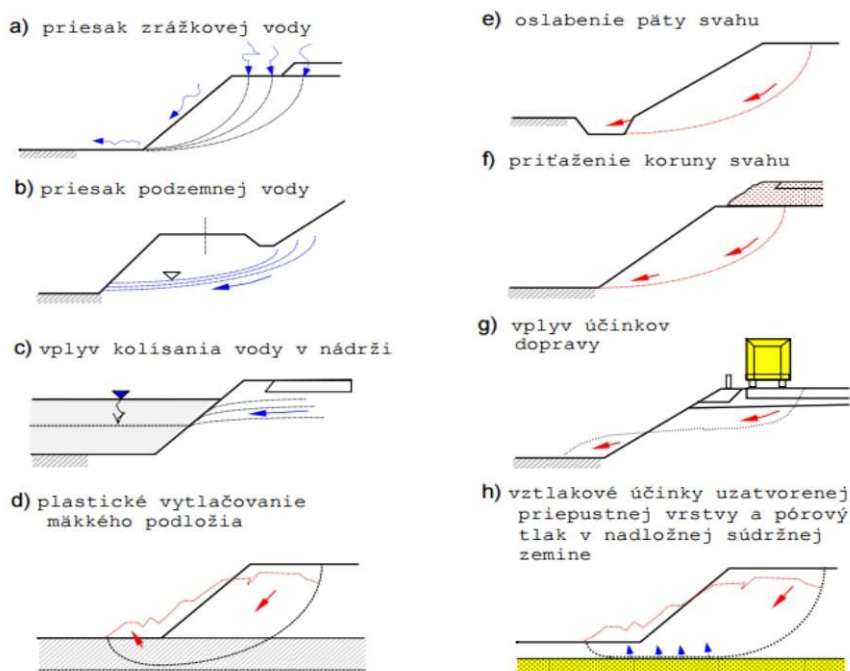
2.1. Príčiny a faktory vzniku svahových pohybov

Pri štúdiu svahov je veľmi dôležité rozpoznať podmienky, ktoré spôsobujú náchylnosť územia k svahovým pohybom a faktory, ktoré pohyb bezprostredne vyvolávajú. Náchylnosť svahu k pohybu je daná predovšetkým vlastnosťami hornín, geologickou štruktúrou, hydrogeologickými pomermi a morfológickým vývojom územia. [2]

Faktory svahových pohybov môžeme definovať ako procesy zmeny daných podmienok. Každý svah má určitý stupeň stability, ktorý je väčší ako 1,0. Jeho zmenu zapríčiňuje pôsobenie niektorého faktor, poprípade kombinácia viacerých faktorov, ktoré vplývajú na daný svah. Faktor, ktorý sa v okamihu vzniku svahového pohybu najviac uplatnil, nazývame ako príčinu svahového pohybu. Najčastejšie a najdôležitejšie faktory spôsobujúce svahové pohyby na našom území sú: [1]

- **Účinky mrazu a ľadu** môžu v zimnom období výrazne ovplyvniť vznik svahových pohybov. Zmrznutá voda v puklinách zväčšuje svoj objem, čo spôsobuje rozširovanie trhlín a prejavuje sa vyšším tlakom, keďže ľad má väčší objem ako voda. Ľad takisto môže zamedziť vytekaniu voľnej vody z trhlín, čo má za následok zvýšenie hydrostatického tlaku. Jedná sa hlavne o sezónnu záležitosť. [2] [3]

- **Zmena sklonu svahu** môže byť spôsobená prirodzenou formou napríklad podomletím päty svahu ako dôsledok eróznej činnosti vodného toku alebo umelo podkopaním svahu.
- **Zmena vegetačného porastu** hlavne odlesňovanie svahu prispieva k zmene vodného režimu v povrchových vrstvách. Korene stromu udržiujú stabilitu svahu mechanickým pôsobením a prispievajú k vysychaniu svahu tým, že časť podzemnej vody spotrebujú pre svoj rast. [2]
- **Zvetrávanie hornín na svahu** postupne dochádza k poklesu súdržnosti a zvyšovaniu pretvárnosti a priepustnosti zemín. Delíme ho na chemické a mechanické. [2] [3]
- **Dynamické a seizmické účinky** sa prejavujú pri rozpojovaní hornín trhavinami poprípade pri nasadení ťažkej stavebnej mechanizácie. [3]
- **Pôsobenie podzemnej vody** vytvára tlak na častice zeminy a zhoršuje stabilitu svahu. Napätá hladina podzemnej vody (HPV) pôsobí ako vztlak na nepriepustné vrstvy zemín v nadloží.
- **Zmena objemu vody** v ílovitých zeminách počas obdobia sucha spôsobuje vysychanie a zmršťovanie prostredia čo má za následok znižovanie súdržnosti zemín. [2]
- **Pritiaženie koruny svahu** umelými stavbami alebo dopravou má negatívny vplyv na stabilitu svahu. [1]
- **Vplyv erózie na brehové svahy** bude popísaný v nasledujúcej podkapitole 2.2.



Obrázok 1: Možné príčiny vzniku svahových pohybov [30]

2.2. Brehové erózie

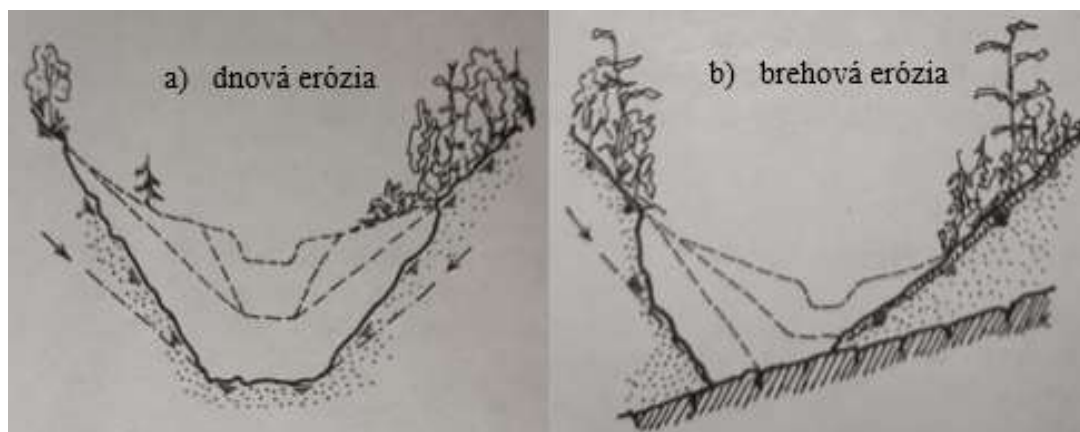
Erózia pôdy spôsobená vodou a vetrom je trojfázový proces. Prvou fázou je uvoľnenie častíc zemín, druhou je ich transport uvedenými činiteľmi. Tretia fáza je ukladanie materiálu, ku ktorému dochádza vtedy, pokiaľ nie je k dispozícii dostatok energie k ich ďalšiemu transportu.

Triedenie erózie podľa činiteľov:

- vodná erózia
- ľadovcová erózia
- snehová erózia
- veterná erózia
- zemná erózia

Uvedené erózie sa môžu vyskytovať buď samostatne, alebo v kombinácií, čo spôsobuje rôznu intenzitu erózie. Na nechránené svahy v okolí vodných tokov pôsobí predovšetkým vodná erózia, ktorá môže byť iniciátorom svahových pohybov. Vodná erózia môže byť podľa účinkov na zemný povrch:

- **Plošná vodná erózia** je charakterizovaná rozrušovaním a zmývaním zeminy na celej ploche územia. V prvej fáze odnáša povrchový odtok častice zemín. Takáto erózia prebieha pozvoľna, často nepozorovane. Dokážeme ju zistiť pomocou akumulovaného jemného materiálu v dolnej časti svahu po privalových dažďoch.
- **Výmoľová vodná erózia** vzniká sústredením stekajúcej povrchovej vody, ktorá vyrýva na povrchu svahu malé zárezy, ktoré sa časom prehlbujú.
- **Prúdová vodná erózia** prebieha vo vodných tokoch pôsobením prúdu stekajúcej vody v koryte toku a odplavovaním častíc zemín. Pokiaľ je rozrušované dno vodného toku, hovoríme o dnovej erózií. Dnová erózia prebieha pozdĺž osi vodného toku. Ak dochádza k rozrušovaniu brehov, hovoríme o brehovej erózií. Takáto erózia je najnepriaznivejšia pre stabilitu brehových svahov. Brehová erózia prebieha kolmo na os vodného toku. [4]



Obrázok 2: Prúdová vodná erózia [4]

2.3. Druhy svahových pohybov

Z veľkého množstva delenia a klasifikácií sa najviac používa delenie svahových pohybov podľa A. Nemčoka, J Pašeka a J. Rybáře z roku 1974. Základom delenia je rýchlosť a mechanizmus pohybu. Podľa týchto kritérií sa delia svahové pohyby na:

- **Plazenie** predstavuje z geologického hľadiska dlhodobý a trvajúci, zvyčajne nezrýchľujúci pohyb horninových hmôt. Veľkosť posunu hmôt je vzhľadom na rozmery zasiahnutého územia zanedbateľná. Rýchlosť pohybu predstavuje niekoľko milimetrov až centimetrov za rok. Ak dôjde k zrýchleniu, svahový pohyb sa mení na zosúvanie, stekanie alebo rútenie.
- **Zosúvanie** je relatívne rýchly a krátkodobý pohyb horninového svahu pozdĺž jednej alebo viacerých šmykových plôch, ktoré oddeľujú pohybujúci sa materiál od pevného podkladu. Jeho rýchlosť je až niekoľko metrov za deň.
- **Stekanie** je rýchly a krátkodobý pohyb hornín a zemín vo viskóznom stave. Najbežnejšie formy stekania sú zemné a kamenisté prúdy. Zemné prúdy vznikajú v oblasti toku povrchovej alebo podzemnej vody. Kamenisté prúdy sa tvoria na strmých svahoch pohorí. Privalové vody strhávajú piesočnatý a kamenistý materiál. Stekanie dosahuje rýchlosť niekoľko metrov až kilometrov za hodinu.
- **Rútenie** môžeme charakterizovať ako náhly a krátkodobý pohyb na strmých svahoch, pričom sa materiál rozvoľňuje a časť z neho sa pohybuje voľným pádom. Rýchlosť rútenia dosahuje hodnotu niekoľko metrov za sekundu. [1]

3. Typy oporných konstrukcí

Oporné konstrukcie na navrhujú všade tam, kde nemôžeme vybudovať zemné teleso s normálnymi sklonmi svahov vo výkope, poprípade v násype z dôvodu veľkých sklonov terénu. Ďalším dôvodom na výstavbu oporných konstrukcií je potreba zachovania objektov v okolí, poprípade vodných tokov a komunikácií. Návrh oporných konstrukcií si vyžaduje pozornosť predovšetkým zo statického a geotechnického hľadiska ako aj estetického hľadiska a začlenenia do bezprostredného terénu a krajiny. [5]

Podľa európskej normy Eurokódu 7 rozlišujeme 3 hlavné typy oporných konstrukcií:

- **Gravitačné múry** z kameňa, vystuženého alebo nevystuženého betónu, ktoré môžu mať základ s rozšírenou päťou. Taktiež môžu disponovať rebrami alebo opornými výstupkami. Samotná tiaž steny, niekedy vrátane stabilizujúcej zeminy, skalnej horniny alebo spätného zásypu má významnú úlohu pri podopieraní a zachytávaní materiálu. Medzi takéto konstrukcie môžeme zaradiť kamenné a betónové gravitačné múry, múry z vystuženého betónu s plošnými základmi a múry s vystuženými rebrami.
- **Votknuté steny** z ocele, vystuženého betónu alebo z ocele a dreva. Môžu byť kombinované s kotvami alebo rozperami. Vlastná hmotnosť takejto steny nie je podstatná, podstatná je ohybová tuhosť pri podopieraní zachytávaného materiálu. Príkladmi takýchto stien sú votknuté oceľové štetovnice, ktoré môžu byť doplnené kotvami a rozperami, alebo betónové steny.
- **Kombinované oporné konstrukcie** zložené z predchádzajúcich dvoch typov stien doplnených o ďalšie výstužné prvky, ako napríklad tiahla, geotextílie, injektáže alebo zemné klinec. [6]

Bežne sa v praxi uvedené votknuté steny a kombinované oporné konstrukcie väčšinou zaradzujú ku konstrukciám pažiacim, ktoré sú taktiež realizované metódami špeciálneho zakladania stavieb. Podľa miesta a spôsobu použitia rozoznávame múry oporné, zárubné a obkladové.

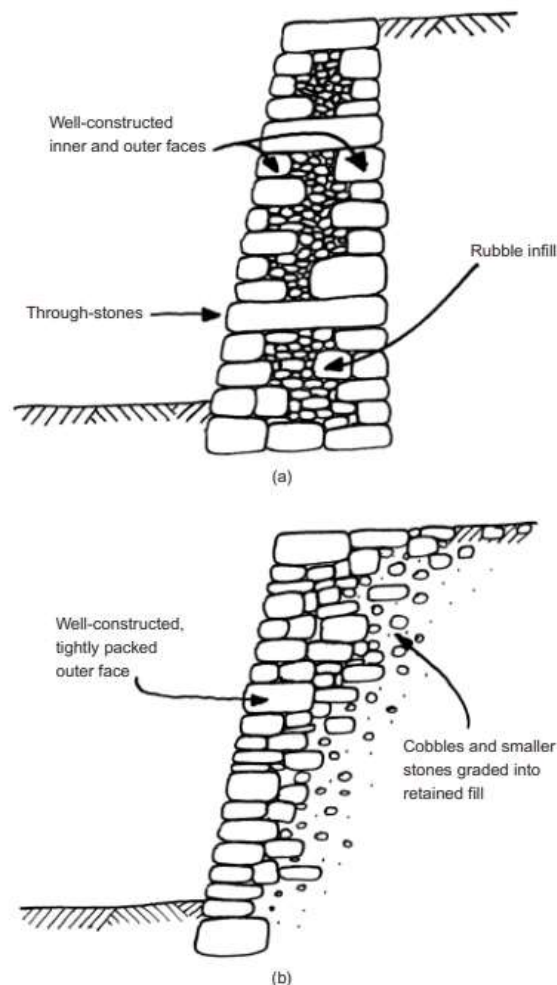
- **Oporné múry** slúžia všeobecne na zachytenie násypovej zeminy.
- **Zárubné múry** zabezpečujú proti zosunutiu rastlú zeminu výkopových svahov.
- **Obkladové múry** slúžia iba ako ochrana pred poveternostnými vplyvmi pôsobiacich na svah. [7]

3.1. Gravitačné múry

Gravitačný múr odoláva zemnému tlaku a príťaženiu povrchu iba vlastnou tiažou. Keďže múr zachytáva tiaž zeminy iba vlastnou hmotnosťou, je potrebný veľký objem múru, čím narastá spotreba materiálu. Ako materiál sa používa kameň a prostý betón. [8] [9]

3.1.1. Gravitačné múry z kameňa ukladané na sucho

Technológia realizovania múrov používaná predovšetkým v minulosti. Múry na sucho sa realizujú z opracovaného alebo neopracovaného kameňa ukladaného na seba bez použitia spojovacieho materiálu. Takéto múry sa realizujú vždy s nadsypom v rozmedzí od 1 do 3 m. Sklon lícovej strany sa volí od 5:2 až do 2:1. Základová škára sa realizuje najčastejšie v sklone 1:3 v smere do zemného telesa. Pre správne fungovanie musia byť škáry medzi kamenivom dôkladne vyklinované. Použitie takéhoto typu gravitačného múru nie je vhodné pre náročnejšie konštrukcie. [8] [10]



Obrázok 3: Varianty použitia kamenného múru na sucho [10]

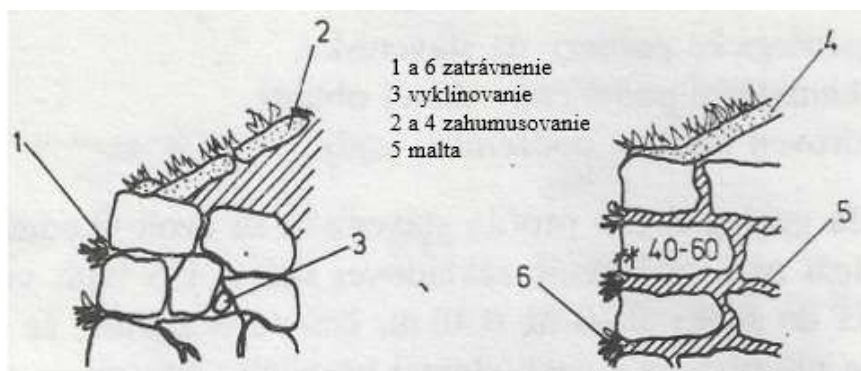


Obrázok 4: Gravitačný múr z kameňa ukladaného na sucho [22]

3.1.2. Gravitačné múry z kameňa ukladaného na maltu

Takáto konštrukcia sa používa všade tam, kde nie je možné realizovať gravitačný múr z prostého betónu, alebo ak je požiadavka na estetický vzhľad konštrukcie. Na múry z kameňa ukladaného do malty sa používa murivo z lomového kameňa poprípade opracovaný kameň do rôznych tvarov (kyklopské murivo). Pre správne fungovanie múru musia byť všetky ložné plochy a škáry dôkladne vyplnené maltou.

Ak sa má dosiahnuť lepšie začlenenie múru do príľahlého terénu, nechajú sa na výšku 40 až 60 mm škáry nevyplnené maltou. Takéto škáry sa vyplnia zmesou semien tráv a hnojív, ktoré na múre vytvoria prirodzenú zeleň. Takáto úprava sa môže aplikovať iba pri múroch tvorených z nenamrzavého kameňa. [8]



Obrázok 5: Možné úpravy škár kamenného múru [8]



Obrázok 6: Gravitačný múr z kameňa ukladaného na maltu [29]

3.1.3. Gravitačné múry z prostého betónu

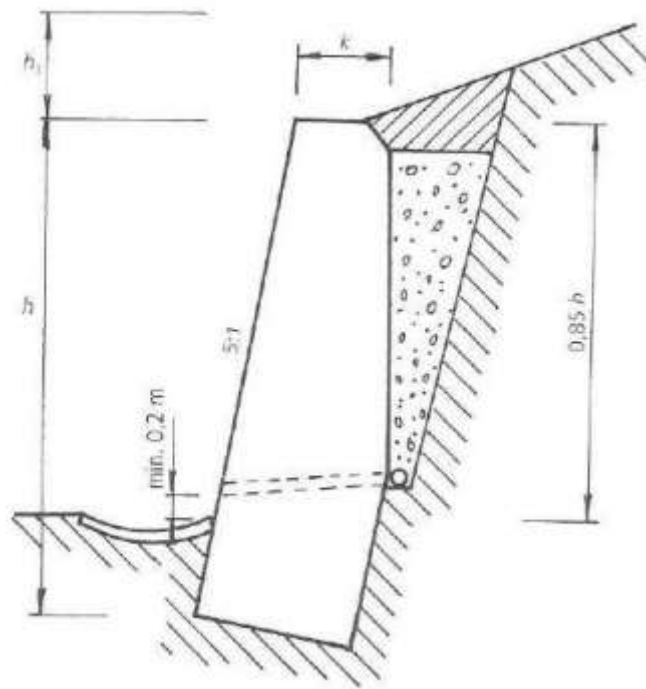
Gravitačné múry z prostého betónu sú málo hospodárne. Mohutné rozmery plynú z požiadavky, aby sa v stene nevyskytovali ťahové sily buď vôbec alebo iba v malej miere. Múry z prostého betónu je potrebné opatriť dilatačnými škárami, každých 10 až 15 m. [11]

Tvar a rozmery múru sa volia podľa empirických vzťahoch. Šírka základovej škáry je závislá od celkovej výšky múru a dosahuje hodnotu:

$$b = (0,33 \text{ až } 0,45) * h \quad (3.1)$$

Samotný základ gravitačného múru sa navrhuje v hrúbke od 0,6 do 2 m, pričom jeho vyloženie je k jeho výške v pomere 1:2. Lícna strana sa navrhuje v sklone od 5:1 do 10:1. Rubová strana je zvyčajne kolmá, poprípade mierne zošikmená. Šírka koruny múru sa má navrhovať z technologických dôvodov hrúbky minimálne 0,6 m, alebo podľa empirického vzťahu

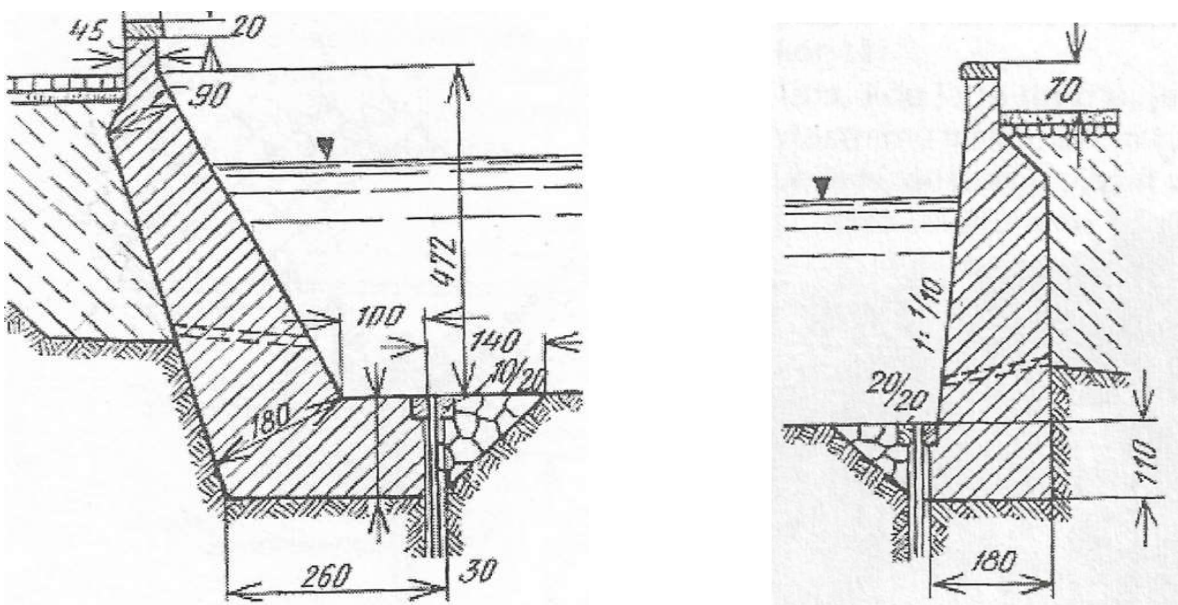
$$k = 0,44 + 0,2 * h \quad (3.2)$$



Obrázok 7: Tvar oporného gravitačného múru z prostého betónu [9]

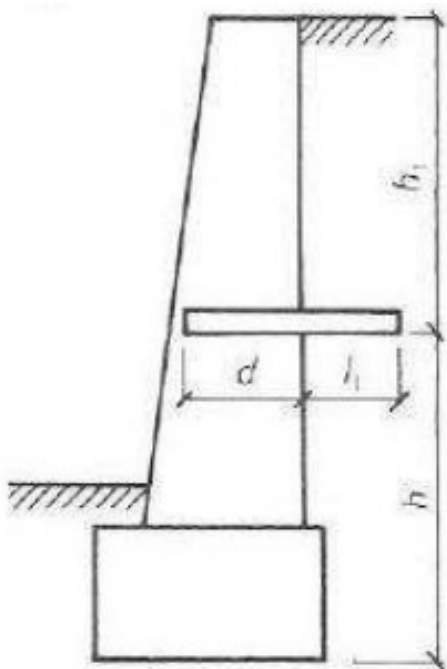
V prípade, ak gravitačný múr podopiera svah pre nadložie $h_1 > 1$ m, potom šírka koruny múru bude daná vzťahom (3.3). [9]

$$k = 0,44 + 0,2 * h + \frac{1}{30} * h_1 * \left(2 - \frac{h_1}{2 * h}\right) \quad (3.3)$$



Obrázok 8: Možné varianty múrov z prostého betónu pri vodnom toku [14]

Ďalšou možnosťou gravitačného múru je použitie odľahčovacej, tzv. Claudyho dosky. Jedná sa o kombináciu gravitačného múru z prostého betónu a konzolovo vyloženu vystuženú železobetónovú dosku, ktorá vyčnieva do svahu. Tiaž zeminy nad doskou prispieva k stabilizácii oporného múru. Takéto riešenie sa navrhuje, ak je za múrom zemina s malým uhlom vnútorného trenia alebo na poddolovanom území. Ďalšie použitie takejto konštrukcie je v prípade, keď sa počas rekonštrukcie nadstavuje oporný múr. [8] [11]



Obrázok 9: Oporný múr s odľahčovacou doskou [9]

Pre umiestnenie odľahčovacej dosky a dĺžky jej vykonzolovania platia orientačné vzťahy. Takéto odvodené vzťahy môžeme použiť za predpokladu štandardných hodnôt objemovej tiaže a uhlu vnútorného trenia zeminy za rubom múru.

$$h_1 = (1,5 \text{ až } 2,5) * d \quad (3.4)$$

$$l_1 = (0,6 \text{ až } 0,75) * d \quad (3.5)$$

Medzi výhody takejto konštrukcie patrí, že v porovnaní s klasickým gravitačným múrom z prostého betónu má menšiu prierezovú plochu, čím sa znižuje množstvo použitého betónu. Na druhej strane postup realizácie múru s odľahčovacou doskou je náročnejší.

