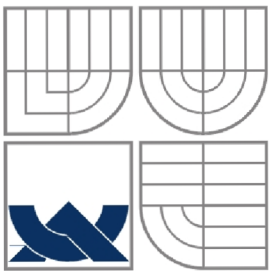
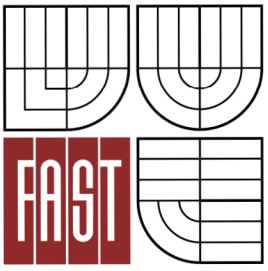


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

OPĚRNÉ ZDI
RETAINING WALLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Jan Pospíšil
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2013

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Pospíšil
Název	Opěrné zdi
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Věra Glisníková, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Podklady budou vedoucí bakalářské práce předávány samostatně.

Literatura:

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 2. díl, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2006
Lamboj, L., Štěpánek, Z.: Mechanika zemin a zakládání staveb, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2008
Vaníček, I.: Mechanika zemin, ČVUT, 1996
Budhu, M.: Soil Mechanics and Foundations, 1st and 2nd edition, John Wiley and Sons, USA, 2000, 2007
ČSN 730037 Zemní tlak na stavební konstrukce

Zásady pro vypracování

Stavba opěrné zdi je většinou považována za bezproblémovou a jednoduchou. Praxe a řada vzniklých poruch na existujících stěnách však dokládá, že opěrné a zárubní zdi nelze jak z hlediska projektové přípravy, tak i z hlediska vlastního provedení v žádném případě podceňovat. Je třeba si uvědomit, že zřícená betonová opěrná stěna může způsobit kromě materiálních škod i újmu na zdraví. Úkolem bakalářské práce je v rešeršní části popsat nejčastěji používané typy opěrných stěn, v praktické aplikaci pak navrhnout a posoudit konkrétní opěrnou zeď v daných geologických podmínkách.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Věra Glisníková, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled nejčastěji používaných opěrných stěn v České republice a charakterizovat jejich vlastnosti, způsob posouzení, výhody, nevýhody či příčiny selhání. Na základě těchto poznatků bude navržen vybraný typ opěrné zdi v Rebešovicích.

Klíčová slova

opěrné zdi, gabion, zemní tlaky, vyztužené svahy, geotechnika, geologie, únosnost

Abstrakt

The objective of thesis is to create a comprehensive overwiew of the most commonly used retaining walls in the Czech Republic and to characterize their properties, method of assessment, advantages, disadvantages or causes of failures. Based on these findings will be designed selected type of retaining wall in Rebešovice.

Keywords

retaining walls, gabion, earth pressures, reinforced slopes, geotechnics, geology, bearing capacity

Bibliografická citace VŠKP

POSPÍŠIL, Jan. *Opěrné zdi.* Brno, 2013. 55 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13.5.2013

……

podpis autora
Jan Pospíšil

Poděkování

Rád bych poděkoval své rodině za mnohaletou podporu při studiích a vedoucí bakalářské práce paní Ing. Věře Glisníkové, CSc. za vstřícný přístup a odborné konzultace.

OBSAH

1 ÚVOD 10
2 OPĚRNÉ KONSTRUKCE 11
2.1 Funkce a posouzení 11
2.2 Zdi gravitační 13
2.2.1 Suché kamenné zdi 13
2.2.2 Kamenné zdi zděné na hydraulickou maltu 13
2.2.3 Gravitační z prostého betonu 15
2.3 Zdi úhlové 17
2.4 Zdi prefabrikované 20
3 GABIONY 22
3.1 Stručná historie 22
3.2 Výhody použití 22
3.3 Materiál 23
3.4 Uspořádání gabionových stěn a jejich posouzení 24
4 VYZTUŽENÉ SVAHY GEOSYNTETIKAMI 26
5 PORUCHY OPĚRNÝCH KONSTRUKCÍ 27
6 PRAKTICKÁ APLIKACE 28
6.1 Popis stávající konstrukce 28
6.2 Geomorfologické poměry 30
6.2.1 Poloha a popis lokality 30
6.2.2 Přiřazení ke geomorfologické jednotce 30
6.2.3 Vrtná prozkoumanost 30
6.3 Geologické a hydrogeologické poměry širšího okolí 33
6.3.1 Kvartér 33
6.3.2 Terciér 33
6.4 Vstupní údaje 34
6.5 Vstupní výpočtové parametry 36
6.6 Teorie výpočtu aktivního zemního tlaku dle GEO 5 37
6.7 Výpočet 38
6.7.1 Síly a tlaky působící na konstrukci 38