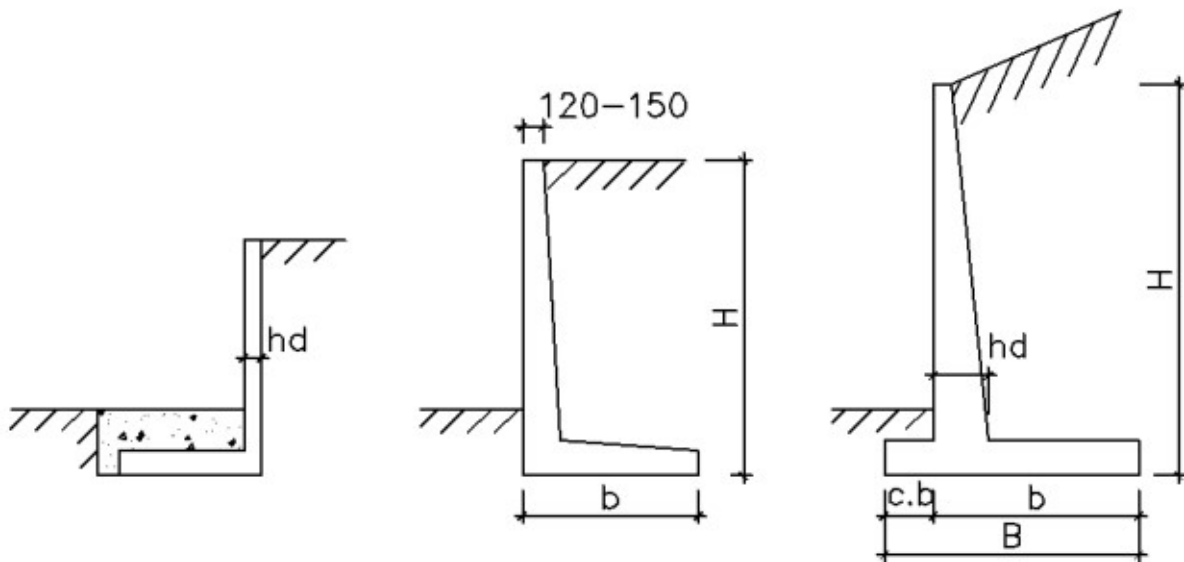
Hrúbka železobetónovej dosky sa volí spravidla 150 až 250 mm. Z dôvodu odvedenia vody z povrchu vykonzolovanej časti sa horná plocha dosky realizuje v sklone 1% smerom do násypu. Pri nastavovaní múru sa musí rešpektovať pôvodný sklon múru. [8]

3.2. Uholníkové železobetónové múry

Navrhujú sa v takom tvare, aby sa efektívne využila tiaž zeminy ležiaca nad vodorovným základom uholníkového múru. Tiaž zeminy slúži k zvyšovaniu stability múru proti preklopeniu a posunutiu v základovej škáre. Výhodou železobetónových múrov oproti gravitačným stenám z prostého betónu je podstatne menšia prierezová plocha, keďže železobetónové múry dokážu odporovať účinkom ohybových momentov pôsobiacich na konštrukciu. Z tohto dôvodu majú menšiu vlastnú tiaž, čo je výhodné predovšetkým pre použitie na menej únosnej základovej pôde. [11]

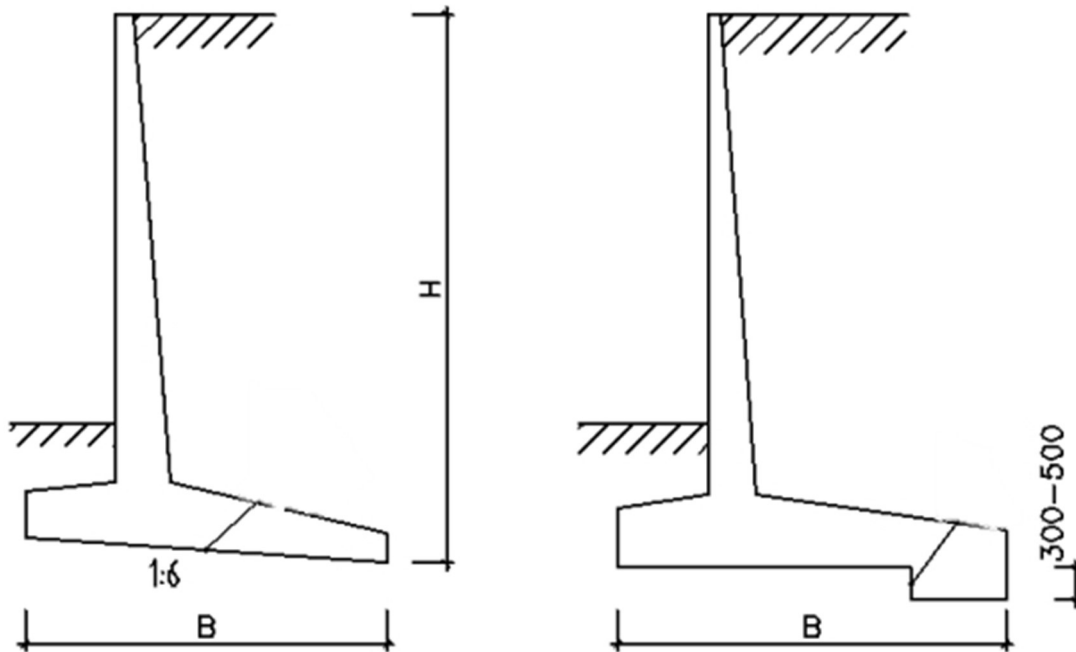
3.2.1. Monolitické železobetónové múry

Monolitickú uholníkovú stenu tvorí zvislá hradiaca stena, ktorá je votknutá do vodorovnej základovej dosky. Pri stenách vyšších ako 3 m sa odporúča, aby základová doska prečnievala za líce steny, a to maximálne o 1/3 celkovej šírky základu. Takáto úprava prispieva k stabilite múru voči preklopeniu. Takéto múry bežne navrhuje pre výšku od 2 do 5 m. [11] [8]



Obrázok 10: Lahké uholníkové múry [8]

Pre zvýšenie bezpečnosti voči posunutiu sa môže realizovať zošíkmenie základu v základovej škáre, poprípade zazubenie.



Obrázok 11: Úpravy múru v základovej škáre [8]

Múr pri hornom povrchu sa navrhuje minimálne v hrúbke 120 až 150 mm. Hrúbka steny pri votknutí do základovej dosky sa zväčšuje z dôvodu dosiahnutia optimálneho vystuženia múru. Z tohto dôvodu sa rubová strana steny navrhuje zošíkmená, lícna strana je zväčša zvislá.

Šírka základovej škáry sa navrhuje podľa empirických vzťahoch a bez nadnásypu dosahuje hodnotu podľa vzťahu (3.6). Ak sa za múrom nachádza nadnásyp, šírka základovej škáry sa určí podľa vzťahu (3.7) . [8]

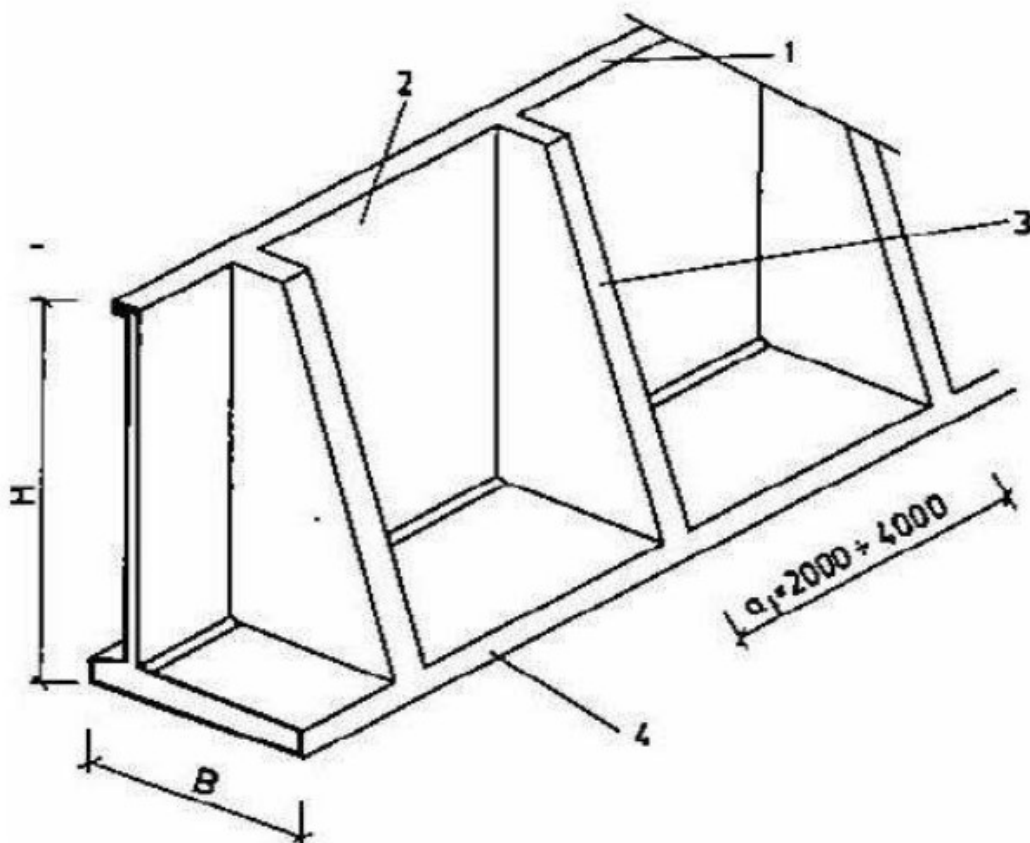
$$b = (0,45 \text{ až } 56) * h \quad (3.6)$$

$$b = (0,50 \text{ až } 65) * h \quad (3.7)$$

Keďže na múr pôsobia ohybové momenty, ťahovú výstuž ukladáme zvislo k rubovému povrchu, kolmo na ňu smeruje vodorovná rozdeľovacia výstuž. Základová doska je taktiež namáhaná na ohybový moment, jednak od zeminového zásypu uloženého nad horným povrchom dosky a zospodu pôsobiaceho ohybového momentu z reakcie podložia. Nosnú výstuž základovej dosky ukladáme pri oboch povrchoch a kolmo na ňu smeruje výstuž rozdeľovacia. Takéto monolitické železobetónové steny je potrebné deliť na dilatačné celky zhruba po každých 25 m. [11]

3.2.2. Rebrové železobetonové múry

Múr sa navrhuje pre výšky 5 až 8 m, výnimočne až do 10 m. Rebrový železobetonový múr sa podobá monolitickému uhlovému múru, avšak je vystužený mohutnými rebrami trojuholníkového tvaru, ktoré spájajú rubovú časť hradiacej steny so základovou doskou. Vzdialenosť výstužných rebier sa navrhuje zhruba od $1/3$ až do $1/2$ z výšky steny, maximálne však 4 m. Hrúbka rebier sa pohybuje od 0,25 do 0,5 m. [11] [8]



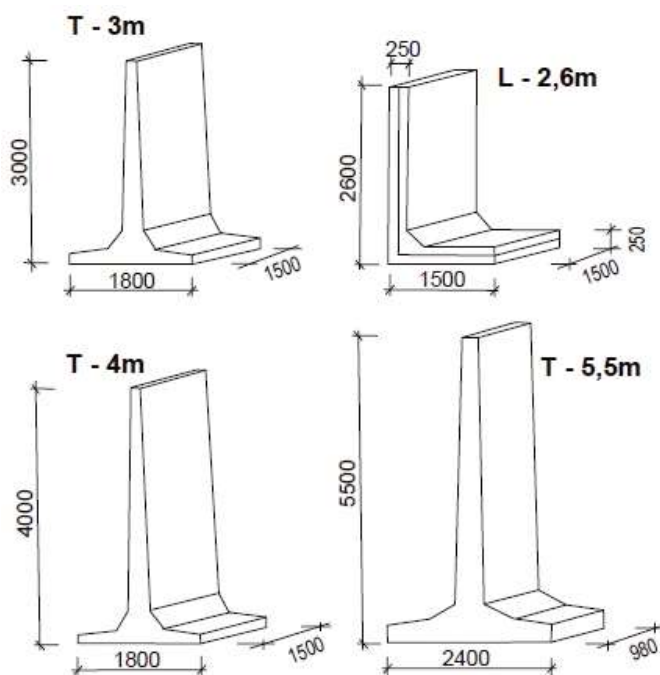
Obrázok 12: Rebrový železobetonový múr [8]

1) výstužný trám, 2) stena, 3) priečne stužujúce rebrá, 4) základová doska

Pôsobenie síl v základovej škáre ako aj spôsob posúdenia výpočtu na stratu stability sa nemení, jediná zmena oproti klasickému železobetonovému múru je v statickom pôsobení jednotlivých častí steny. Výstužné rebro v tvare pravouhlého trojuholníka sa vystužuje voči ťahu hlavnou nosnou výstužou pozdĺž prepony. Táto výstuž je doplnená strmeňmi vo vodorovnom a zvislom smere. Základová doska je namáhaná a vystužená rovnako ako pri bežnom železobetonovom múre. [11]

3.2.3. Prefabrikované železobetonové múry

Oporné a zárubné múry sa môžu navrhovať aj ako prefabrikované konštrukcie. Použitie prefabrikácie pri výstavbe múrov značne skraca prácnosť a časovú náročnosť výstavby priamo na stavenisku. Navyše vhodným tvarovaním pohľadovej časti múru sa dosiahne lepšie začlenenie konštrukcie do okolitého terénu. Pri samotnom návrhu je potrebné dbať zvýšený dôraz na možnosť použitia mechanizácie na stavenisku. Medzi základné požiadavky patrí zdvíhacia technika, ktorej je potrebné prispôbiť aj samotné prefabrikáty, predovšetkým ich hmotnosť a kotviace body.



Obrázok 13: Možné tvary prefabrikovaných múrov [23]

Pri montovaných múroch je taktiež dôležité zabezpečenie všetkých škár proti presakovaniu vody. Medzi najjednoduchšie riešenia patrí zatrenie škáry maltou, poprípade vloženie pozinkovaných plechov.

Jednotlivé prvky prefabrikovaného múru sú buď typizované, alebo navrhnuté na mieru pre danú stavbu. Medzi často používané typy patrí prefabrikát tvorený z jedného kusu. Najčastejší je prierez tvaru L alebo prevráteného T. Takéto múry sa používajú pre oddelenie sypkých hmôt, čiže ako deliace steny alebo samostatne pre múry s malým vodorovným zaťažením. Pre stuženie jednotlivých prefabrikátov sa realizuje stužujúci nosník v hornej časti múru, ktorý môže byť taktiež prefabrikovaný alebo dodatočne vybetónovaný. [8] [11]



Obrázok 14: Transport prefabrikovaného múru – fotka autor

3.3. Zárubné a obkladové múry

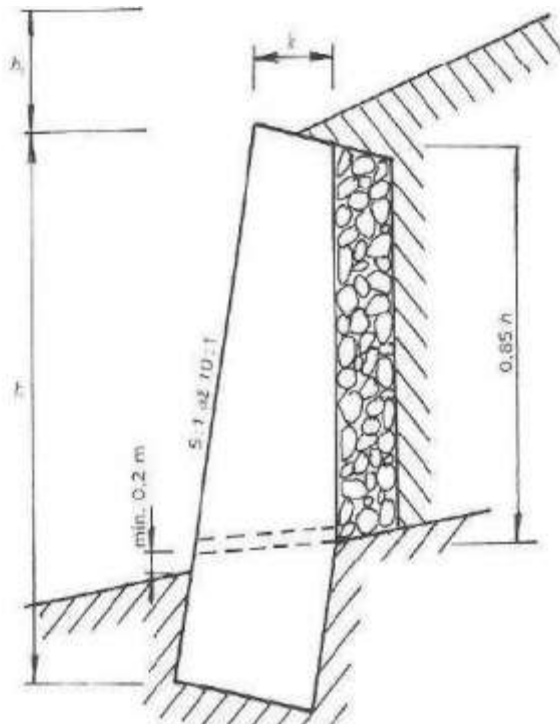
Zárubné múry zabezpečujú proti zosunutiu odkop prírodného svahu. Výnimku tvorí zosuvné územie. Navrhujeme ich štíhlejšie ako oporné múry, za predpokladu menšieho zaťaženia zemným tlakom. Lícna strana býva v sklone 5:1, rubová strana sa navrhuje zvislá alebo mierne sklonená.