6.7.2 Posouzení na překlopení 39
6.7.3 Posouzení na posunutí v základové spáře 40
6.7.4 Posouzení na pootočení 41
6.7.5 Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson) 41
6.7.6 Ruční výpočet a posouzení únosnosti základové půdy 42
6.8 Odvodnění 44
6.9 Orientační odhad nákladů materiálu 45
7 ZÁVĚR 47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 48
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ 50
SEZNAM OBRÁZKŮ 52
SEZNAM TABULEK 54
SEZNAM PŘÍLOH 55

1 ÚVOD

Navrhování a provádění opěrných zdí je obvykle považováno za jednoduchý a bezproblémový geotechnický úkol, avšak je nutno brát zřetel na to, že se jedná z hlediska geotechniky o komplexní problém. Návrh opěrné stěny nespočívá jen v dimenzi samotné konstrukce, ale i v posouzení celého svahu jako celku, popřípadě dopadu na okolní stavby vlivem sednutí nebo zdeformování konstrukce.

Tato bakalářská práce se skládá ze dvou částí. Účelem první teoretické části je sestavit ucelený přehled nejčastěji používaných opěrných stěn v České republice, charakterizovat jejich vlastnosti, případně zdůvodnit vhodnost použití.

V praktické úloze se na základě poznatků z první části navrhne a posoudí vybraný typ opěrné stěny. Konstrukce bude vybudována v obci Rebešovice nacházející se v okrese Brno-venkov, jako náhrada silně porušené stávající stěny. Výpočet bude proveden v programu GEO 5 s výjimkou stanovení únosnosti základové spáry, která bude spočtena ručně dle normy ČSN 73 1001.

Obr. 1-1 Lokace Rebešovic [1]

2 OPĚRNÉ KONSTRUKCE

2.1 Funkce a posouzení

Opěrné konstrukce jsou stavby, s kterými se setkáváme prakticky ve všech oborech stavebního inženýrství. Největší využití nacházejí v dopravních stavbách, vodním stavitelství i pozemních stavbách. Jsou namáhány převážně zemními tlaky případně přitížením terénu za rubem zdi. Jejich funkcí je podepření zemních těles (udržují zeminu pod větším úhlem, než je úhel vnitřního tření zeminy) nebo zajištění svahů proti sesuvům. Důvodem, proč se tyto konstrukce využívají, je co nejvíce snížit objem zemních prací. Tím dochází i ke zmenšování finančních nákladů na celou stavbu. Opěrné konstrukce lze rozdělit na: [2]

- zdi opěrné – konstrukce, do které se opírá násep
- zdi zárubní – konstrukce podepírající zářez
- zdi obkladní – podchycují stávající opěrné konstrukce nebo utěsňují odkryté horniny proti působení dešťové vody

Při navrhování opěrných konstrukcí se podle druhu konstrukce nejdříve navrhnou předběžné rozměry a poté se výpočtem prokazuje, jestli takto navrhnutá konstrukce splňuje podmínky spolehlivosti. Posouzení opěrných konstrukcí zahrnuje tyto posudky: [2]

- posouzení na únosnost v základové spáře - porovnává se výpočtová únosnost základové půdy a napětí od svislé složky výslednice, které se přenese přes efektivní plochu základu (obr. 2-1), výjimečně se posuzuje sedání konstrukce.
- pootočení zdi – úhel pootočení α se za předpokladu ukončeného sedání a excentricity e ≤ b/4 vypočte ze vztahu:

$$tg\alpha = (12 \times R \times r) / (\pi \times b^2 \times E_{def}) \qquad (2\text{-}1)$$

kde E_{def} je modul přetvárnosti zeminy a zbylé veličiny jsou patrné z obrázku (obr. 2-2). Pokud je zeď založena na vrstevnatém podloží, tak se úhel α vypočte z rozdílu sedání na lícní a rubové hraně ze vztahu (2-2).

$$tg\alpha = (s_A - s_B) / b \qquad (2\text{-}2)$$

- spolehlivost konstrukce proti překlopení kolem bodu A – je dána poměrem aktivních a pasivních momentů a nemá klesnout pod 1,5násobek (obr. 2-3).

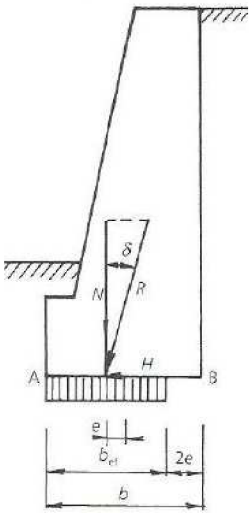
- spolehlivost proti posunutí v základové spáře – vyjadřuje se opět poměrově a to poměrem

$$\frac{N \cdot tg\varphi + c \cdot b}{H} \geq 1{,}5 \qquad (2\text{-}3)$$

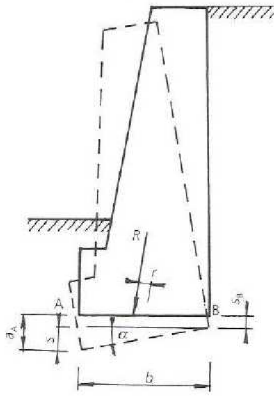
kde N je svislá složka výslednice, H vodorovná složka, c koheze zeminy a φ úhel vnitřního tření zeminy (obr. 2-4).

- stabilita svahu – toto posouzení se určuje hlavně v sesuvných územích a vypočte se podobně jako stabilita svahu např. pomocí Pettersonovy proužkové metody (obr. 2-5)

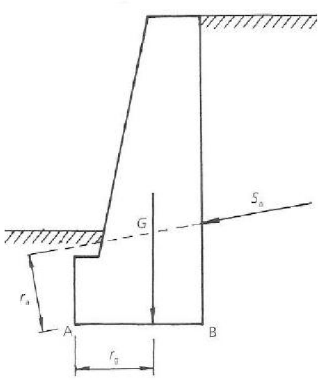
- samotný návrh a posouzení konstrukce



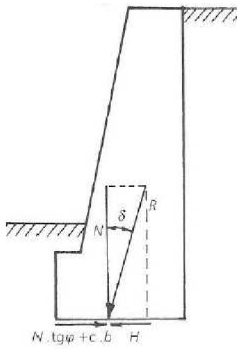
Obr. 2-1 Únosnost [2]

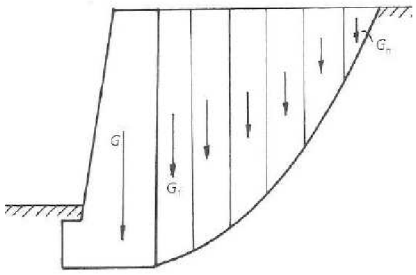


Obr. 2-2 Pootočení [2]



Obr. 2-3 Překlopení [2]





Obr. 2-4 Posunutí v základové spáře [2] Obr. 2-5 Stabilita svahu [2]

2.2 Zdi gravitační

Gravitační opěrné zdi působí proti zatížení od přitížení a od zemních tlaků pouze vlastní tíhou. Je nutné zdůraznit, že všechny opěrné stěny musí být za rubem odvodněny.

2.2.1 Suché kamenné zdi

Tento typ zdi vzniká skládáním kamene na sucho bez spojovacího materiálu. Díky omezené výšce (max. do 3m) se tento typ na náročnější konstrukce nepoužívá. Uplatnění nachází především z důvodu použití kamene jako dekorativního prvku v zahradní architektuře. Zeď může být prosypávána zeminou, do které se osazují okrasné rostliny (zpevňují konstrukci a nahrazují maltu). Minimální šířka zdi je 400 mm.

2.2.2 Kamenné zdi zděné na hydraulickou maltu

Tyto konstrukce se používají např. pro křídla mostů, pro čela propustků nebo kolem historických staveb, kde není vhodné použít monolitické stěny. Zdění se provádí na cementovou maltu nebo na zavlhčený pískový beton. Z hlediska celistvosti a odolnosti konstrukce proti degradaci je důležité, aby po vyzdění došlo k pečlivému vyspárování. Jako základní materiál se nejvíce používá kámen (pro jeho estetické vlastnosti), který může být lomový nebo opracovaný do nejrůznějších tvarů (haklíkové zdivo, řádkové zdivo, kyklopské aj.). Tloušťka spár se pohybuje od 15 do 40 mm, přičemž vazba se nejčastěji využívá vazáková v občasné kombinaci s běhounkovou. Minimální šířka zdi je 400 mm. Mezi další používané materiály patří mrazuvzdorné

cihly, prefabrikované betonové tvarovky nebo méně odolné horniny jako jsou pískovce, břidlice, vápence aj.