Zárubný múr sa taktiež ako oporný múr navrhuje podľa empirických vzťahov. Šírka koruny pri vodorovnom povrchu terénu sa určí zo vzťahu (3.8). V prípade nadložia sa šírka koruny určí podľa vzorca (3.9). Posúdenie sa realizuje obdobne ako pri oporných gravitačných múroch.

$$k = 0,30 + 0,17 * h \quad (3.8)$$

$$k = 0,292 + 0,27 * h + 0,1 * h * \left(1 - \frac{h_1}{3 * h}\right)^2 \quad (3.9)$$

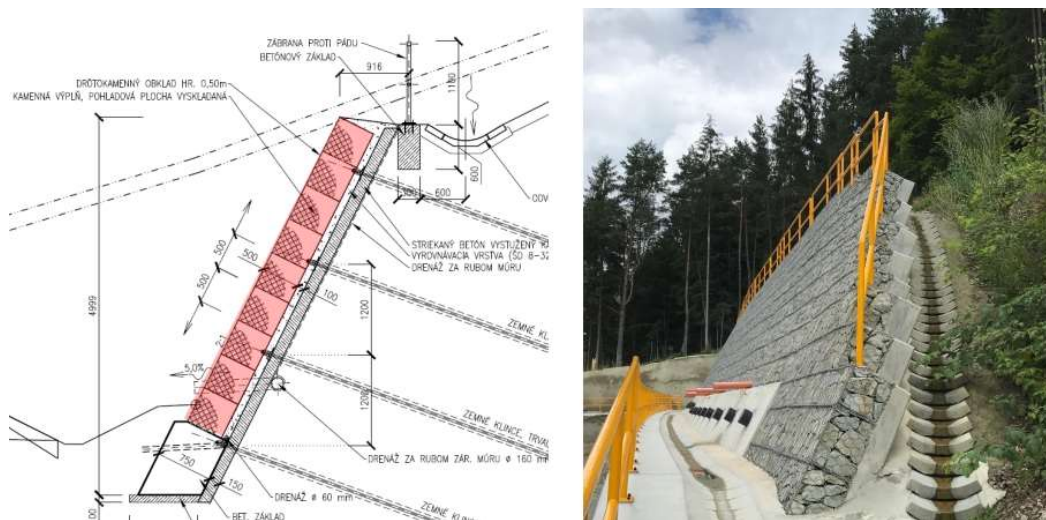
Bakalárska práca
Návrh zajištění břehového svahu



Obrázok 15: Tvar zárubného gravitačného múru z prostého betónu [9]

Obkladové múry sa zhotovujú z dôvodu ochrany vysokých skalných zárezov proti zvetrávaniu a odpadávaniu úlomkov skál. Nepredpokladáme pri nich, že budú prenášať zaťaženie od hornín a zemín. Z tohto dôvodu vyplýva ich ochranná a estetická funkcia. Sklon lícnej strany býva 5:1 až 10:1. V korune býva obkladový múr široký 0,4 m a v päte sa rozširuje o desatinu výšky podľa nasledujúceho vzťahu: [9]

$$b = 0,4 + 0,1 * h \quad (3.10)$$



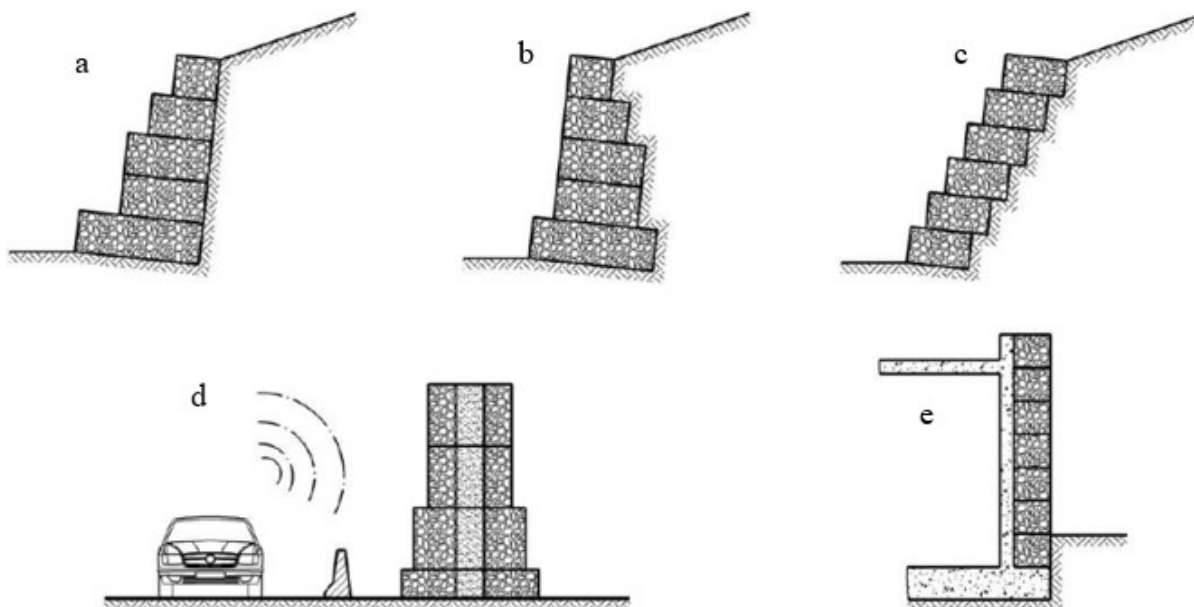
Obrázok 16: Obkladový múr z gabionu [24]

3.4. Gabiony

Gabion je drôtokamenný prvok v tvare kocky alebo kvádra vyrobený zo šesťhranného dvojzákrutového oceľového pletiva alebo zostavený z dielcov zo zvaranej oceľovej siete vyplnený prírodným alebo lomovým kameňom, poprípade vhodným recyklátom. Je zostavený z dna, bočných stien, veka a deliacich priečok spojených vo výrobe alebo zostavených na stavbe v jeden prvok. Súčasťou prefabrikovaných gabionov je úchyt slúžiaci na manipuláciu s košmi vhodnou mechanizáciou. [12]

Gabiony sa používajú na stavbu a sanáciu oporných a zárubných múrov, protihlukových stien, obkladových múrov, spevňovanie a ochranu zvetraných skalných svahov, a sú vhodné aj pre ochranu brehov vodných tokov pred eróziou. Gabiony sú priepustné konštrukcie, preto často plnia drenážnu funkciu v päte svahu. V prípade, že môže v rube konštrukcie dochádzať k vyplavovaniu jemnozrnej frakcie zo zeminu do gabionu, vkladá sa medzi gabion a zeminu filtračná vrstva, napríklad geotextília. [13] [12]

Gabiony so statickou funkciou (oporné a zárubné múry) sa navrhujú podľa zásad STN EN 1997-1. Gabiony s estetickou funkciou (obkladové múry) sa posudzujú spoločne s nosnou konštrukciou. Návrh gabionových oporných múrov musí spĺňať všetky kritériá gravitačných oporných múrov. [12]



Obrázok 17: Príklady použitia gabionov [12]

a) oporný múr s odskakovaným lícom, b) oporný múr s odskakovaným rubom, c) opevnenie svahu, d) protihluková stena, e) gabionový obklad betónovej konštrukcie

Medzi hlavné výhody gabionových konštrukcií patria:

- vysoká estetická úroveň
- možnosť realizácie v zimnom období (odpadajú mokré procesy)
- bezdilatačné riešenie
- využívanie miestnych materiálov, ľahká montáž
- konštrukcia bez zložitého debnenia a armovania
- zlepšenie stabilitných pomerov v čase
- priepustnosť konštrukcie
- možnosť zazelenania povrchu
- veľký odpor voči tlaku a ťahu, dobré reagovanie na zmenu síl
- schopnosť prenášať veľké deformácie bez straty únosnosti [9] [13]



Obrázok 18: Gabionový múr pozdĺž vodného toku [25]

Rozdelenie gabionov podľa tvaru a rozmeru:

- koše
- matrace (veľkoplošné kvádre s výškou menšou ako 500 mm)
- vrecia

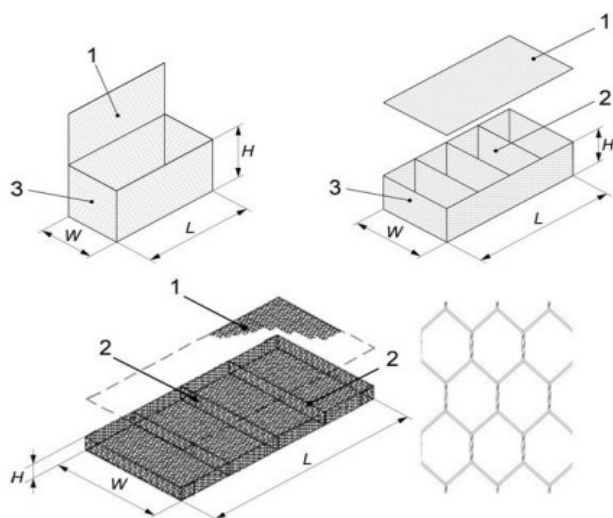
Založenie gabionovej konštrukcie sa realizuje na dobre zhutnenej a upravenej vrstve, tvoriacu základovú škáru, ktorá sa posudzuje rovnako ako plošný základ. Najlepšie je zakladanie gabionového múru na zhutnenej vrstve štrkopiesku dostatočnej mocnosti. Založenie gabionov môže byť aj na samostatnom betónovom základe alebo priamo na skalnom podloží.

Zloženie gabionových konštrukcií:

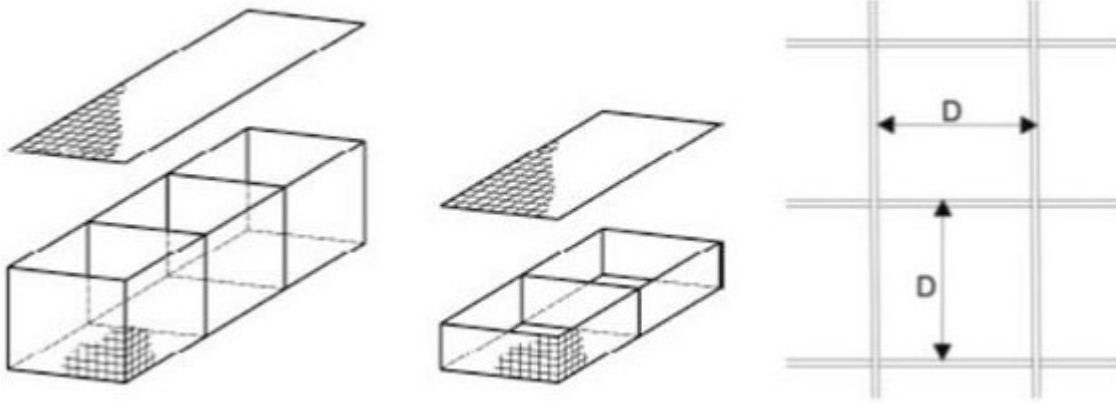
▪ Drôtené koše

Pri výrobe gabionov sa najčastejšie používajú dvojzákrutové pletené siete z oceľového drôtu $\varnothing 2,7$ a $3,9$ mm. Drôty sú hrubo pozinkované, s vrstvou galfanu alebo ochranného plastu. Typické rozmery oka siete sú 100×100 , 100×80 , 100×50 a 50×50 mm. Ťahová pevnosť siete je minimálne 40 kN/m . Drôty, spojovací materiál ako aj spony sú z pozinkovaného drôtu $\varnothing 3$ až 4 mm s pevnosťou v ťahu minimálne 380 MPa .

Druhým typom košov sú o niečo robustnejšie ale tvarovo stálejšie zvárané koše. Gabiony sa budujú na základe spracovaného projektu, ktorého súčasťou je aj plán kladenia košov. Gabionové koše sú vopred pripravené pre potrebné rozmery a ich skladbu, pričom sa spájajú na mieste. Z dôvodu zvýšenia ich tuhosti sa osádzajú sponami. Sieť je vyrobená z drôtu priemeru minimálne 3 mm s pevnosťou v ťahu minimálne 450 MPa . Pevnosť zvaru musí odpovedať minimálne 75% medznej pevnosti drôtu. [13] [12]



Obrázok 19: Gabiony zo šesťhrannej dvojzákrutovej oceľovej siete [12]



Obrázok 20: Príklad gabionov zo zvaranej siete [12]

▪ Výplňový materiál

Pohľadová strana konštrukcie sa vyplňa ručne. Používajú sa horninové materiály splňujúce estetické a technické požiadavky (trvanlivosť, nasiakavosť, odolnosť voči zvetrávaniu a rozpadu), zvyšná časť sa vyplňa strojne. Gabionový múr sa realizuje a vyplňa po jednotlivých vrstvách. Počas realizácie sa rovinnosť pohľadovej strany zabezpečí lešenárskymi rúrkami. Pre osadenie zábradlí a oplotenia sa vytvárajú kapsy alebo betónové rímasy. [13]

Všeobecné konštrukčné a technologické zásady:

- doporučená veľkosť jednotlivých kusov kameňa je 1,5 - 2,0 násobok priemeru oka siete, maximálne však 2,5 násobok
- množstvo kusov kameňa menších a väčších ako sú hranice zvolenej triedy zrnitosti nemá prekročiť 20 % celkovej hmotnosti kameňov v koši
- celkové množstvo kusov väčších ako 250 mm nemá prekročiť 5 % objemu gabionu
- kusy a úlomky menšie ako priemer oka siete sa môžu použiť na výplň medzier a zaklinovanie väčších kameňov vo vnútri gabionu (mimo líca)
- kameň na výplň gabionu nemá obsahovať žiadne cudzorodé látky, ktoré môžu spôsobiť porušenie diela alebo prostredia, v ktorom sú osadené

Kamenivo použité do gabionu, ktoré nemá statickú funkciu musí taktiež splňovať vyššie uvedené zásady. Za lícnou vrstvou kameňa je možné použiť aj iný materiál rovnakej zrnitosti, ako napríklad úlomky betónu, recyklovaný štrk a podobne.

3.5. Pilótové steny

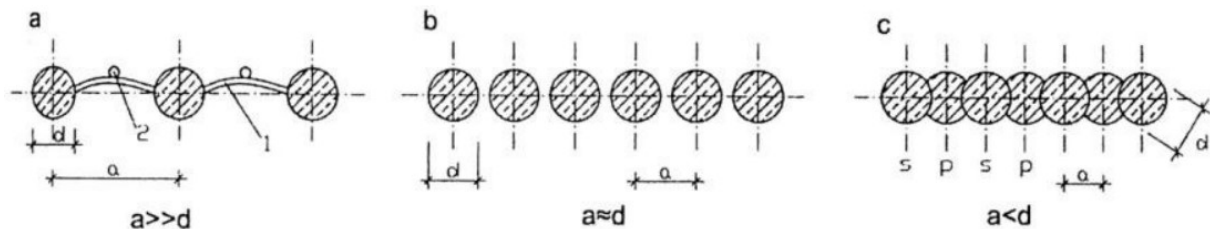
Pilótové steny predstavujú trvalú pažiacu konštrukciu ako aj konštrukciu zárubného múru. Sú tvorené spravidla jednou radou pravidelne usporiadaných vŕtaných pilót, ktoré sú namáhané na ohyb, respektíve mimostredný tlak. Zhotovujú sa z prostého alebo vystuženého betónu, poprípade ako drevené.

Výhody pilótočných múrov:

- vŕtanie je pomerne progresívna a účinná technológia
- pilóty dokážeme dobre tvarovo prispôsobiť požiadavkám stavby
- vrty v prípade potreby vieme pažiť oceľovými pažnicami, pričom odpadajú problémy s pažiacou suspenziou (doprava, uskladnenie, čistenie, likvidácia) ako je tomu pri podzemných stenách

V závislosti na vzájomnej osovej vzdialenosti pilót a na ich priemere rozoznávame:

- pilótové steny s veľkou osovou vzdialenosťou (osová vzdialenosť je väčšia ako priemer)
- pilótové steny tangenciálne (osová vzdialenosť je totožná ako ich priemer)
- pilótové steny prevŕtavané (osová vzdialenosť je menšia ako ich priemer)



Obrázok 23: Pilótové steny [7]

a) s veľkou osovou vzdialenosťou, b) tangenciálne, c) prevŕtavané

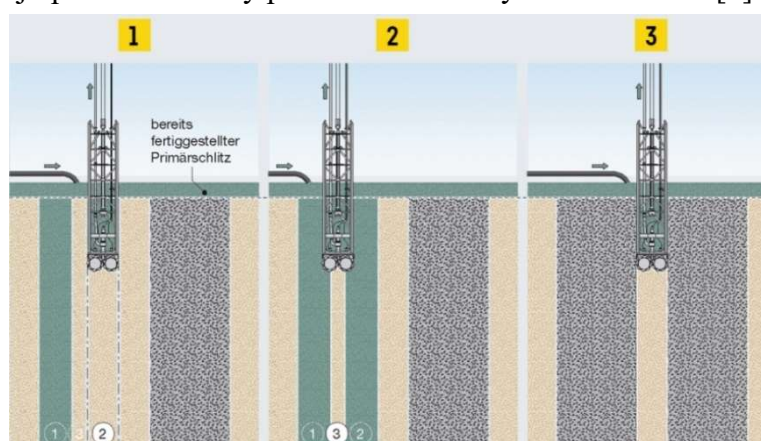
Pilótové steny s veľkou osovou vzdialenosťou sú typickou trvalou konštrukciou zárubných múrov v prípade železničných a cestných odrezov alebo rýh v súdržných zeminách, poprípade aj poloskalných horninách. Medzery medzi jednotlivými pilótami sa vyplňujú plochými klenbičkami z vystuženého striekaného betónu, pričom jeho rubová strana sa odvodňuje. V prípade veľkých výšok svahu alebo zlých geotechnických podmienok sa pilótové steny môžu realizovať ako kotvené. Pre ich kotvenie sa používajú železobetónové prevázky jednak ako trám v hlave pilót, ako aj predsadené pod hlavou pilót. Kotvy sa realizujú v jednej alebo viacerých úrovniach. [7]

3.6. Podzemné steny

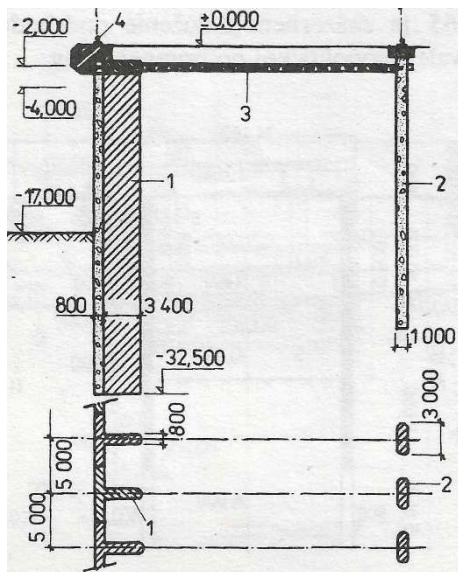
Podzemné steny, taktiež nazývané aj Milánske steny sú líniové konštrukcie pre trvalé zaistenie prevažne zvislých svahov a výkopov stavebných jám a rýh. Budujú sa za pomoci hydraulických drapákov alebo hydrofrézy. Dĺžka jednotlivých lamiel podzemnej steny je od 4 do 9 m a ich šírka je od 0,4 do 1,5 m. Medzi ich nevýhody patrí komplikované paženie za pomoci pažiacej suspenzie. Realizujú sa ako monolitické (na mieste betónované), kde výplňou je transportbetón, ktorý sa čerpá pod pažiacu suspenziu doplnený o železnú výstuž. Druhou variantou sú prefabrikované, kde ich výplň je tvorená vopred vyrobenými železobetónovými prefabrikátmi, ktoré sú osádzané do vyhlúbenej ryhy. [7] [9]

Z hľadiska účelu sa podzemné steny delia na:

- **Tesniace** podzemné steny majú vytvoriť súvislú stenu zabraňujúcu priesaku vody pod vodným dielom, prítoku vody do stavebnej jamy alebo infiltrácií vody z vodného toku do okolitého územia. Výplňový materiál tesniacej steny je tvorený ílocementovou suspenziou výnimočne aj prostým betónom.
- **Pažiace** podzemné steny navrhnuté čisto iba k pažiacim účelom (ako dočasné) sa v súčasnosti už takmer nepoužívajú, keďže ich železobetónová výplň je schopná dlhodobo odolávať zaťaženiu. Z tohto dôvodu používame hlavne steny konštrukčné. [7]
- **Konštrukčné** podzemné steny sa realizujú hlavne ako monolitické z dôvodu nižšej ceny a rýchlejšej montáže. Takto budované konštrukcie majú nerovný povrch, preto sa často požaduje úprava pohľadovej časti pomocou rotačných fréz alebo striekaného betónu. Konštrukčné podzemné steny sú vodotesné konštrukcie schopné odolávať hydrostatickému tlaku, preto je ich realizácia vhodná v blízkosti vodného toku. Často sa používajú podzemné steny pri stavbe nábrežných konštrukcií. [7] [8]



Obrázok 24: Postup budovania podzemnej steny [27]



Obrázok 25: Nábrežný múr z podzemnej steny [8]

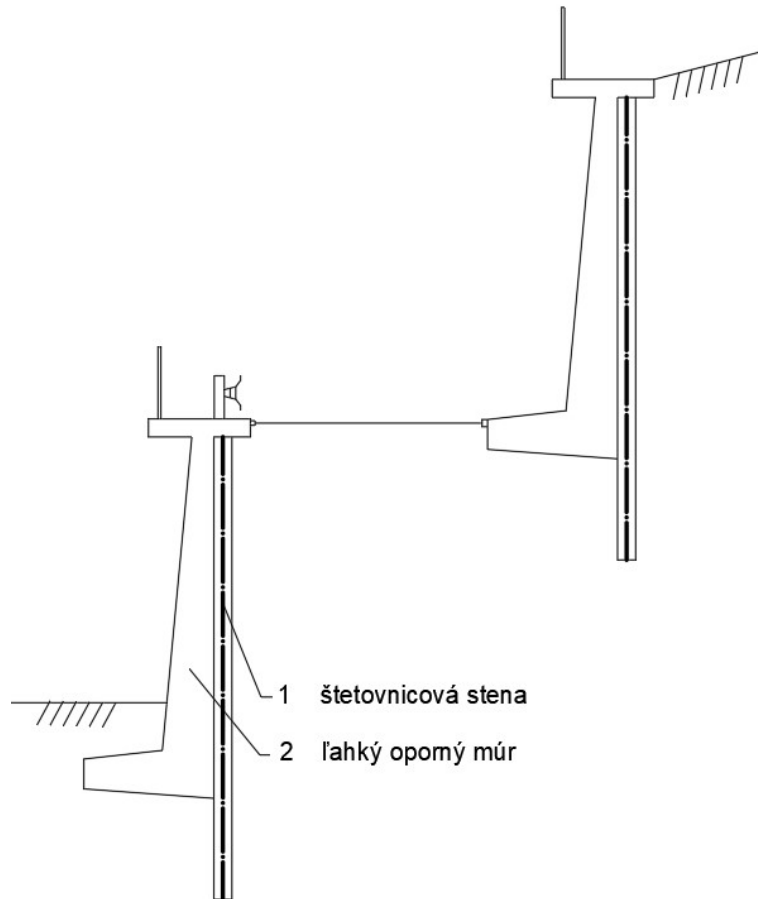
- 1) lamela podzemnej steny tvaru T, 2) kotevná lamela, 3) kotevný systém

3.7. Štetovnicové múry

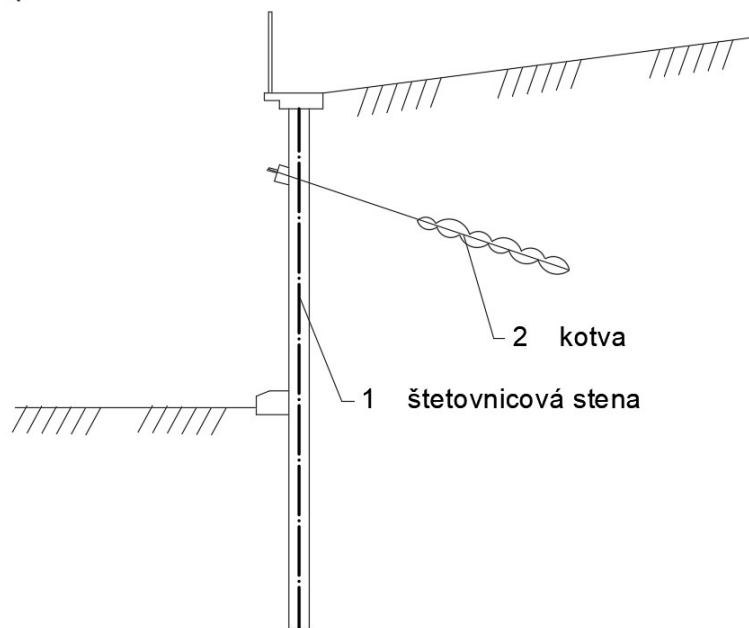
Osobitným typom oporného múru je múr tvorený oceľovou štetovnicou. V našich podmienkach sa používajú oceľové štetovnice typu Larssen spojené medzi sebou pomocou zámkov. Majú korýtkový tvar U a na oboch stranách sú vybavené zámkami. Hrúbka steny býva 8 až 18 mm. Štetovnicová stena sa buduje postupným zasúvaním zámku jednej štetovnice do druhej. Realizujú sa ako votknuté konštrukcie do podlahy a v prípade veľkých výšok svahu alebo zlej geológie sa dopĺňajú kotvením. [7] [8]

Štetovnica môže plniť funkciu oporného múru samostatne, kedy sa zemné tlaky zachytávajú dôkladne kotvenými ľahkými stenami. Druhou možnosťou je, keď štetovnica vytvára debnenie oporného múru na rubovej strane a dobetónovaním železobetónovej časti múru sa získa spriahnutá konštrukcia. Oporný múr tvorený kombináciou štetovnicovej steny a ľahkého železobetónového múru sa používa predovšetkým pri múroch u dopravných stavieb alebo nábrežných oporných múrov pozdĺž vodného toku.

Medzi hlavné výhody patrí hospodárnosť takto návrhnutých múrov. Veľkou nevýhodou je technológia realizácie pomocou baranenia alebo vibrobaranenia, keď pri realizácii vzniká veľký hluk a vibrácie. Ďalšou nevýhodou môže byť kamenivo a balvany veľkej frakcie, predovšetkým pri vodných tokoch, kde nie je možné nasadiť túto technológiu. [8]



Obrázok 26: Oporný múr vytvorený pomocou štetovnicovej steny [8]

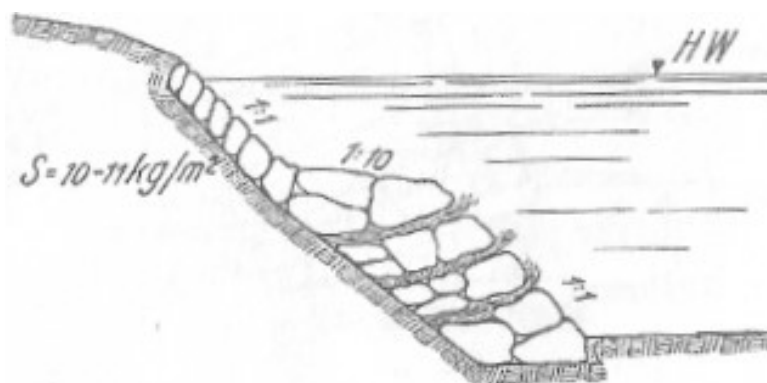


Obrázok 27: Oporný múr ako kotvená oceľová štetovnicová stena [8]

3.8. Biotechnické stabilizácie

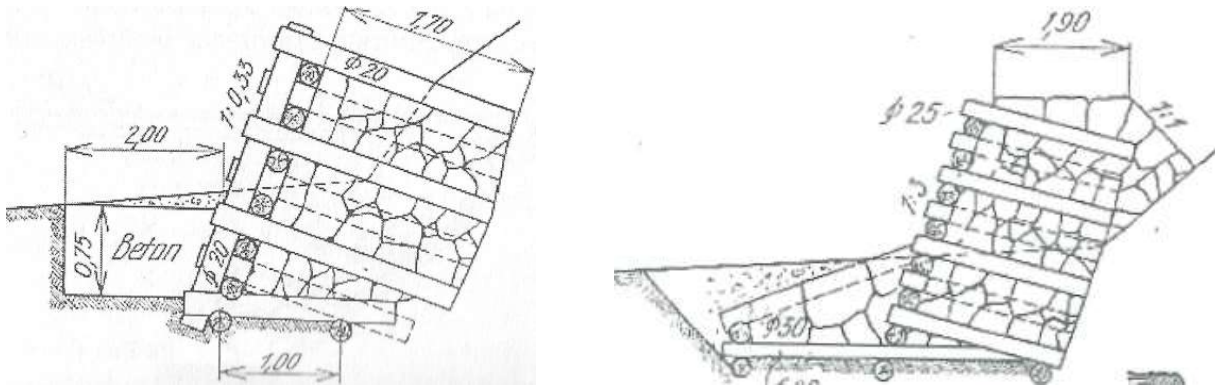
V súčasnej dobe sú biotechnické stabilizačné konštrukcie veľmi rozšírený typ zaistenia brehov. Ich uplatnenie je pomerne široké, predovšetkým ako stabilizácie brehov vodných tokov a nádrží v mestskom prostredí alebo úpravy brehov v chránených krajinných oblastiach. Využívajú sa taktiež pri revitalizácii tokov. Biotechnická stabilizácia využíva tradičné materiály ako kameň, štrk, drevo a taktiež biologické prvky ako sú sadenice vhodných drevín, vrbové prútie, rákosie a trávne zmesi.

Príklady možného použitia biotechnickej stabilizácie brehových svahov sú vyobrazené na nasledujúcich obrázkoch. Základom všetkých biotechnických stabilizačných konštrukcií je spolupôsobenie biologického a technického prvku, pričom biologický prvok nie je len estetickým doplnkom, ale tvorí plnohodnotnú súčasť stabilizačnej konštrukcie brehu.



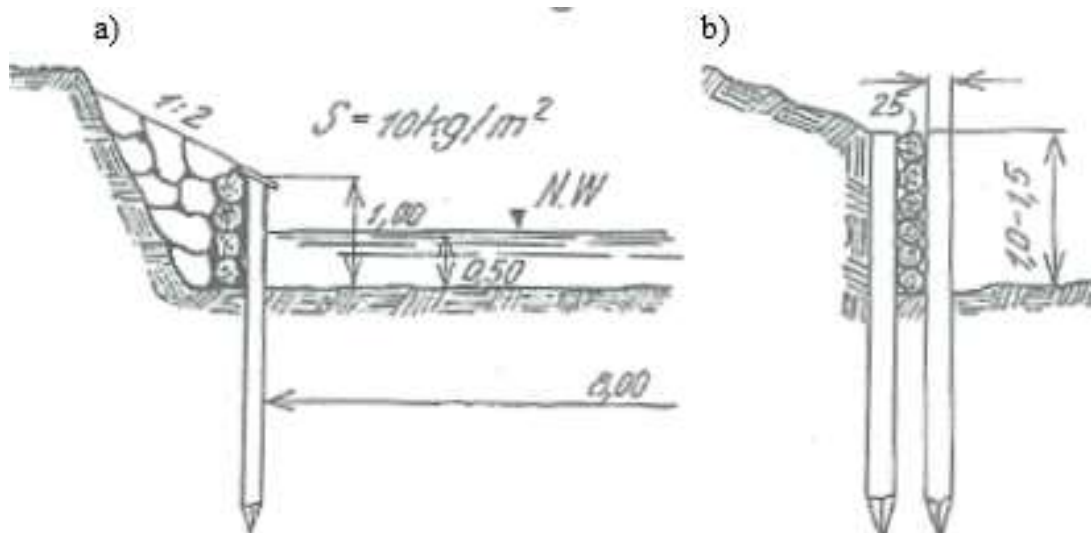
Obrázok 28: Kamenná rovnanina s vrbovými vetvičkami [14]

Obrázok 28: Vyskladané kamenivo na sucho, medzi ktoré sa vkladajú v niekoľkých radoch vrbové vetvičky tak, aby mierne vyčnievali spoza kameňov. Kamenivo ukladáme do predpokladanej maximálnej výšky dosahu vody vo vodnom toku. Vyššie po svahu prechádza rovnanina do kamennej dlažby ukladanej taktiež na sucho.



Obrázok 29: Hranica z guľatiny a lomového kameňa [14]

Obrázok 29: Pomerne masívna biotechnická stabilizácia tvorená pomocou hranice z guľatiny a následným presypaním lomovým kameňom. Takéto použitie je vhodné pri sanácií strmých a veľmi namáhaných brehových svahov.



Obrázok 30: Drevené pilóty pri zaistení brehu [14]

- Obrázok 30: a) Pilótovej rada tvorí oporu vodorovne uloženej guľatine, ktorá je zo strany svahu istená kamenným záhozom.
- b) Dve rady pilót zaisťujú stabilitu vodorovne uloženej guľatine. Priestor zo strany brehu je zasypaný miestnym materiálom. [14]



Obrázok 31: Opevnenie brehu kameňom [15]

Obrázok 31: Opevnenie brehového svahu pomocou lomového kameňa veľkej frakcie a protieróznej kokosovej siete.



Obrázok 32: Stabilizácia brehu guľatinou [15]

Obrázok 32: Stabilizácia brehového svahu pomocou horizontálnej a vertikálnej drevenej guľatiny dosypanej ku svahu kamenivom. [15]

4. Oporné konštrukcie – návrh a posúdenie

4.1. Posúdenie oporných múrov a gabionov

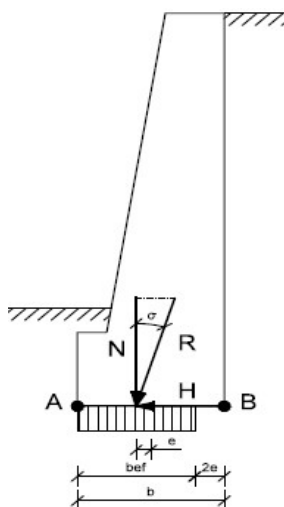
Pri návrhu opornej konštrukcie musíme prihliadať na všetky možné spôsoby porušenia, ktoré môžu nastať v dôsledku vonkajšieho zaťaženia. V prípade, ak nejaké kritérium nie je splnené, pristupujeme k opatreniam, vďaka ktorým dosiahneme požadovanú spoľahlivosť konštrukcie a jej najbližšieho okolia. Medzi najčastejšie opatrenie patrí úprava tvaru múru. Pri múroch a gabionov posudzujeme:

- Únosnosť základovej škáry

Na základovú škáru pôsobí výslednica síl od vlastnej tiaže konštrukcie a zemného tlaku. Výslednica síl pôsobí na základovú škáru excentricky, preto ju môžeme rozdeliť na horizontálnu a vertikálnu zložku. Obe zložky sa rovnomerne rozdelia na efektívnu šírku základovej škáry. Stabilitu základovej škáry posudzujeme ako základový pás na 1 bm podľa vzťahu:

$$\sigma = \frac{N}{b_{ef}} = \frac{N}{b - 2 * e} \leq R_d \quad (4.1)$$

- kde: N vertikálna zložka sily pôsobiaca na základovú škáru
b_{ef} efektívna šírka základovej škáry
b šírka základovej škáry
e excentricita
R_d výpočtová únosnosť základovej pôdy



Obrázok 33: Únosnosť základovej škáry [9]

▪ **Pootočení múru**

Ak za múrom do hĺbky rovnajúcej sa deformačnej zóne sa nachádza homogénne podložie, pootočenie múru spôsobené výslednicou síl pôsobiacej na konštrukciu bude podľa vzťahu:

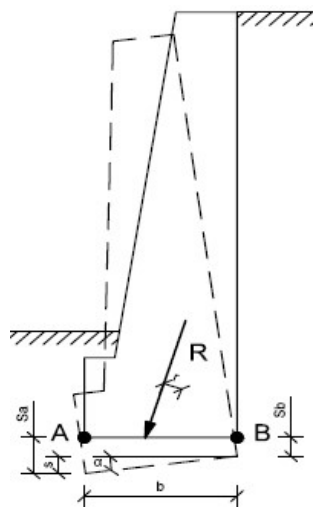
$$\tan \alpha = \frac{12 * M}{\pi * b^2 * E_{def}} \quad (4.2)$$

kde: M moment výslednice síl k ťažisku základovej škáry ($M = R * r$)
 b šírka základovej škáry
 E_{def} modul pretvárnosti zeminy

Takýto vzťah sa môže použiť pre výpočet pootočenia v prípade, ak došlo k ukončeniu sadania konštrukcie. Pootočenie konštrukcie umožňuje vznik aktívneho zemného tlaku. V prípade, keď sa oporná konštrukcia nachádza vo vrstevnatom prostredí, pootočenie múru sa určí z rozdielu sadania pod jednotlivými hranami podľa vzťahu:

$$\tan \alpha = \frac{s_A - s_B}{b} = \frac{\Delta s}{b} \quad (4.3)$$

kde: s_A sadnutie na prvom okraji
 s_B sadnutie na druhom okraji
 Δs rozdiel sadnutia
 b šírka základovej škáry



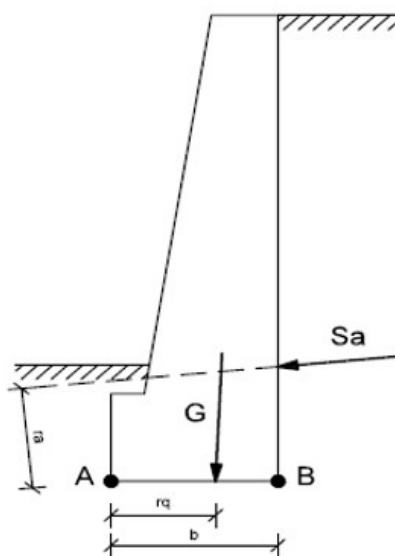
Obrázok 34: Pootočenie múru [9]

▪ Spoločnosť proti preklopeniu

Preklopenie oporného múru nastáva vtedy, keď výslednica síl zemného tlaku smeruje mimo základovú škáru. Posúdenie spoločnosti proti preklopeniu vyjadrujeme pomerom momentov pasívnych síl, ktoré zabraňujú preklopeniu, k momentom aktívnych síl, ktoré prispievajú k preklopeniu konštrukcie. Pomer medzi pasívnymi a aktívnymi silami sa určí zo vzťahu:

$$\gamma_n = \frac{G * r_g}{S_a * r_a} \quad (4.4)$$

- kde: G tiaž konštrukcie
r_g rameno tiaže konštrukcie k miestu otáčania
S_a výslednica síl aktívneho zemného tlaku
r_a rameno výslednice síl aktívneho zemného tlaku k miestu otáčania



Obrázok 35: Preklopenie múru [9]

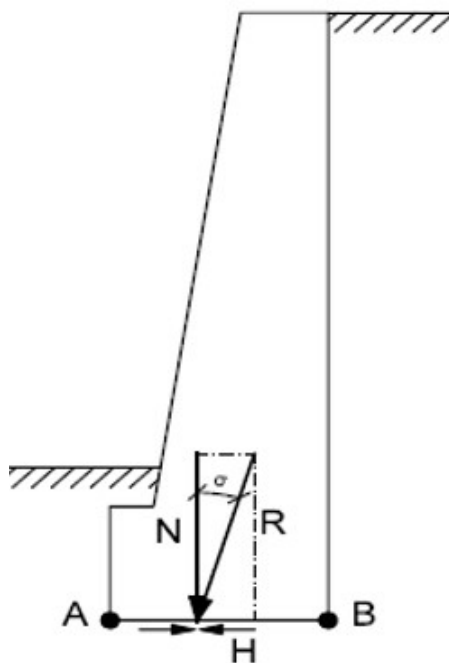
▪ Spoločnosť proti posunutiu

Posunutie múru v smere základovej škáry nastane vtedy, keď vodorovná zložka výslednice síl je väčšia ako trenie. V súdržných zeminách pôsobí proti posunutiu aj súdržnosť zeminy aktivovaná na ploche základovej škáry.

Pri výpočtoch neberieme do úvahy pasívny odpor zemin pôsobiaci na prednú časť základu. Sú však prípady, kedy môžeme uvažovať s pôsobením tlaku zemin na prednú časť základu. Veľkosť takéhoto tlaku sa pohybuje v rozmedzí od tlaku v kľude až po pasívny odpor zemin. Nevyhnutnou podmienkou je, aby počas celej životnosti ako aj rekonštrukcie oporného múru nedošlo o obnažení prednej časti základu. V prípade nesplnenia dostatočnej spoľahlivosti proti posunutiu, realizuje sa základová škára uklonená alebo zazubená. Spoľahlivosť proti posunutiu je daná vzťahom:

$$\gamma_n = \frac{N * \tan \varphi + c * b}{H} \quad (4.5)$$

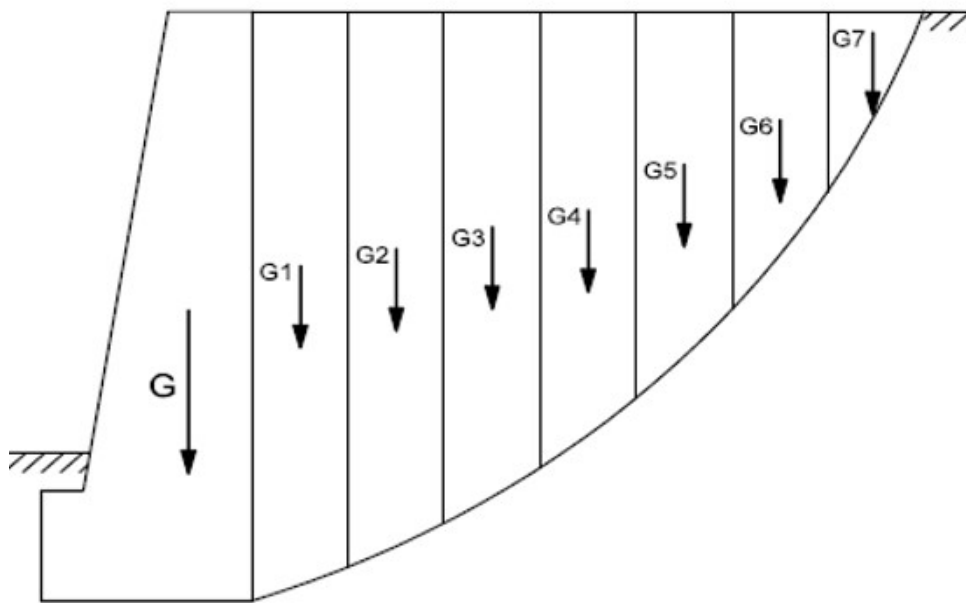
- kde: N normálová zložka výslednice síl R ($N = R * \cos \delta$)
H horizontálna zložka výslednice síl R ($H = R * \sin \delta$)
 δ odklon výslednice síl R od normály k základovej škáre
 φ uhol vnútorného trenia zemin v základovej škáre
c súdržnosť zemin v základovej škáre
b šírka základovej škáry



Obrázok 36: Posunutie múru [9]

▪ **Spoločnosť proti porušeniu zemného masívu**

K porušeniu stability zemného masívu môže dôjsť vtedy, keď dôjde k prekročeniu pevnosti zeminy na šmykovej ploche. Spoločnosť proti porušeniu zemného masívu sa zisťuje obdobne ako stabilita svahu. Pre výpočet sa využívajú napríklad klasické metódy ako sú Bishopova alebo Pettersonova prúžková metóda, na ktorých sú založené moderné výpočtové softwary. Stabilitu je nevyhnutné overiť v prípade zosuvného územia, kde sa predpokladá aktivácia zosuvu na predurčenej šmykovej ploche. [9]



Obrázok 37: Porušenie zemného masívu [9]

4.2. Zat'azenie oporných konštrukcií

Posúdenie navrhovaných oporných konštrukcií sa realizuje výhradne statickým výpočtom, pričom sa konštrukcia posudzuje, aby nedošlo k prekročeniu medzného stavu únosnosti a medzného stavu použiteľnosti. Pre statické posúdenie je potrebné vytvoriť výpočtový model – statickú schému pre výpočet. Do takto pripraveného modelu sa zavedie zat'azenie, ktoré je tvorené prevažne:

- zemnými tlakmi
- prírastkami zemných tlakov od stáleho a náhodilého zat'azenia
- vplyvmi podzemnej a voľnej vody
- ďalším vonkajším zat'azením

Podľa európskej normy 1997-1 sa zat'azenie delí podľa doby trvania a podľa zmien veľkostí, polohy alebo zmyslu na zat'azenie:

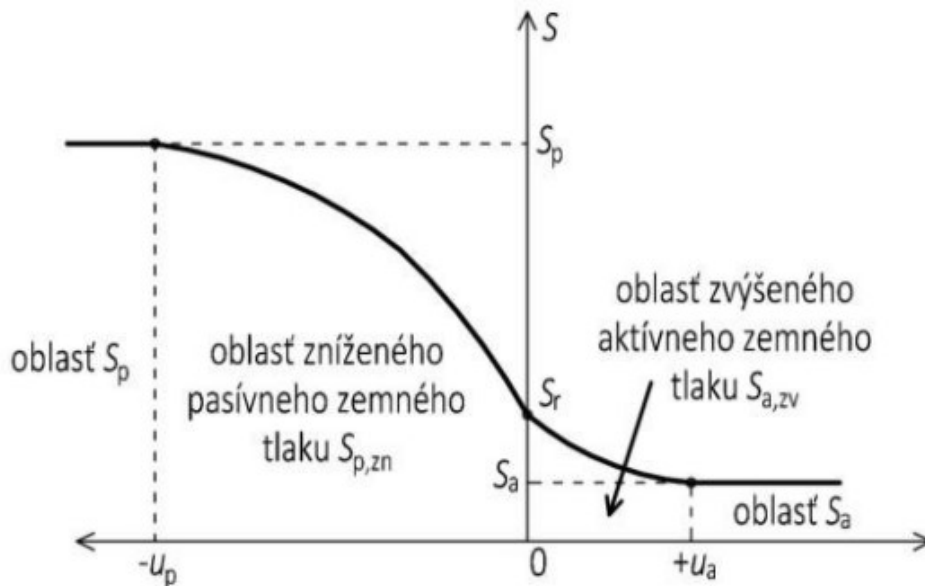
- **Stále**, kde do tohto zat'azenia uvažujeme s tiažou konštrukcie a všetkých jej trvalých častí a trvalo pôsobiacimi tlakmi zemín ako aj sypkých hmôt a kvapalín. Za stále zat'azenie považujeme aj sily od predpätia.
- **Náhodilé**, ktoré môžeme rozdeliť na dlhodobé, krátkodobé a mimoriadne. Do náhodilého zat'azenia zaraďujeme zat'azenie úžitné, klimatické, od vynúteného pretvorenia a montážne zat'azenie ako napríklad sily vznikajúce pri hutnení zeminy za rubom konštrukcie.