Obr. 2-6 Suchá opěrná zeď – droba Luleč [3]

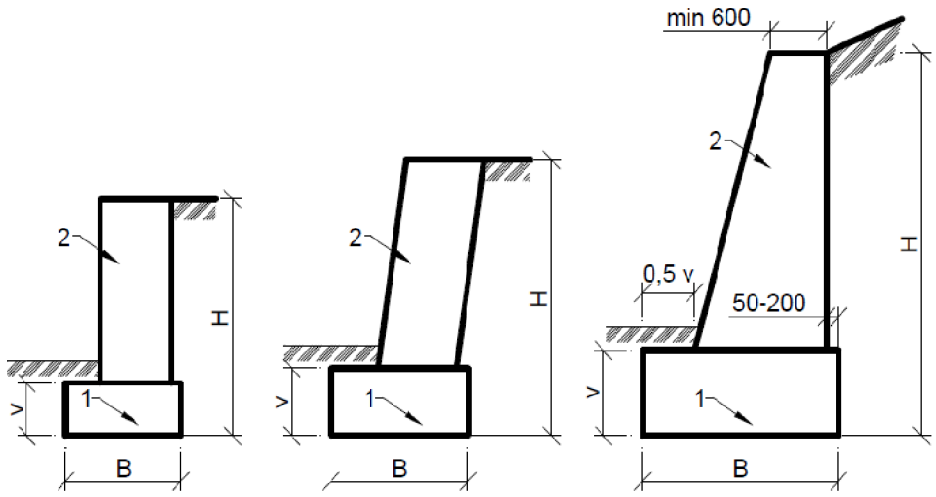
Obr. 2-7 Ukázka kamenné zdi zděné na cementovou maltu [4]

2.2.3 Gravitační z prostého betonu

Gravitační zdi z prostého betonu patří spolu se zdmi úhlovými a gabionovými mezi nejčastěji používané konstrukce. Jejich nevýhodou oproti zdím úhlovým je, že mají mohutnější průřez, což vyplývá z toho, že působí proti zatížení pouze vlastní tíhou. Charakteristické tvary zdí z prostého betonu jsou znázorněny na obr. 2-8. Šířka základu B je přímo úměrná výšce stěny H a navrhuje se v rozmezí:

$$B = (0{,}33 \text{ až } 0{,}45)\ H \qquad (2\text{-}4)$$

Výška základu je obvykle 0,6 až 2,0 m a jeho vyložení na lícové straně se pohybuje okolo poloviny výšky základu. Na rubové straně se doporučuje přesah základu 50 až 200 mm. Líc zdi je ukloněn v poměru 5:1 až 10:1. Rubová strana bývá svislá nebo mírně ukloněná. Šířka koruny nemá klesnout pod 0,6 m. Vzdálenost jednotlivých dilatačních celků se pohybuje od 10 do 15 m.

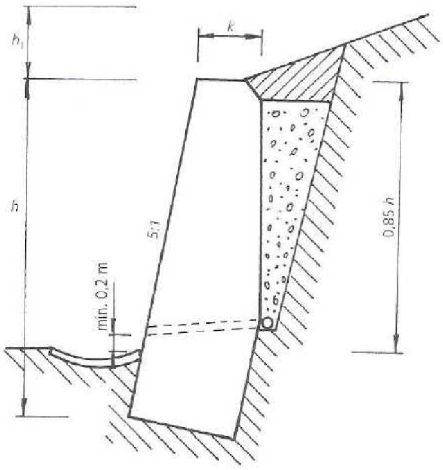


Obr. 2-8 Tvary gravitačních zdí z prostého betonu [5]

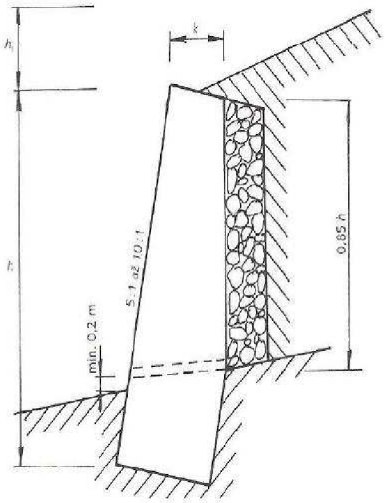
Pro jiný typ zdi znázorněného na obr. 2-9 se šířka koruny (k) vypočte podle vztahu (2-5), respektive pro zdi podepírající svah s výškou nadloží h_1 větší než 1m dle vztahu (2-6).