Z tohto vyplýva, že pri oporných konštrukciách bude zat'azenie zemným tlakom, hydrostatické a hydrodynamické zat'azenie ako aj samotná tiaž konštrukcie zat'azením stálym. Prírastky zemných tlakov napríklad od prit'azenia budú podľa svojho charakteru buď zat'azením stálym alebo náhodným. [7]

4.2.1. Zemné tlaky

Zemina pôsobí na opornú konštrukciu tlakom, ktorý konštrukciu pretvára a naopak pretvorená konštrukcia spätne ovplyvňuje veľkosť zemného tlaku ako aj jeho rozdelenie pozdĺž konštrukcie. Pretvorenie konštrukcie sa môže prejaviť pootočením okolo päty alebo horného bodu konštrukcie, posunutím vo vodorovnom smere poprípade kombináciou uvedených pretvorení.

Ak nedochádza k vzájomnému pohybu konštrukcie a zeminy tak na stavebnú konštrukciu pôsobí zemný tlak v kľude σ_r . Aktívny zemný tlak σ_a nastane, ak premiestnenie a pretvorenie konštrukcie je v smere od zeminy tak veľké, že dôjde k plnej mobilizácii šmykovej pevnosti na šmykovej ploche v zemi. Ak dôjde k pretvoreniu alebo posunu smerom do zeminy a plnej mobilizácii šmykovej pevnosti zeminy hovoríme o pasívnom zemnom tlaku σ_p . V prípade, ak nedôjde k plnej mobilizácii šmykovej pevnosti v zemi, hovoríme v závislosti na smere premiestnenia o zvýšenom aktívnom zemnom tlaku $\sigma_{a,zv}$ alebo o zníženom pasívnom zemnom tlaku $\sigma_{p,zn}$. [16]



Obrázok 38: Závislosť veľkosti zemného tlaku na deformácií konštrukcie [28]

▪ **Zemný tlak v kľude**

Vodorovné napätie σ_r pôsobiace na zvislý rub konštrukcie, ktorá sa nedeformuje sa stanoví podľa vzťahu:

$$\sigma_r = \sigma_z * K_r \quad (4.6)$$

kde: σ_z zvislé geostatické napätie v danej hĺbke
 K_r súčiniteľ zemného tlaku v kľude

Veľkosť súčiniteľu zemného tlaku v kľude K_r vyplýva z predpokladu základovej pôdy ako pružného polopriestoru z rozšíreného Hookova zákona:

$$K_r = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (4.7)$$

kde: ν Poissonovo číslo základovej pôdy

Pri praktických výpočtoch sa využíva predovšetkým empirický vzťah podľa Jákyho, ktorý je definovaný ako:

$$K_r = 1 - \sin \varphi_c \quad (4.8)$$

kde: φ_c náhradný uhol vnútorného trenia zeminy

Výslednica zemného tlaku v kľude S_r pôsobiaca na zvislý rub opornej konštrukcie zaťaženej na plnú výšku je daná vzťahom:

$$S_r = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * K_r \quad (4.9)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 h výška konštrukcie
 K_r súčiniteľ zemného tlaku v kľude

Táto sila pôsobí kolmo na zvislú rubovú stenu v ťažisku zaťažovacieho obrazca, jedná sa teda o vodorovné zaťaženie. [7]

▪ **Aktívny zemný tlak nesúdržnej zeminy**

Pri stanovení zemného tlaku sa podľa Coulomba predpokladá vznik rovinatej šmykovej plochy. Napätie pri aktívnom zemnom tlaku σ_a v danej hĺbke pôsobiace na rub konštrukcie je dané vzťahom:

$$\sigma_a = \sigma_z * K_a \quad (4.10)$$

kde: σ_z zvislé geostatické napätie v danej hĺbke
 K_a súčiniteľ aktívneho zemného tlaku

V prípade, ak je terén za rubom ľubovoľne uklonený ($\beta \neq 0$), rubová strana opornej konštrukcie nie je zvislá ($\alpha \neq 0$) a uvažujeme s trením medzi konštrukciou a zeminou ($\delta \neq 0$) tak súčiniteľ aktívneho zemného tlaku K_a má podobu:

$$K_a = \frac{\cos(\varphi - \alpha)^2}{\cos \alpha^2 * \cos(\alpha + \beta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) * \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) * \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (4.11)$$

kde: α sklon rubovej časti konštrukcie
 β sklon terénu
 δ sklon trenia medzi rubom konštrukcie a zeminou
 φ uhol vnútorného trenia zeminy

Ak je terén za rubom vodorovný ($\beta = 0$), oporná konštrukcia zvislá ($\alpha = 0$) a zanedbáme trenie medzi zeminou a rubom konštrukcie ($\delta = 0$), tak súčiniteľ aktívneho zemného tlaku K_a má podobu známeho vzorcu:

$$K_a = \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^2 \quad (4.12)$$

kde: φ uhol vnútorného trenia zeminy

Následne výslednica aktívneho zemného tlaku sa stanoví zo vzťahu:

$$S_a = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * K_a \quad (4.13)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 h výška konštrukcie
 K_a súčiniteľ aktívneho zemného tlaku

Uhol trenia medzi rubom konštrukcie a zeminou δ sa uvažuje podľa drsnosti steny a dosahuje hodnotu:

$$\delta = \frac{1}{3} * \varphi \text{ až } \frac{2}{3} * \varphi \quad (4.14)$$

kde: φ uhol vnútorného trenia zeminy

Aktívny zemný tlak súdržnej zeminy

Pri určení aktívneho zemného tlaku pri súdržných zeminách rozoznávame 3 typy jemnozrnných zemín. V prvom prípade sa jedná o nekonsolidované jemnozrnné zeminy plne nasýtené vodou, u ktorých konsolidácia nastane v dobe, keď zaťažujú konštrukciu, a u ktorých je šmyková pevnosť charakterizovaná totálnymi hodnotami: $\varphi_u = 0, c_u \neq 0$. V takomto prípade sa napätie pri aktívnom zemnom tlaku vypočíta ako:

$$\sigma_a = \gamma * z - 2 * c_u * \left(1 + \frac{a}{c_u}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.15)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 z hĺbka počítaného miesta od povrchu
 φ_u totálna hodnota uhla vnútorného trenia zeminy
 c_u totálna hodnota súdržnosti zeminy
 a priľnavosť zeminy ku konštrukciám

Daný vzorec platí iba v prípade hĺbky $z > h_{ca}$, pričom veľkosť náhradnej výšky sa vypočíta zo vzťahu (4.16). V prípade $z < h_{ca}$ je hodnota $\sigma_a = 0$.

$$h_{ca} = \frac{2 * c_u}{\gamma * \left(1 + \frac{a}{c_u}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4.16)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 c_u totálna hodnota súdržnosti zeminy
 a príľnavosť zeminy ku konštrukciám

Hodnota príľnavosti zeminy ku konštrukciám nadobúda hodnotu:

$$a = (0,2 - 0,8) * c_u \quad (4.17)$$

kde: c_u totálna hodnota súdržnosti zeminy

V druhom prípade sa jedná o normálne konsolidované jemnozrnné zeminy charakterizované efektívnymi hodnotami: $\varphi' \neq 0, c' \neq 0$. Aktívne napätie zemného tlaku sa vypočíta zo vzorca:

$$\sigma_a = \gamma * z * K_a - 2 * c' * K_a^{\frac{1}{2}} \quad (4.18)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 z hĺbka počítaného miesta od povrchu
 K_a súčiniteľ aktívneho zemného tlaku s uvažovaním φ'
 c' efektívna hodnota súdržnosti zeminy

Opäť daný vzorec platí iba v prípade hĺbky $z > h_{ca}$, pričom veľkosť udržiavacej výšky sa vypočíta z nasledujúceho vzťahu. V prípade $z < h_{ca}$ je hodnota $\sigma_a = 0$.

$$h_{ca} = \frac{2 * c'}{\gamma * \left(\frac{1}{K_a}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4.19)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 K_a súčiniteľ aktívneho zemného tlaku s uvažovaním φ'
 c' efektívna hodnota súdržnosti zeminy

V treťom prípade sa jedná o prekonsolidované jemnozrnné zeminy, ktoré pri poklesu napätosti strácajú svoju šmykovú pevnosť. V takomto prípade treba postupovať ako v druhom prípade a uvažovať s reziduálnymi hodnotami pevnostných parametrov c_r a φ_r . [7] [16]

▪ **Pasívny zemný tlak nesúdržnej zeminy**

Pri stanovení pasívneho zemného tlaku sa vychádza prevažne zo zakrivených šmykových plôch. Predpoklad rovinatej šmykovej plochy sa smie použiť u nesúdržných zeminách, pokiaľ trenie medzi zeminou a rubom konštrukcie sa smie zanedbať. Súčiniteľ pasívneho zemného tlaku K_p , ktorý vychádza zo všeobecného prípadu bude mať podobu:

$$K_a = \frac{\cos(\varphi + \alpha)^2}{\cos \alpha^2 * \cos(\alpha + \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta) * \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha + \delta) * \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (4.20)$$

kde: α sklon rubovej časti konštrukcie
 β sklon terénu
 δ sklon trenia medzi rubom konštrukcie a zeminou
 φ uhol vnútorného trenia zeminy

Ak je terén za rubom vodorovný ($\beta = 0$), oporná konštrukcia zvislá ($\alpha = 0$) a zanedbáme trenie medzi zeminou a rubom konštrukcie ($\delta = 0$), tak veľkosť pasívneho zemného tlaku σ_p a súčiniteľ pasívneho zemného tlaku K_p budú mať nasledujúcu podobu:

$$\sigma_p = \sigma_z * K_p \quad (4.21)$$

kde: σ_z zvislé geostatické napätie v danej hĺbke
 K_p súčiniteľ pasívneho zemného tlaku

$$K_p = \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)^2 \quad (4.22)$$

kde: φ uhol vnútorného trenia zeminy

Výslednica zaťaženia bude mať v takomto prípade podobu:

$$S_p = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * K_p \quad (4.23)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 h výška konštrukcie
 K_p súčiniteľ pasívneho zemného tlaku

▪ Pasívny zemný tlak súdržnej zeminy

Pri stanovení pasívneho tlaku v súdržnej zemine je potrebné vychádzať z predpokladu zakrivenej šmykovej plochy. U súdržných zeminách, ktorých pevnosť závisí na efektívnych parametroch c' a φ' sa pasívny tlak σ_p vypočíta zo vzorca:

$$\sigma_p = \sigma_z * K_p + 2 * c * \sqrt{K_p} \quad (4.24)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 c súdržnosť zeminy
 K_p súčiniteľ pasívneho zemného tlaku

Z predchádzajúceho vzťahu vyplýva, že súdržnosť zeminy zvyšuje hodnotu pasívneho odporu. V úrovni povrchu terénu vzniká odpor $2 * c * \sqrt{K_p}$, ktorý je rovnako veľký ako účinok myslenej vrstvy zeminy h_{cp} v úrovni terénu. Hodnota náhradnej výšky teda bude mať podobu:

$$h_{cp} = \frac{2 * c}{\gamma} * \sqrt{K_p} \quad (4.25)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 c súdržnosť zeminy
 K_p súčiniteľ pasívneho zemného tlaku

Po uplatnení doterajších poznatkov a predchádzajúcich vzťahov bude výsledný horizontálny odpor mať podobu: [9] [16]

$$S_p = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * K_p + 2 * c * h * \sqrt{K_p} \quad (4.26)$$

kde: γ objemová tiaž zeminy
 h výška konštrukcie
 K_p súčiniteľ pasívneho zemného tlaku
 c súdržnosť zeminy

4.2.2. Vplyv vody na konštrukciu

Účinky podzemnej vody sa na zaťaženie oporných konštrukcií prejavujú zmenou geotechnických vlastností základovej pôdy, hydrostatickým a hydrodynamickým tlakom. Objemová tiaž zeminy v prirodzenom stave sa môže pôsobením vody zmeniť u priepustných zeminách na objemovú tiaž zeminy pod vodou γ_{su} , alebo u nepriepustných zeminách na tiaž zeminy nasýtenej vodou γ_{sat} . [17] [18]

$$\gamma_{su} = (1 - n) * (\gamma_s - \gamma_w) \quad (4.27)$$

$$\gamma_{sat} = (1 - n) * \gamma_s + n * \gamma_w \quad (4.28)$$

kde: n pórovitosť zeminy
 γ_s špecifická tiaž zeminy
 γ_w tiaž vody

Hydrostatický tlak sa uplatňuje jednak pri priepustných tak aj nepriepustných zeminách, lebo nedokážeme vylúčiť vznik vodného stĺpca za rubom opornej konštrukcie. V prípade ak je konštrukcia votknutá do nepriepustného podložia, predpokladáme, že podzemná voda neprúdi pod konštrukciou a vzniká iba hydrostatický tlak.

V prípade konštrukcie votknutej do priepustnej základovej pôdy vzniká pod konštrukciou prúdenie, ktoré ovplyvňuje veľkosť hydrostatického tlaku a navyše zapríčiňuje vznik hydrodynamického tlaku. [17]

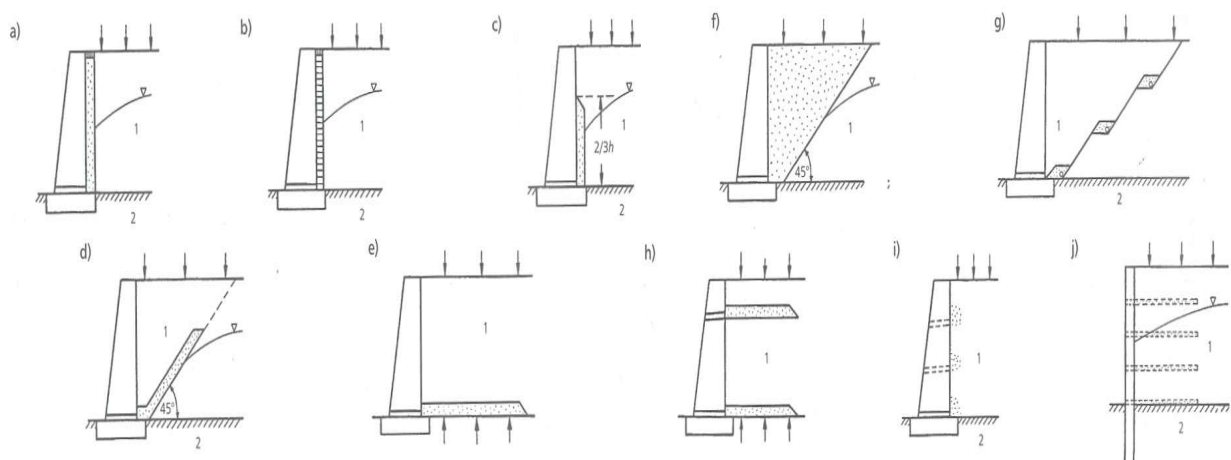
4.3. Odvodnenie

Metódy obecné používané na odvodnenie zemného a horninového masívu, alebo konštrukcií môžeme rozdeliť z hľadiska ich umiestnenia na povrchové a podpovrchové. Medzi povrchové odvodnenie môžeme zaradiť otvorené priekopy, trativody a odvodňovacie rebrá. K podpovrchovým úpravám zaradíme šikmé alebo horizontálne odvodňovacie vrty, studne, štrkopieskové pilóty, štôlne, prefabrikované geodrény, vákuové drény, štrkové steny, filtračné a ochranné geokompozity. Za pomoci týchto opatrení sa obmedzuje vztlak vody a zároveň sa zvyšuje pevnosť prostredia.

Medzi často používané opatrenia pri zaistení nestabilných svahov a zosuvov zaradíme hlbinné odvodnenie svahov. Hlbinné odvodnenie svahov je jedným z prvoradých opatrení pri stabilizácii zosuvov ako aj pri zabezpečení umelých svahov. Odvodnenie svahov sa realizuje metódami, medzi ktoré patria predovšetkým:

- systémy vrtaných studní a šácht
- horizontálne, zvislé a šikmé odvodňovacie vrty
- geodrény
- štrkové steny
- studne a studne s vákuovými drénmi [13]

Aby nedochádzalo k zaťažovaniu opornej konštrukcie tlakom vody, musí sa zabezpečiť dôkladné zachytávanie a odvedenie podzemnej ako aj presakujúcej povrchovej vody. Jednotlivé prípady odvodnenia svahu za opornou konštrukciou závisia predovšetkým od spôsobu zásypu za rubom konštrukcie a od druhu zemin. [9]



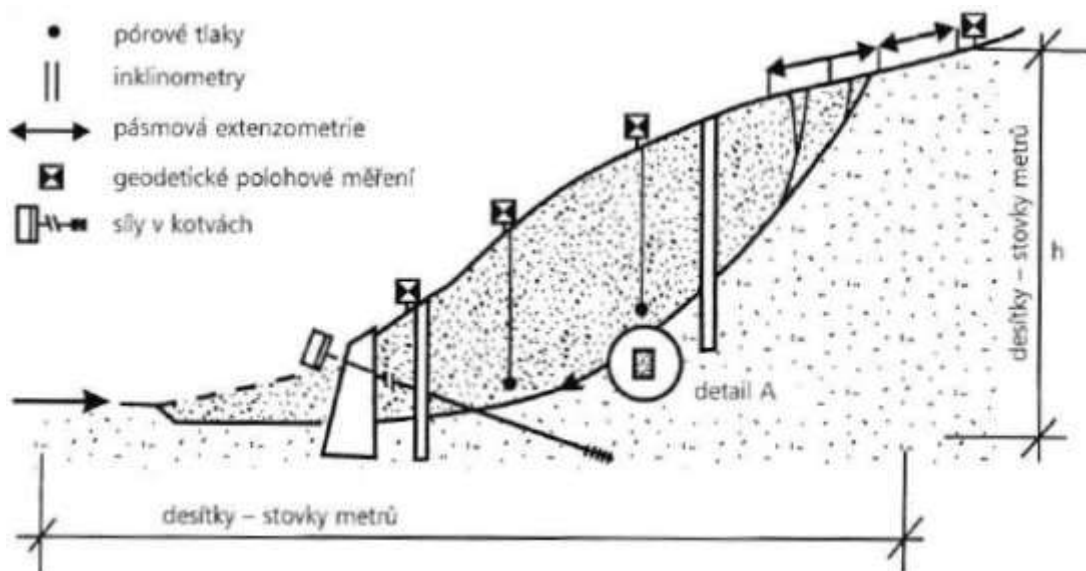
Obrázok 39: Oddrénovanie zemin za oporným múrom [9]

4.4. Geotechnický monitoring

Geotechnický monitoring, alebo sledovanie chovania a odozvy oporných konštrukcií je neodmysliteľnou súčasťou projektu na všetkých významnejších stavbách. Jedná sa o súbor činností, teda predovšetkým merania a vyhodnocovanie výsledkov merania za účelom overenia platnosti predpokladov a výsledkov statických výpočtov navrhnutých oporných konštrukcií, ako aj overenie predpokladaného správania konštrukcie z krátkodobého ale aj dlhodobého hľadiska. To je počas priebehu realizácie ako aj po dobu celej životnosti konštrukcie.

Monitoring oporných konštrukcií je predovšetkým v zložitých geotechnických podmienkach a u náročných stavieb v podstate jedinou možnosťou ako a včas získať o správaní konštrukcie vierohodné údaje. Monitoring je významným pilierom observačnej metódy, ktorá je jednou z doporučených metód Eurokódu 7 pre návrh a posúdenie geotechnických konštrukcií. [17]

Pri návrhu geotechnického monitoringu uvažujeme so sledovaním zemného alebo skalného svahu, ako aj so sledovaním opornej konštrukcie. Pri monitoringu používame predovšetkým inklinometre, extenzometre, dynamometre, konvergometre, náklonnometre, dilatometre, geodetické merania, hladinometry a piezometre. [3]



Obrázok 40: Monitoring oporného múru [3]

5. Návrh podľa EC 7

5.1. Geotechnické kategórie

Podľa európskej normy Eurokód 7 zaraďujeme geotechnické konštrukcie do troch geotechnických kategórií (GK). Podrobnejšie sa zdôrazňuje potreba zohľadniť riziká ohrozenia majetku a životov, na ktoré musí projekt reagovať. Požiadavky pri návrhu geotechnickej konštrukcie musia brať do úvahy:

- druh a rozmer konštrukcie vrátane všetkých jej prvkov
- zohľadnenie okolia (okolité stavby, doprava, inžinierske siete a podobne)
- základové pomery
- účinky vody
- seizmicitu
- vplyv okolitého prostredia (hydrogeologické pomery, poklesy povrchu, sezónne zmeny teploty a vlhkosti a podobne)

Posúdenie miery rizika spojeného s návrhom geotechnickej konštrukcie realizuje spracovateľ geotechnického návrhu v úzkej súčinnosti s investorom stavby a so spracovateľom geotechnického prieskumu. [7] [13]

Eurokód 7 sa zameriava predovšetkým na geotechnické konštrukcie, ktoré spadajú do 2. GK, pričom pre konštrukcie spadajúce do 1. GK umožňuje využitie doterajších skúseností. Pre konštrukcie spadajúce do 3. GK požiadavky prihliadajú k požiadavkám pre najnáročnejšie konštrukcie, ktoré avšak stále spadajú do 2. GK, pričom sa vyžaduje ich následné doplnenie. [19]

▪ **1. geotechnická kategória**

Do 1. geotechnickej kategórie sa zaraďujú iba malé a pomerne jednoduché konštrukcie, pri ktorých možno zabezpečiť, že základné požiadavky spoľahlivosti budú splnené na základe skúseností a kvalitatívneho vyhodnotenia geotechnického prieskumu. Taktiež sa predpokladá veľmi malé riziko ohrozenia majetku a životov. Postup navrhovania sa bude týkať jednoduchých základových pomerov a výkopov, ktoré nezasahujú pod úroveň HPV. Zaradiť sem môžeme napríklad plošné základy nenáročných stavieb v jednoduchých základových podmienkach, zemné konštrukcie dopravných stavieb obmedzené približne výškou do 3 m, oporné konštrukcie obmedzené približne výškou do 1,5 m a malé výkopy pre IS.

▪ **2. geotechnická kategória**

Pre 2. geotechnickú kategóriu sa vyžaduje kvantitatívne geotechnické údaje a spoľahlivé výpočty na preukázanie splnenia základných požiadaviek medzných stavov. Jedná sa o konštrukcie s bežným rizikom, kde základové pomery a zaťaženie nie sú nezvyčajné. Patria sem plošné základy nenáročných stavieb v zložitých základových podmienkach respektíve náročné základy v jednoduchých podmienkach, hlbinné základy, oporné konštrukcie vyššie ako 1,5 m, zemné konštrukcie dopravných stavieb vyššie ako 3 m, pažiacie konštrukcie spolu s kotviacimi prvkami okrem kotiev v mimoriadne zložitých podmienkach.

▪ **3. geotechnická kategória**

Do 3. geotechnickej kategórie zahrňujeme všetky konštrukcie, ktoré nespádajú do predchádzajúcich kategórií. Ide o konštrukcie s neobvykle veľkým rizikom, veľmi veľké alebo náročné konštrukcie v extrémnych podmienkach, konštrukcie s extrémnym zaťažením alebo vysokou mierou seizmicity. [7] [13]

5.2. Medzné stavy

V súlade s Eurokódom 7 vychádza taktiež návrh geotechnických konštrukcií z medzných stavov pri aplikácii súčiniteľov spoľahlivosti. Medzné stavy sú definované ako stavy, po ktorých prekročení už daná konštrukcia nespĺňa relevantné návrhové kritéria.

V stavebnej praxi rozoznávame 2 medzné stavy, a to medzný stav porušenia a medzný stav použiteľnosti. Môžeme konštatovať, že Eurokód 7 dáva väčší priestor medznému stavu porušenia, pričom podľa doterajších skúseností s geotechnickými konštrukciami je veľmi často rozhodujúci medzný stav použiteľnosti. [19]

Pre každú návrhovú situáciu, ktorá môže nastať je potrebné preukázať, že nedôjde k prekročeniu ani jedného medzného stavu. Táto základná návrhová požiadavka sa môže preukázať:

- výpočtami
- prijatím predpísaných opatrení
- experimentálnymi modelmi a zaťažovacími skúškami
- pozorovacou metódou

Vyššie uvedené metódy sa môžu použiť osobitne, ale aj vo vzájomnej kombinácii. Pri riešení konkrétnej opornej konštrukcie sa ukáže, ktorý medzný stav bude pre návrh rozhodujúci. [13]

5.2.1. Medzný stav porušenia

Medzi medzné stavy porušenia zaradujeme:

- (EQU)

Strata rovnováhy konštrukcie alebo základovej pôdy uvažovaných ako tuhé teleso, pri ktorých nie je pevnosť konštrukčného materiálu a základovej pôdy rozhodujúca pri poskytovaní odporu. Napríklad stabilita tuhého základu na skalnej hornine. Jedná sa o menej časté prípady.

▪ **(STR)**

Vnútorne porušenie či nadmerná deformácie konštrukcie alebo jej prvkov, pre ktoré je ich pevnosť rozhodujúca k posúdeniu odolnosti. Taktiež málo častý prípad mimoriadne únosnej základovej pôdy, kde o stabilite rozhoduje pevnosť konštrukcie. Napríklad pätky, pilóty alebo suterénne steny, v ktorých je pevnosť konštrukčného materiálu rozhodujúca z pohľadu odporu.

▪ **(GEO)**

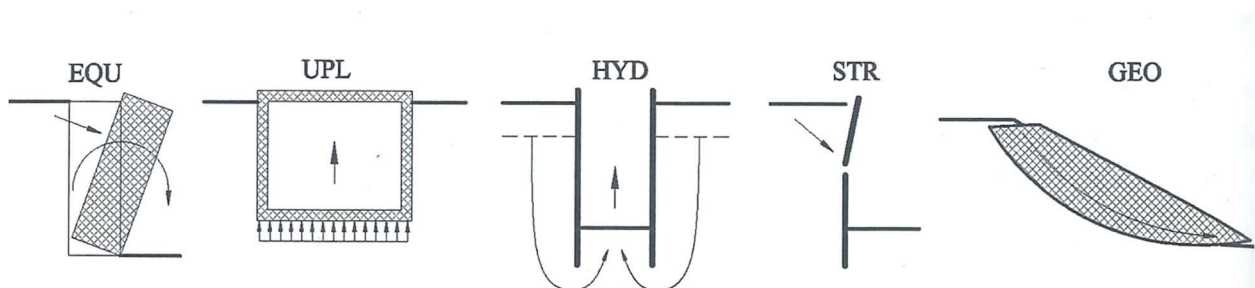
Porušenie alebo nadmerná deformácia základovej pôdy, pre ktorú je šmyková pevnosť základovej pôdy rozhodujúca pre posúdenie odolnosti. Jedná sa o najčastejší prípad pre posúdenie konštrukcie v zeminách a poloskalných horninách.

▪ **(UPL)**

Strata rovnováhy konštrukcie alebo základovej pôdy nastáva vplyvom vztlaku vody alebo iných zvislých zaťažení. Jedná sa o málo časté prípady ťahom zaťažovaných základov alebo prípady vztlaku, kde nedostatočne hmotná konštrukcia alebo základová škára je pod HPV a je vystavená vztlaku.

▪ **(HYD)**

Naddvihnutie dna, vnútorná erózia a sufózia v základovej pôde, spôsobená hydraulickým gradientom. Taktiež málo časté prípady, pre ktoré je rozhodujúci prúdový tlak podzemnej vody.



Obrázok 41: Medzný stav porušenia podľa EC 7 [19]

5.2.2. Medzný stav použiteľnosti

Overenie medzného stavu použiteľnosti pre podložie alebo pre konštrukčné úseky vyžaduje Eurokód 7 splnenie základnej podmienky vyjadrenej vzťahom:

$$E_d \leq C_d \quad (5.1)$$

kde: E_d návrhová hodnota účinku zaťaženia
 C_d limitná návrhová hodnota účinku zaťaženia

V princípe sa porovnáva hodnota sadania pre dané zaťaženie s limitným sadaním, a to ako z pohľadu absolútneho sadania, ako aj sadania nerovnomerného. Respektíve sa porovnáva hodnota spočítanej deformácie s prípustnou deformáciou. Hodnoty súčiniteľov pre medzný stav sa zvyčajne majú rovnať 1,0. Z tohto predpokladu vyplýva, že pri výpočte medzného stavu použiteľnosti sa počíta s charakteristickými hodnotami. [19]

5.3. Návrhové prístupy

Vzťahy uvedené v kapitole 5.2. sa pre najčastejšie prípady porušenia geotechnických konštrukcií (GEO a STR) stanovujú s využitím jedného z troch návrhových prístupov (NP).

Súbory súčiniteľov A sa vzťahujú pre zaťaženie alebo účinky zaťaženia, M súbory sa vzťahujú na parametre zemín a súbory R sa vzťahujú na odpory, pričom sa zohľadňuje typ geotechnickej konštrukcie. Príslušné súbory súčiniteľov A, M sú uvedené v tabuľke číslo 1 a 2. Súbor súčiniteľov R ako aj A, M sú uvedené v EC 7.

▪ Návrhový prístup 1

Návrhový prístup 1 sa delí na 2 kombinácie. Pre všetky prípady posúdenia geotechnických konštrukcií s výnimkou pilót a kotiev platia nasledujúce kombinácie.

- Kombinácia 1: A1 + M1 + R1
- Kombinácia 2: A2 + M2 + R1

V prípade osovo namáhaných pilót a kotiev sa uplatňujú nasledujúce kombinácie, pričom súbor M1 sa využíva pre výpočet únosnosti pilót a kotiev a súbor M2 pre výpočet nepriaznivo zaťažených pilót, vystavených napríklad negatívneho plášťového treniu alebo priečnemu zaťaženiu.

- Kombinácia 1: A1 + M1 + R1
- Kombinácia 2: A2 + (M1 alebo M2) + R4

Základným princípom kombinácie 1 je hľadanie rovnováhy pre zaťaženie 1,35 až 1,5 krát väčšie ako je zaťaženie charakteristické. Ostatné vstupné veličiny vychádzajú zo svojich charakteristických hodnôt. U kombinácie 2 sa vychádza z návrhových parametrov zemín a hornín pričom sa taktiež zväčšuje zaťaženie, avšak iba jeho zložka premenná, nepriaznivá.

▪ Návrhový prístup 2

Pre všetky prípady platí posúdenie podľa nasledujúcej kombinácie:

$$A1 + M1 + R2$$

Pri tomto prístupe sa súčinitele použijú na zaťaženie alebo na účinky zaťaženia a taktiež na odpor základovej pôdy. Parametre zemín zostávajú na charakteristických hodnotách.

▪ Návrhový prístup 3

Pre všetky prípady platí posúdenie podľa nasledujúcej kombinácie:

$$(A1 \text{ alebo } A2) + M2 + R3$$

Súbor A1 sa vzťahuje na konštrukčné zaťaženie a súbor A2 sa vzťahuje na geotechnické zaťaženie. Pri tomto návrhovom prístupe sa súčinitele použijú na zaťaženie alebo na účinky zaťaženia z konštrukcie a na šmykové parametre základovej pôdy.

Keďže hodnota R3 je pre základné úlohy ako sú návrhy plošných základov, oporných múrov alebo celkovej stability rovné 1,0 rovnako ako hodnoty R1, potom návrhový prístup 3 je obdobný s návrhovým prístupom 1 pre kombináciu 2. [7] [19]

Bakalárska práca
Návrh zajištění břehového svahu

Tabuľka 1: Súčinitele zaťaženia Y_F alebo účinkov zaťaženia Y_E [6]

Zaťaženie		Značka	Súbor	
			A1	A2
stále	nepriaznivé	γ_G	1,35	1,00
	priaznivé		1,00	1,00
premenné	nepriaznivé	γ_Q	1,5	1,30
	priaznivé		0	0

Tabuľka 2: Súčinitele parametrov základovej pôdy Y_M [6]

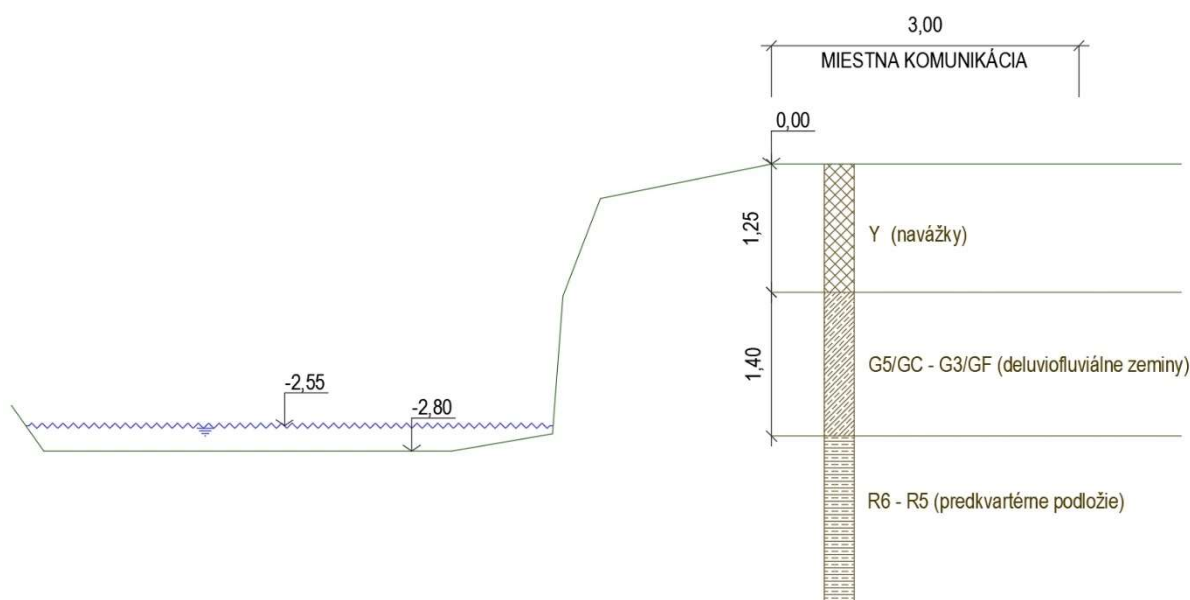
Parameter zeminy	Značka	Súbor	
		M1	M2
uhol vnútorného trenia ^{x)}	γ_φ	1,00	1,25
efektívna súdržnosť	γ_c	1,00	1,25
neodvodnená šmyková pevnosť	γ_{cu}	1,00	1,40
pevnosť v prostom tlaku	γ_{qu}	1,00	1,40
objemová tiaž	γ_γ	1,00	1,00
^{x)} tento súčiniteľ sa použije pre $\tan \varphi$			

6. Návrh zaistenia brehového svahu

V prípade, ak erózia svahu je natoľko silná, že môže spôsobiť svahové pohyby je potrebné pristúpiť k opatreniam, ktoré zvýšia stabilitu celého svahu. Takisto je tomu aj v tomto prípade, keď brehová erózia spôsobená účinkami vody je natoľko nebezpečná, že v krátkej budúcnosti môže dôjsť k strate stability svahu a poškodeniu priľahlej miestnej komunikácie. Z tohto dôvodu je potrebné navrhnuť novú opornú konštrukciu, ktorá zamedzí týmto nežiadúcim účinkom.

6.1. Popis prostredia

V bezprostrednej blízkosti brehu bol realizovaný IG vrt, ktorým sa stanovili parametre základovej pôdy ako aj mocnosti jednotlivých vrstiev. Daným miestom v okolí svahu preteká miestny potok, pričom hladina vody je pri bežnom prietoku na úrovni 2,55 m pod niveletou miestnej komunikácie a výška vody dosahuje hodnotu 25 cm. Vrchnú časť geologického profilu tvoria pod asfaltovým povrchom komunikácie antropogénne navážky o mocnosti 1,25 m. Ďalšiu vrstvu tvoria stredne uľahlé štrky ílované až štrky s prímiesou jemnozrnnej zeminy o mocnosti zhruba 1,4 m. Následnú vrstvu tvoria v pripovrchovej zóne väčšinou rozložené až celkom zvetralé ílovce a prachovce triedy R6-R5. So zvyšujúcou sa hĺbkou budú postupne prevládať horniny triedy R4. [20]



Obrázok 42: Stávajúci stav svahu

6.2. Návrh v programe GEO5

Samotný výpočet jednotlivých variant oporných konštrukcií bol realizovaný v geotechnickom programe GEO5 od českej spoločnosti Fine spol. s r.o.

Pri výpočte boli použité moduly gravitačná stena a gabion, pričom pri oboch moduloch prebieha výpočet na základe silovej metódy. Treťou a zároveň poslednou variantou návrhu je monolitická železobetónová stena votknutá do podlažia pomocou zápor z HEB profilov. Tento výpočet prebiehal v module paženie – posudok, ktorý je založený na metóde závislých tlakov. Výhoda tejto metódy oproti silovej metóde je, že dokážeme vypočítať predpokladanú hodnotu deformácií. Každá zvolená konštrukcia je počítaná na 1 bm dĺžky.

Návrh je realizovaný podľa zásad EC 7. Pri výpočtoch všetkých konštrukcií zaistenia brehového svahu bol zvolený NP 2, pri ktorom je redukované zaťaženie a odpor zeminy. Posúdenie únosnosti základovej škáry gravitačného múru ako aj gabionu bolo realizované v module päťka a taktiež zvolený NP 2. Celková stabilita svahu bola posudzovaná pre všetky návrhy podľa NP 3, kde sa redukujú zaťaženia a šmykové parametre základovej pôdy.

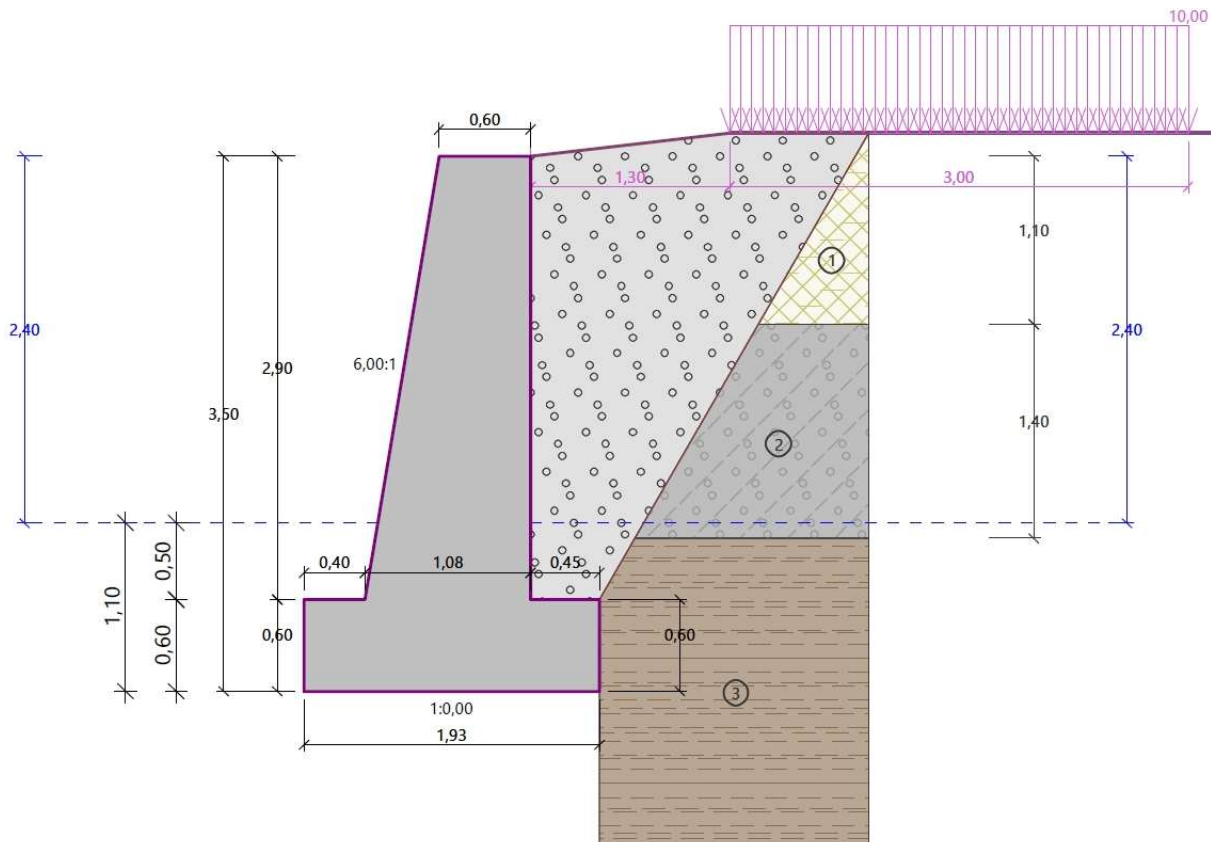
Keďže v blízkosti svahu sa nachádza miestna komunikácia, vo výpočtoch sa uvažuje s premenným pásovým zaťažením od dopravy o šírke 3 m a hodnote 10 kN/m. Vzdialenosť zaťaženia od hrany konštrukcie je premenná a závisí na geometrickom usporiadaní každej konštrukcie.

Výpočet stability svahu bol realizovaný Bishopovou metódou s optimalizáciou šmykovej plochy pre zistenie jej najkritickejšej polohy a polomeru. Pri výpočte stability svahu sa uvažuje s dvoma fázami výpočtu. V prvej fáze je uvažované s bežnou hladinou vody v rieke a v druhej fáze sa uvažuje so stavom počas záplav, pričom hladina vody vystúpi až o 1,6 m oproti bežnej hladine a následne dôjde k prudkému poklesu hladiny vody na pôvodnú úroveň. Z tohto dôvodu sa jedná o mimoriadnu návrhovú situáciu, pri ktorej sú všetky súčinitele rovné 1,0. Všetky zvyšné posúdenia vychádzajú z trvalej návrhovej situácie. Výpočet stability svahu je realizovaný podľa NP 3.

6.3. Jednotlivé varianty zaistenia brehového svahu

6.3.1. Gravitačný múr

Geometria gravitačného múru je vyobrazená na nasledujúcom obrázku. Šírka múru v korune je 0,6 m. Výška múru po hornú časť základu dosahuje hodnotu 2,9 m. Pohľadová strana je v sklone 6:1 a rubová strana je zvislá. Šírka vyloženia základu vľavo je 0,4 m a vyloženie vpravo 0,45 m, pričom samotná výška základu je 0,6 m. Celková šírka základu je 1,93 m, pričom základová škára je vodorovná a umiestnená 3,65 m pod niveletou miestnej komunikácie.



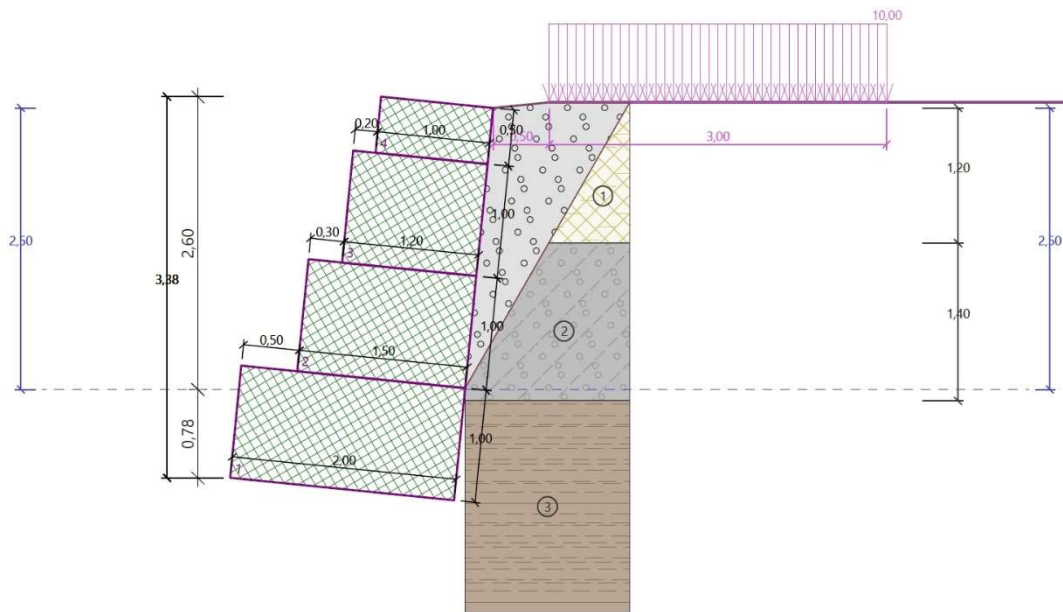
Obrázok 43: Navrhnutý gravitačný múr

Za konštrukciou je navrhnutý štrkový zásyp, ktorý začína nad základom a má sklon 60° . Terén za konštrukciou má prevýšenie 0,15 m na dĺžke 1,3 m. Taktiež premenné priťaženie od vozidiel je vo vzdialenosti 1,3 m od hrany konštrukcie. S odporom na líci konštrukcie sa neuvažuje, keďže nie je možné garantovať takýto odpor zeminu počas celej životnosti stavby.

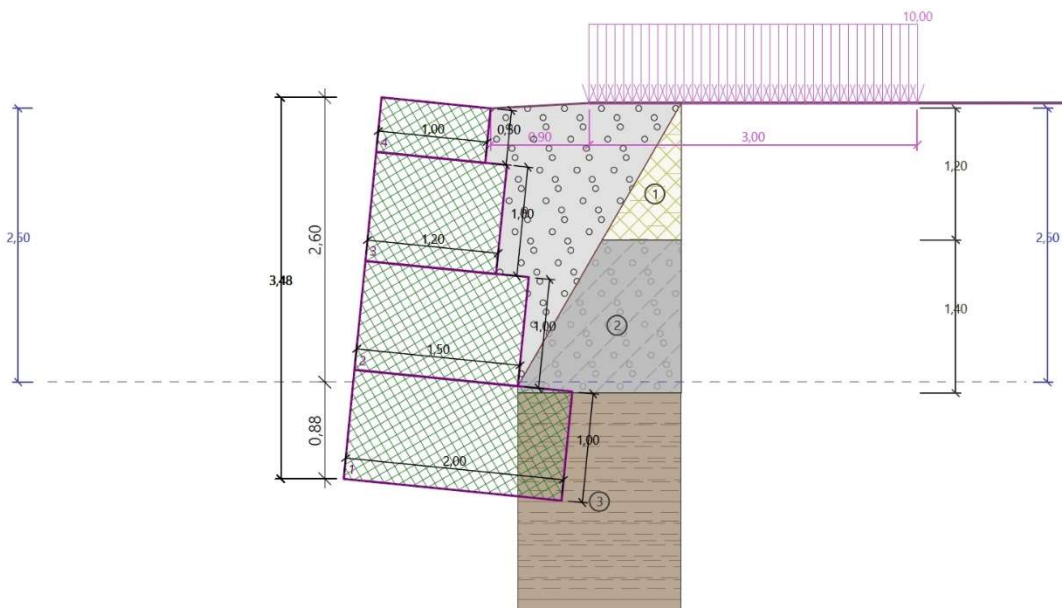
Samotný materiál konštrukcie gravitačného múru je navrhnutý z monolitického betónu triedy C 25/30. Z dôvodu vykonzolovania základu je uvažované s výstužou základu pri dolnom povrchu. Výstuž základu predstavuje 5 kusov profilu 14 mm z betonárskej výstuže B500B. Krytie výstuže je 40 mm.

6.3.2. Gabionový múr

V prípade gabionového múru boli navrhnuté 2 varianty, ktoré boli následné porovnané medzi sebou. Rozdiel technického riešenia spočíva v zarovnaní strán gabionového múru. V prvej variante sú zarovnané gabionové koše smerom k rubovej strane, pričom pri druhej variante sú koše zarovnané na pohľadovej strane. Z dôvodu rozdielnej geometrie je taktiež rozdielna vzdialenosť hrany konštrukcie od príľahlej komunikácie. Zvyšné parametre ako aj veľkosti jednotlivých gabionových košov ostali nezmenené. Geometria oboch návrhov je zobrazená na nasledujúcich obrázkoch



Obrázok 44: Navrhnutý gabionový múr - zarovnaná rubová strana



Obrázok 45: Navrhnutý gabionový múr - zarovnaná pohľadová strana

Bakalárska práca
Návrh zajištění břehového svahu

V oboch prípadoch je z dôvodu zvýšenia odporu voči horizontálnemu posunutiu múru navrhnutá zošíkmená základová škára. Uklonenie gabionového múru od horizontály predstavuje $5,7^\circ$, čo odpovedá hodnote 10 %. Rozmery gabionových košov sú navrhnuté v rozmerovom štandarde od spoločnosti ALGON, a.s. [21], a sú zobrazené nižšie v tabuľke.

Tabuľka 3: Rozmery gabionových košov

Poradie koša (vzostupne)	Zarovnaná rubová strana			Zarovnaná pohľadová strana		
	Rozmery [m]			Rozmery [m]		
	šírka	výška	odskok	šírka	výška	odskok
1	2,0	1,0	-	2,0	1,0	-
2	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	0,0
3	1,2	1,0	0,3	1,2	1,0	0,0
4	1,0	0,5	0,2	1,0	0,5	0,0

Materiál gabionového koša sa skladal zo samotnej zvaranej siete pevnosti $R_t = 40 \text{ kN/m}$ a únosnosťou čelného spoja $R_s = 40 \text{ kN/m}$. Vzďialenosť priečnych zvislých sietí je 1 m. Ako výplň gabionu bol zvolený štrkový zásyp o objemovej tiaži $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ a uhlu vnútorného trenia $\varphi = 30^\circ$. Za konštrukciou je navrhnutý štrkový zásyp, ktorý začína nad prvým košom a má sklon 60° . Pri návrhu taktiež nie je uvažované s odporom na líci konštrukcie.

Porovnanie oboch variant gabionu bolo realizované z hľadiska posúdenia voči preklopeniu a posunutiu, únosnosti základy, dimenzovaní gabionových košov a celkovej stability svahu. Výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 4: Porovnanie oboch variant

		Zarovnaná rubová strana	Zarovnaná pohľadová strana
		Využitie [%]	
Posúdenie	Preklopenie	71,0	59,9
	Posunutie	78,8	58,2
Únosnosť	Zvislá únosnosť	62,3	69,3
	Vodorovná únosnosť	78,2	57,6
	Sadnutie	0,2	0,3
Dimenzovanie	Preklopenie	55,7	48,8
	Posunutie	74,9	59,4
	Bočný tlak	10,0	50,5
	špára medzi blokmi	10,0	50,5
Stabilita	Stabilita	69,5	67,7
	Stabilita - prutký pokles HPv	58,1	56,7

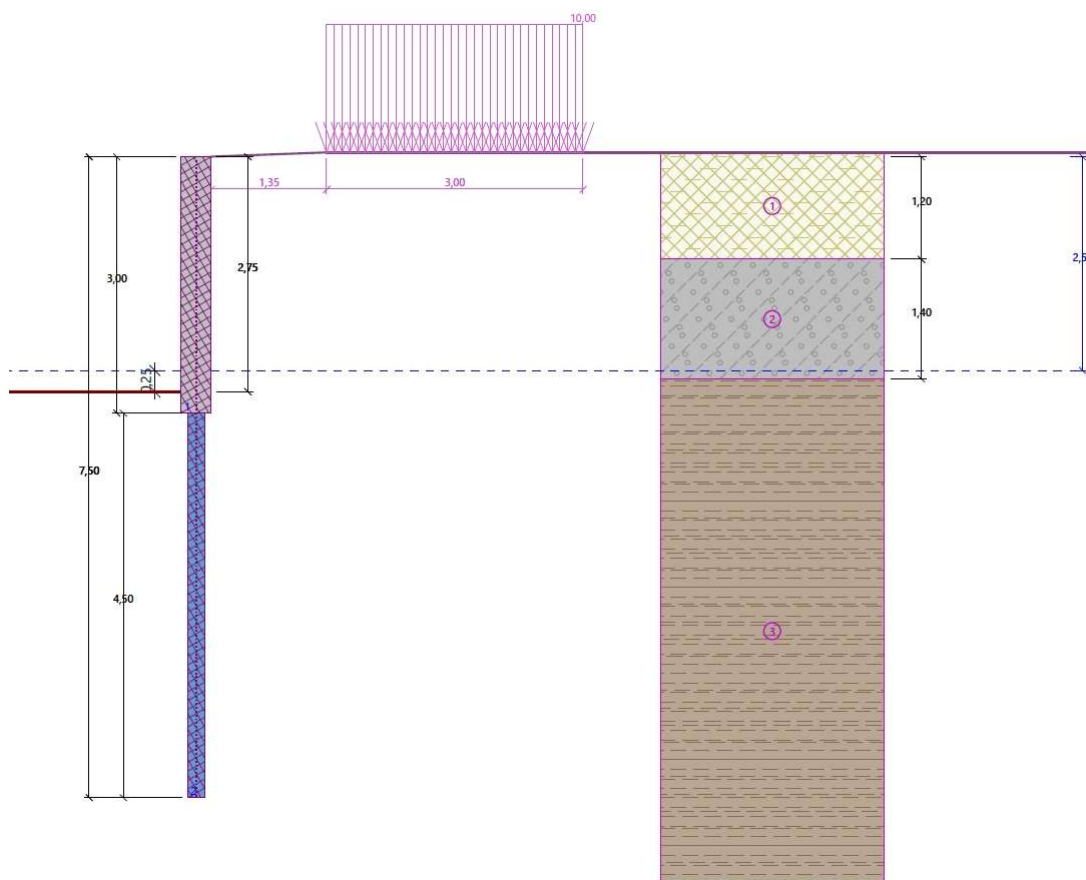
Z uvedenej tabuľky vyplýva, že gabionový múr so zarovnanou pohľadovou stranou je výhodnejšia varianta oproti múru so zarovnanou rubovou stranou. Z tohto dôvodu táto varianta bude posudzovaná pri celkovom vyhodnotení jednotlivých variant zaistenia břehového svahu.

6.3.3. Monolitická železobetonová záporová stena

Ako tretia a zároveň aj posledná varianta zaistenia brehového svahu bola zvolená kombinovaná konštrukcia, kde vo vrchnej časti je monolitická železobetonová stena hrúbky 0,35 m a výšky 3 m. Monolitická stena je z betónu triedy C 25/30 a vystužená pri oboch povrchoch betonárskou výstužou triedy B500B. Krytie výstuže je 40 mm. Táto časť konštrukcie má zároveň aj pohľadovú funkciu.

Keďže pri realizácii by bolo náročné vybudovať monolitickú stenu na potrebnú dĺžku z dôvodu skalného podložia, je vrchná monolitická stena založená a votknutá do HEB profiloch. Priemer vývrtu pre HEB záporny je 0,3 m a osová vzdialenosť 0,6 m, pričom dĺžka je 4,5 m. Záporny sú navrhnuté z valcovaného profilu HEB 200 triedy S 275.

Priťaženie od vozidiel je vzdialené 1,35 m od hrany konštrukcie. Celá geometria konštrukcie je znázornená na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 46: Navrhnutá monolitická železobetonová záporová stena

6.4. Porovnanie jednotlivých návrhov

Porovnanie jednotlivých konštrukcií zaistenia brehového svahu je realizované podľa rôznych kritérií. Pri každom kritérií je každá konštrukcia ohodnotená bodmi, pričom menšie číslo znázorňuje výhodnejšiu konštrukciu v danej kategórii.

Keďže v rámci návrhu je aj monolitická stena, ktorá je z pohľadu posúdenia dost' rozdielna oproti zvyšným dvom variantom, je porovnanie jednotlivých návrhov rozdelené do dvoch kategórií.

V prvej kategórii sa jedná o kritéria, v ktorých je možné navzájom porovnať všetky tri návrhy. Porovnané budú na základe týchto kritérií:

- potrebný objem konštrukcie
- stabilita svahu
- stabilita svahu (mimoriadny stav)

V druhej kategórii bude posudzovaný iba gravitačný múr spolu s gabionovým múrom, keďže sú to podobné konštrukcie z pohľadu posúdenia. Preto sú hodnotené na základe ďalších kritérií, ktoré sú:

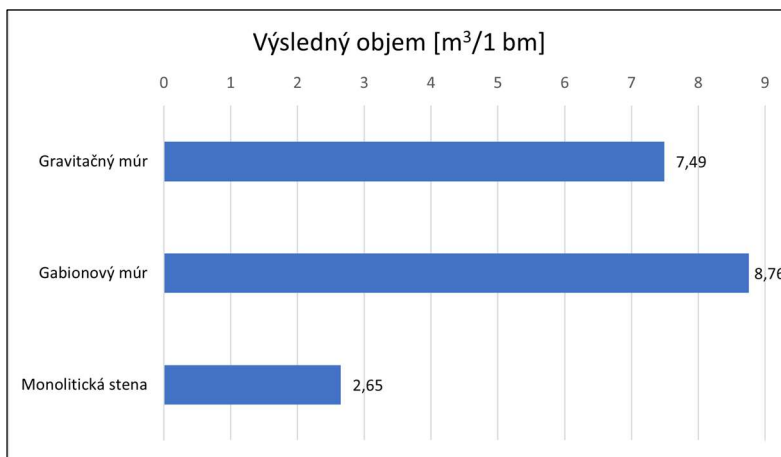
- posúdenie na preklopenie
- posúdenie na posunutie
- únosnosť základovej škáry

▪ Potřebný objem konštrukcie

Potřebný objem pre vybudovanie konštrukcie je stanovený ako súčet samotnej konštrukcie a štrkového zásypu/odkopu. Objem je počítaný na 1 bm konštrukcie. Objem konštrukcie je prevzatý z výstupov programu GEO5, objem štrkového zásypu bol následne ručne dopočítaný. V prípade monolitckej steny bolo vo výpočte uvažované namiesto štrkového zásypu s odkopaním zeminy z pohľadovej strany. Výsledky sú znázornené v nasledujúcej tabuľke a grafe.

Tabuľka 5: Potřebný objem konštrukcie

Konštrukcia	Objem konštrukcie [m ³ /1 bm]	Objem zásypu a odkopu [m ³ /1 bm]	Výsledný objem [m ³ /1 bm]	Poradie
Gravitačný múr	3,60	3,89	7,49	2
Gabionový múr	5,20	3,56	8,76	3
Monolitická stena	1,7	0,95	2,65	1



Graf 1: Potřebný objem konštrukcie

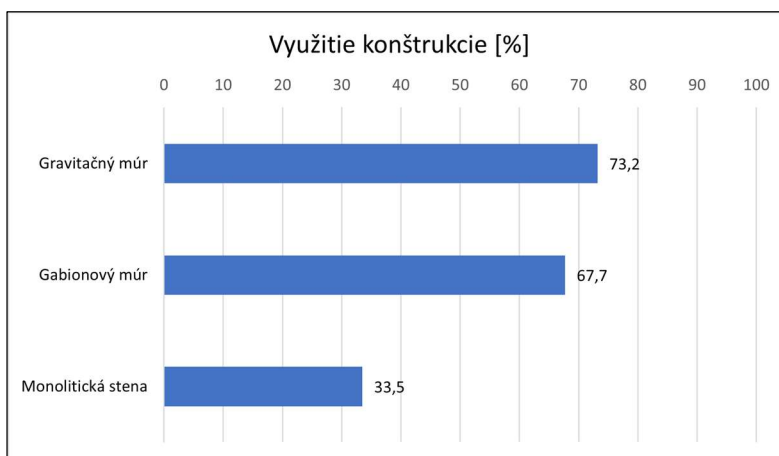
Podľa predpokladov najmenší potrebný objem konštrukcie ako aj zásypu/odkopu potrebuje monolitická stena. Nasleduje gravitačný múr a s najväčším objemom skončil na poslednom mieste gabionový múr.

▪ **Stabilita svahu**

Pri výpočte stability svahu sa uvažovalo s trvalou návrhovou situáciou. Prezentované hodnoty sú prevzaté z výstupov programu GEO5. Výsledky sú znázornené v nasledujúcej tabuľke a grafe.

Tabuľka 6: Stabilita svahu

Konštrukcia	Využitie konštrukcie [%]	Poradie
Gravitačný múr	73,2	3
Gabionový múr	67,7	2
Monolitická stena	33,5	1



Graf 2: Stabilita svahu

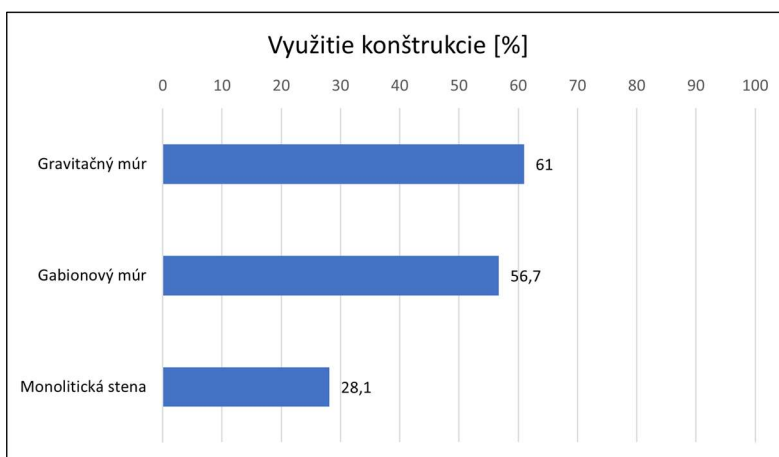
V prípade stability svahu vychádza najlepšie monolitická stena, keďže založenie siaha hlboko pod povrch. Následne s takmer dvojnásobným percentuálnym využitím oproti monolitickej stene nasleduje gabionový múr. Ako tretí v poradí sa umiestnil gravitačný múr.

▪ **Stabilita svahu (mimoriadny stav)**

V tomto prípade sa uvažovalo s mimoriadnou návrhovou situáciou, keď počas záplav dôjde k enormnému zvýšeniu hladiny vody v koryte potoku a následnému prudkému poklesu na pôvodnú úroveň. Ako bolo spomenuté v kapitole 6.2., jedná sa o mimoriadny stav, pri ktorom sú všetky súčinitele vstupujúce do výpočtu rovné 1,0. Z tohto dôvodu je percentuálne využitie konštrukcie menšie ako pri trvalej návrhovej situácii. Prezentované hodnoty sú opäť prevzaté z výstupov programu GEO5 a výsledky sú znázornené v nasledujúcej tabuľke a grafe.

Tabuľka 7: Stabilita svahu (mimoriadny stav)

Konštrukcia	Využitie konštrukcie [%]	Poradie
Gravitačný múr	61,0	3
Gabionový múr	56,7	2
Monolitická stena	28,1	1



Graf 3: Stabilita svahu (mimoriadny stav)

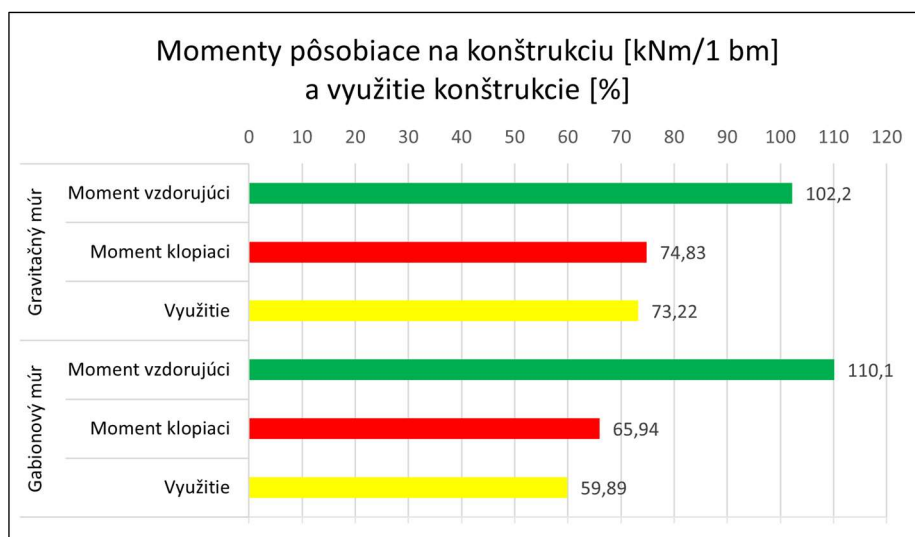
Pri výpočte stability svahu počas mimoriadnej situácie sa poradie oproti bežnému stavu nezmenilo. Taktiež percentuálny rozdiel využitia jednotlivých konštrukcií ostal približne rovnaký.

▪ **Posúdenie na preklopenie**

Pri posúdení na preklopenie ako aj ďalšie posúdenia budú realizované iba na gravitačný a gabionový múr. Do výpočtu vstupuje moment vzdorujúci, ktorý bráni preklopeniu a moment klopiaci. Pomerom klopiaceho momentu k momentu vzdorujúcemu dostávame výsledné percentuálne využitie konštrukcie. Prezentované hodnoty momentov sú prevzaté z výstupov programu GEO5. Výsledky sú znázornené v nasledujúcej tabuľke a grafe.

Tabuľka 8: Posúdenie na preklopenie

Konštrukcia	Moment vzdorujúci [kNm/1 bm]	Moment klopiaci [kNm/1 bm]	Využitie konštrukcie [%]	Poradie
Gravitačný múr	102,20	74,83	73,22	2
Gabionový múr	110,10	65,94	59,89	1



Graf 4: Posúdenie na preklopenie

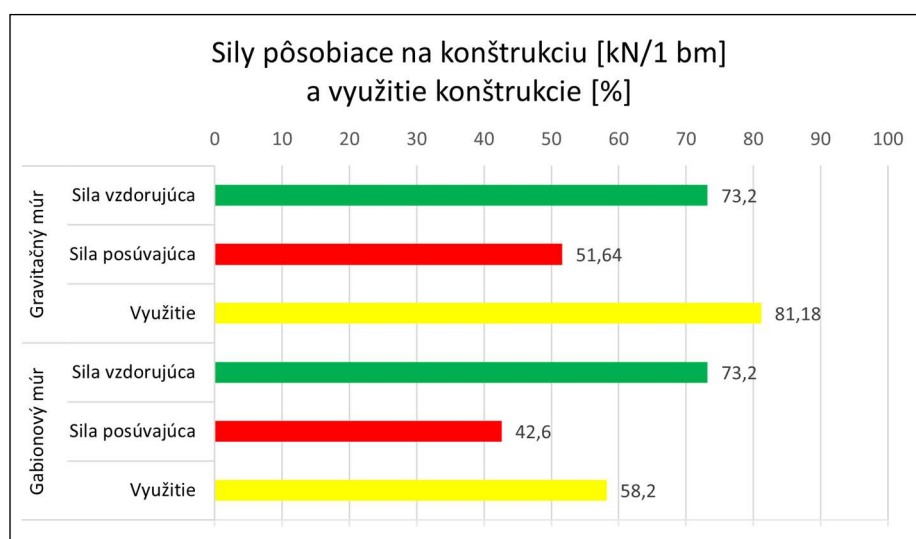
Posúdenie na preklopenie vyšlo lepšie pre gabionový múr, kde využitie konštrukcie dosahuje hodnotu 59,89 %, pričom gravitačného múru iba 73,22%. Toto je spôsobené predovšetkým väčšou tiažou gabionového múru na 1 bm, ktorá vyvodzuje väčší odpor voči preklopeniu. Väčšia šírka základu pri gabionovom múre taktiež priaznivo ovplyvňuje využitie konštrukcie.

▪ **Posúdenie na posunutie**

V prípade posúdenia konštrukcie voči posunutiu v základovej škáre, vstupuje do výpočtu vodorovná sila, ktorá sa snaží konštrukciu posunúť. Voči tejto sile pôsobí vzdorujúca vodorovná sila. Pomerom vzdorujúcej sily k sile snažiacej sa konštrukciu posunúť dostávame výsledné percentuálne využitie konštrukcie. Prezentované hodnoty sú opäť prevzaté z programu GEO5. Výsledky sú znázornené v nasledujúcej tabuľke a grafe.

Tabuľka 9: Posúdenie na posunutie

Konštrukcia	Sila vzdorujúca [kN/1 bm]	Sila posúvajúca [kN/1 bm]	Využitie konštrukcie [%]	Poradie
Gravitačný múr	63,61	51,64	81,18	2
Gabionový múr	73,20	42,60	58,20	1



Graf 5: Posúdenie na posunutie

V tomto prípade je opäť výhodnejšia konštrukcia z gabiónu. Pri posúdení konštrukcie na posunutie v základovej škáre zohráva veľkú úlohu zošikmenie základovej škáry pri gabionovom múre.

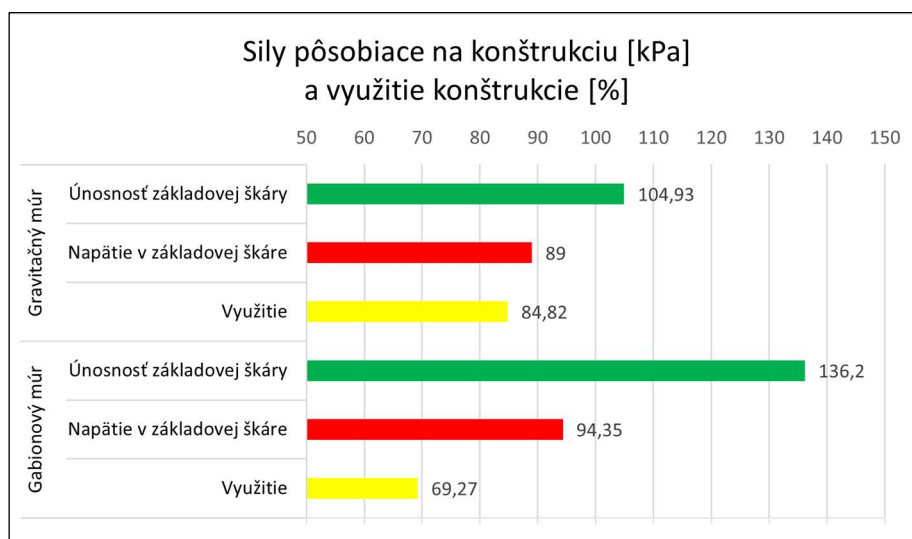
Využitie konštrukcie voči posunutiu dosahuje hodnotu pri gabionovom múre 58,2 %, pričom pri gravitačnom múre je táto hodnota iba na úrovni 81,18 %.

▪ **Únosnosť základovej škáry**

Pri výpočte zvislej únosnosti základovej škáry vstupuje do výpočtu návrhová únosnosť základovej pôdy R_d a maximálne napätie v základovej škáre σ , ktoré je vyvolané samotnou tiažou konštrukcie a príťažaním. Pomerom maximálneho napätia pôsobiaceho na základovú škáru k únosnosti základovej pôdy dostaneme percentuálne využitie konštrukcie. Prezentované hodnoty sú opäť prevzaté z programu GEO5 a výsledky sú znázornené v nasledujúcej tabuľke a grafe.

Tabuľka 10: Únosnosť základovej škáry

Konštrukcia	Únosnosť zákl. škáry [kPa]	Napätie v zákl. škáre [kPa]	Využitie konštrukcie [%]	Poradie
Gravitačný múr	104,93	89,00	84,82	2
Gabionový múr	136,20	94,35	69,27	1



Graf 6: Únosnosť základovej škáry

Aj keď napätie v základovej škáre je pri gabionovom múre väčšie ako pri gravitačnom múre, aj vďaka zošikmeniu je návrhová únosnosť základovej škáry väčšia. Aj vďaka týmto okolnostiam má gabionový múr využitie 69,27 %, zatiaľ čo gravitačný múr iba 84,82.

6.5. Vyhodnotenie jednotlivých návrhov

Hodnotenie jednotlivých konštrukcií prebiehalo tak, že konštrukciám bol pripísaný taký počet bodov, ktorý zodpovedal poradiu pri vyhodnotení jednotlivých kritérií. Z tohto vyplýva, že čím má konštrukcia menej bodov, tým je výhodnejšia.

Pri vyhodnotení prvej kategórie, kde boli navzájom porovnávané všetky konštrukcie, sa najlepšie umiestnila monolitická stena. Táto konštrukcia sa umiestnila na prvom mieste pri každom posudzovanom kritérií. Ako druhý v poradí skončil gabionový múr aj napriek tomu, že k svojej výstavbe potrebuje väčší záber pozemku, avšak pri celkovej stabilite svahu je táto konštrukcia výhodnejšia.

Vyhodnotenie prvej kategórie, ako aj počet získaných bodov pre jednotlivé konštrukcie je znázornený v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 11: Vyhodnotenie prvej kategórie

	Konštrukcia		
Kritérium	Gravitačný múr	Gabionový múr	Monolitická stena
Potrebný objem konštrukcie	2	3	1
Stabilita svahu	3	2	1
Stabilita svahu (mimoriadny stav)	3	2	1
Suma bodov:	8	7	3

Bakalárska práca
Návrh zajištění břehového svahu

Pri vyhodnotení druhej kategórie sa taktiež postupovalo ako pri hodnotení predchádzajúcich kritérií. V tomto prípade je hodnotený iba gravitačný a gabionový múr, pričom do hodnotenia vstupujú aj body získané z predchádzajúcich kritérií, kde boli hodnotené navzájom všetky konštrukcie.

Pri tomto hodnotení získal gabionový múr lepšie poradie, a tým pádom aj menej bodov oproti gravitačnému múru z monolitického betónu. Z tohto vyplýva, že gabionový múr je podľa daných kritérií výhodnejšou variantou pre výstavbu konštrukcie zaisťujúcu brehový svah. Lepšie poradie dosiahol gabionový múr predovšetkým vďaka svojej zošíkmej základovej škáre.

Vyhodnotenie druhej kategórie, ako aj celkový počet získaných bodov pre gravitačný a gabionový múr je znázornený v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 12: Vyhodnotenie gravitačného a gabionového múru

Kritérium	Konštrukcia	
	Gravitačný múr	Gabionový múr
Predchádzajúce kritéria	8	7
Posúdenie na preklopenie	2	1
Posúdenie na posunutie	2	1
Únosnosť základovej škáry	2	1
Suma bodov:	Σ 14	10

6.6. Zhodnotenie navrhnutých konštrukcií

Všetky konštrukcie môžeme posúdiť aj podľa ďalších kritérií, ako napríklad dĺžka výstavby, náročnosť výstavby no predovšetkým cena. Cena je často v našom regióne pre investora tým najdôležitejším kritériom, či už sa jedná o cenu materiálu, realizácie alebo údržby konštrukcie. Z týchto hľadísk neboli jednotlivé návrhy zaistenia brehového svahu porovnávané, preto je možné, že by došlo k zmene výhodnosti jednotlivých návrhov.

Ako prvú konštrukciu som navrhol monolitický gravitačný múr. Táto konštrukcia vyšla najhoršie v porovnaní s ostatnými variantami. Jediné kritérium, v ktorom je gravitačný múr výhodnejší oproti gabionovému múru, je potrebný objem pre konštrukciu. V zvyšných posudzovaných kritériách sa umiestnil gravitačný múr na poslednom mieste. Aj napriek poslednému miestu má konštrukcia svoje výhody, napríklad pomerne jednoduchú realizáciu predovšetkým v porovnaní s monolitickou stenou. Toto kritérium môže byť pre niektorých investorov rozhodujúce.

V poradí ako druhú konštrukciu som navrhol gabionový múr. Gabionový múr zaostával pri posudzovaní stability svahu za monolitickou stenou a pri potrebnom objeme na výstavbu konštrukcie skončil až na poslednom mieste. V ostatných posudzovaných kritériách skončil pred gravitačným múrom. Taktiež táto konštrukcia sa vyznačuje pomerne jednoduchou realizáciou oproti monolitickej stene, čo je jej ďalšia výhoda. Taktiež veľkou výhodou oproti zvyšným dvom návrhom je aj možnosť realizácie konštrukcie v zimnom období, keďže odpadajú mokré procesy spojené s betonážou.

Ako poslednú variantu som navrhol kombinovanú konštrukciu, kde je monolitická stena spriahnutá s HEB záporami. Aj keď pri vyhodnotení prvých troch spoločných kritérií sa javí konštrukcia ako najvýhodnejšia, má značné nevýhody. Medzi najväčšiu nevýhodu môžeme zaradiť komplikovanú a zdĺhavú realizáciu, ktorá sa prejaví aj do výslednej ceny. Na druhej strane medzi jej najväčšie výhody bezpochybné patrí malý záber pozemku, čo môže byť v niektorých prípadoch rozhodujúcim faktorom pre výber optimálnej konštrukcie. Vďaka výpočtu konštrukcie metódou závislých tlakov je možné vypočítať predpokladanú hodnotu horizontálnej deformácie v korune konštrukcie, ktorá výpočtom vyšla 18,3 mm.

Z dôvodu vyššie uvedených skutočností, osobne preferujem ako najvýhodnejšiu konštrukciu pre zaistenie brehového svahu gabionový múr.

7. Záver

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo navrhnúť zaistenie brehového svahu pozdĺž vodného toku. Z tohto dôvodu sa moja práca skladá z nasledujúcich kapitol, v ktorých sú uvedené potrebné informácie pre správny návrh a posúdenie konštrukcie zaisťujúcej brehový svah.

Úvodná kapitola má čitateľa vtiahnuť do deja a predstaviť mu tému a cieľ mojej bakalárskej práce.

V druhej kapitole všeobecne rozoberám problematiku svahových pohybov, ako aj brehové erózie, ktoré sú jedným z hlavných faktorov celkovej straty stability svahu pozdĺž vodného toku.

V tretej kapitole sa venujem jednotlivým konštrukciám, ktoré možno využiť pri zaistení svahu. Táto kapitola je zároveň najrozsiahljšia, keďže technická vyspelosť nám umožňuje využívať veľké množstvo konštrukcií rôzneho druhu, statického pôsobenia ako aj rozmerov. V tejto kapitole sa taktiež podrobne venujem uholníkovým železobetónovým múrom, ktoré pre svoju realizáciu potrebujú veľký záber pozemku. Práve z tohto dôvodu som s touto konštrukciou neuvažoval pri návrhu zaistenia brehového svahu, keďže v blízkosti sa nachádza miestna komunikácia.

Štvrtá kapitola popisuje vlastnosti, ktoré sú pre nás dôležité z pohľadu návrhu, realizácie ako aj prevádzky. Jedná sa predovšetkým o zaťaženie konštrukcií, geotechnický monitoring a správny návrh odvodnenia konštrukcie.

Piata kapitola sa zameriava na popis návrhu geotechnických konštrukcií podľa EC 7, a to konkrétne popis geotechnických konštrukcií, medzných stavov a návrhových prístupov.

V šiestej kapitole sú prezentované moje návrhy zaistenia brehového svahu, ktoré sú následne aj vyhodnotené podľa rôznych kritérií. V mojej práci som navrhol tri konštrukcie, a to konkrétne gravitačný múr, gabionový múr a kombinovanú monolitickú záporovú stenu.

Pri zohľadnení všetkých kritérií je ťažké vybrať jednu konštrukciu, ktorá je najoptimálnejšia. Tak isto to je aj v tomto prípade. Preto pri zohľadnení všetkých posudzovaných kritérií, ako aj náročnosti realizácie sa javí gabionový múr ako najideálnejšia varianta.

Zdroje

- [1] HULLA, Jozef. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2002. ISBN 80-88905-42-7.
- [2] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Academia, 1987.
- [3] ROZSYPAL, Alexandr. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
- [4] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-01-01078-3.
- [5] BARTOŠOVÁ, Ludmila, Katarína BAČOVÁ a Vladimír KAPUSTA. *Dopravné staviteľstvo*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia skript. ISBN 978-802-2733-595.
- [6] STN EN 1997-1. *Eurokód 7 - Navrhovanie geotechnických konštrukcií: Časť 1 : Všeobecné pravidlá*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava, 2005.
- [7] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí*. 2. vydání. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2018. ISBN 978-80-88265-12-2.
- [8] MAJDÚCH, Dušan a Karol ARINGER. *Oporné múry a podzemné steny*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1982.
- [9] TURČEK, Peter. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-807-6023-3.
- [10] MUNDELL, Chris, Paul MCCOMBIE, Claire BAILEY, Andrew HEATH a Peter WALKER. Limit-equilibrium assessment of drystone retaining structures. *Geotechnical Engineering* [online]. 2009 [cit. 2022-01-20]. ISSN 1353-2618. Dostupné z: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/geng.2009.162.4.203>

- [11] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové základové a opěrné konstrukce*. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06128-2.
- [12] *Technicko-kvalitatívne podmienky - časť 31: Zvláštne zemné konštrukcie* [online]. In: . 2014 [cit. 30.1.2022]. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tkp/tkp_31_2014.pdf
- [13] DRUSA, Marián, Martin DECKÝ, Marian MARSCHALKO, Katarína ZGUTOVÁ, Jozef VANGEL, Mária TROJANOVÁ, Branislav KUBÍK a Boris STARŠÍ. *Navrhovanie a kontrola zemných konštrukcií dopravných stavieb*. Žilina: EDIS-vydavateľstvo ŽU, 2013. ISBN 978-80-554-0823-1.
- [14] ŠLEZINGR, Miloslav. *Revitalizace toků: příspěvek k problematice úprav vodních toků*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3942-9.
- [15] Vodohospodářské stavby. In: *INGPRO* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <http://www.ingpro.eu/vodohospodarske-stavby.php>
- [16] LAMBOJ, Ladislav a Zdeněk ŠTĚPÁNEK. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3094-6.
- [17] MASOPUST, Jan. *Rizika prací speciálního zakládání staveb*. Praha: Pro Asociaci dodavatelů speciálního zakládání staveb a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2011. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-10-7.
- [18] MASOPUST, Jan a Věra GLISNÍKOVÁ. *Zakládání staveb: modul M01 : zakládání staveb*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-538-9.
- [19] VANÍČEK, Ivan, Tereza ČIHÁKOVÁ, Daniel JIRÁSKO, Jan KOS, Jan SALÁK a Martin VANÍČEK. *Projektování základových a zemních konstrukcí*. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05913-5.

- [20] *Dolní Líštná, zajištění břehových svahu na MK 218c mezi č.p. 26 a 27: Závěrečná zpráva IG pruzkumu*. Ostrava, 2019.
- [21] *Technologický postup realizace staveb z gabionových stavebních konstrukcí systému ALGON*. Praha, 2020. Dostupné také z: <http://www.algoneshop.cz/userdata/pages/1/technologickypostup.pdf>
- [22] Andezitový múrik. In: *Js-servis.com* [online]. [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://js-servis.com/2019/02/2796/andezitovy-murik-19/>
- [23] Oporné tvárnice - Betónové výrobky. In: *Prefa-Stav* [online]. [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <https://www.prefastav.sk/betonove-vyrobky/oporne-tvarnice/>
- [24] Cestársky deň 2017. In: *SSC - Slovenská správa ciest* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/odborne-akcie/cd/cd_23_prezentacia_1.pdf
- [25] Gabionový obklad proti vode a povodniam. In: *Compag* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <http://www.gabionsk.eu/index.php?id=26&gi=68>
- [26] Helicals (Gabion Spirals). In: *Wirefence* [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.wirefence.co.uk/gabion/accessories/helicals/>
- [27] Slurry wall installation with cutter: Hydromill. In: *Liebherr* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/chn/products/construction-machines/deep-foundation/methods/slurry-wall-production/hydromill-cutter/hydromill-cutter.html>
- [28] Rozborová úloha: Integrované mosty na cestách a diaľniciach. In: *Slovenská správa ciest* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/rozborove_ulohy/2019_ru_integrované_mosty.pdf
- [29] Rekonstrukce opěrné zdi podél silnice. In: *Linio Plan* [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.linioplan.cz/project/oz-studenec/>
- [30] POLEDŇÁK, Pavel. *Přírodní katastrofy a jejich řešení: Svahové pohyby* [online]. In: . s. 5 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3024409/>

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Možné príčiny vzniku svahových pohybov [30].....	3
Obrázok 2: Prúdová vodná erózia [4].....	5
Obrázok 3: Varianty použitia kamenného múru na sucho [10]	7
Obrázok 4: Gravitačný múr z kameňa ukladaného na sucho [22]	8
Obrázok 5: Možné úpravy škár kamenného múru [8].....	8
Obrázok 6: Gravitačný múr z kameňa ukladaného na maltu [29].....	9
Obrázok 7: Tvar oporného gravitačného múru z prostého betónu [9]	10
Obrázok 8: Možné varianty múrov z prostého betónu pri vodnom toku [14].....	10
Obrázok 9: Oporný múr s odľahčovacou doskou [9].....	11
Obrázok 10: Ľahké uholníkové múry [8]	12
Obrázok 11: Úpravy múru v základovej škáre [8]	13
Obrázok 12: Rebrový železobetónový múr [8].....	14
Obrázok 13: Možné tvary prefabrikovaných múrov [23]	15
Obrázok 14: Transport prefabrikovaného múru – fotka autor	16
Obrázok 15: Tvar zárubného gravitačného múru z prostého betónu [9].....	17
Obrázok 16: Obkladový múr z gabionu [24]	17
Obrázok 17: Príklady použitia gabionov [12]	18
Obrázok 18: Gabionový múr pozdĺž vodného toku [25].....	19
Obrázok 19: Gabiony zo šesťhrannej dvojzákrutovej oceľovej siete [12].....	20
Obrázok 20: Príklad gabionov zo zvaranej siete [12]	21
Obrázok 21: Spojenie dvoch gabionov pomocou špirály [26].....	22
Obrázok 22: Usporiadanie gabionového múru na gabionovom matraci [14]	22
Obrázok 23: Pilótové steny [7].....	23
Obrázok 24: Postup budovania podzemnej steny [27].....	24
Obrázok 25: Nábřežný múr z podzemnej steny [8].....	25
Obrázok 26: Oporný múr vytvorený pomocou štetovnicovej steny [8].....	26
Obrázok 27: Oporný múr ako kotvená oceľová štetovnicová stena [8].....	26
Obrázok 28: Kamenná rovnanina s vrbovými vetvičkami [14]	27
Obrázok 29: Hranica z guľatiny a lomového kameňa [14]	28
Obrázok 30: Drevené pilóty pri zaistení brehu [14].....	28
Obrázok 31: Opevnenie brehu kameňom [15]	29
Obrázok 32: Stabilizácia brehu guľatinou [15].....	29

Obrázok 33: Únosnosť základovej škáry [9].....	30
Obrázok 34: Pootočenie múru [9]	31
Obrázok 35: Preklopenie múru [9].....	32
Obrázok 36: Posunutie múru [9]	33
Obrázok 37: Porušenie zemného masívu [9].....	34
Obrázok 38: Závislosť veľkosti zemného tlaku na deformácií konštrukcie [28].....	36
Obrázok 39: Oddrénovanie zeminy za oporným múrom [9]	44
Obrázok 40: Monitoring oporného múru [3].....	45
Obrázok 41: Medzný stav porušenia podľa EC 7 [19].....	49
Obrázok 42: Stávajúci stav svahu	53
Obrázok 43: Navrhnutý gravitačný múr.....	55
Obrázok 44: Navrhnutý gabionový múr - zarovnaná rubová strana	56
Obrázok 45: Navrhnutý gabionový múr - zarovnaná pohľadová strana	56
Obrázok 46: Navrhnutá monolitická železobetónová záporová stena	58

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Súčinitele zaťaženia Y_F alebo účinkov zaťaženia Y_E [6]	52
Tabuľka 2: Súčinitele parametrov základovej pôdy Y_M [6].....	52
Tabuľka 3: Rozmery gabionových košov	57
Tabuľka 4: Porovnanie oboch variant	57
Tabuľka 5: Potrebný objem konštrukcie	60
Tabuľka 6: Stabilita svahu.....	61
Tabuľka 7: Stabilita svahu (mimoriadny stav).....	62
Tabuľka 8: Posúdenie na preklopenie	63
Tabuľka 9: Posúdenie na posunutie	64
Tabuľka 10: Únosnosť základovej škáry.....	65
Tabuľka 11: Vyhodnotenie prvej kategórie	66
Tabuľka 12: Vyhodnotenie gravitačného a gabionového múru	67

Zoznam grafov

Graf 1: Potrebný objem konštrukcie	60
Graf 2: Stabilita svahu.....	61
Graf 3: Stabilita svahu (mimoriadny stav)	62
Graf 4: Posúdenie na preklopenie	63
Graf 5: Posúdenie na posunutie.....	64
Graf 6: Únosnosť základovej škáry.....	65

Zoznam príloh

Príloha č. 1 - Návrh gravitačného múru - výstup z programu GEO5	
Príloha č. 2 - Návrh gabionového múru - výstup z programu GEO5	
Príloha č. 3 - Návrh monolitickéj železobetónovej záporovej steny - výstup z programu GEO5	