$$k = 0{,}44 + 0{,}2h \qquad (2\text{-}5)$$

$$k = 0{,}44 + 0{,}2h + \frac{1}{30}h_1(2 - h_1/h) \qquad (2\text{-}6)$$



Obr. 2-9 Tvar gravitační opěrné zdi [2]



Obr. 2-10 Tvar gravitační zárubní zdi [2]

Z obr. 2-9 je patrný i způsob odvodnění. Rub zdi je zasypán drenážním materiálem, který je na povrchu překrytý nepropustnou vrstvou. Prostor pod drenáží je vyplněn nepropustnou zeminou např. jílem tak, aby voda z drenáže nemohla prosakovat do základové spáry. Převedení vody skrz zeď se provádí přes PVC trubky, které se umisťují do konstrukce v podélných vzdálenostech 5 až 10 m. Vyústění trubek na lícové straně musí být z důvodu odtoku vody nejméně 0,2 m nad terénem nebo dnem rigolu či příkopu. Při použití tohoto typu konstrukce pro zárubní zdi (obr. 2-10), se průřez zužuje dle vztahu (2-7), respektive (2-8).

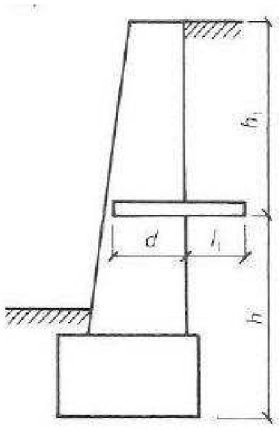
$$k = 0{,}30 + 0{,}17h \qquad (2\text{-}7)$$

$$k = 0{,}292 + 0{,}27h + 0{,}1h_1(1 - h_1/3h)^2 \qquad (2\text{-}8)$$

Při zvyšujících se výškách zdí z prostého betonu nebo v případech, kdy se za zdí vyskytuje zemina s malým úhlem vnitřního tření, se s výhodou konstrukce doplňuje o tzv. odlehčovací desku ze železobetonu. Princip odlehčení spočívá ve vytvoření aktivního klínu zeminy, který přitěžuje konstrukci a tím pozitivně ovlivňuje stabilitu konstrukce. Princip bude podrobně rozebrán v následující kapitole o zdech úhlových. Rozměry desky jsou dány vztahy (2-9) a (2-10). [2] [5]

h_1 = (1,5 až 2,5) d (2-9)

l_1 = (0.6 až 0,75) d (2-10)



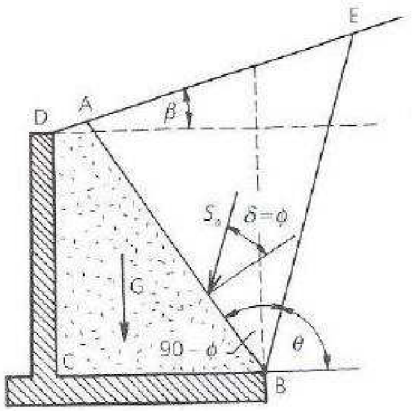
Obr. 2-11 Gravitační zeď s odlehčovací deskou [2]

2.3 Zdi úhlové

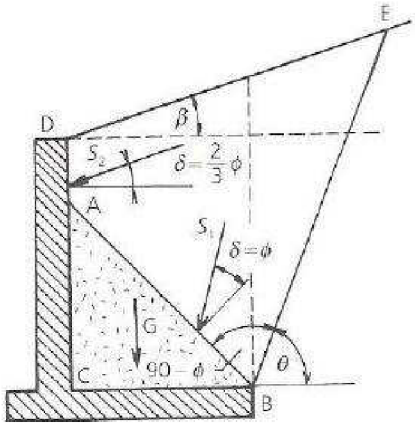
Úhlové zdi se navrhují výhradně ze železobetonu. Všeobecně se konstrukce z prostého betonu navrhují jako tlačené, protože beton má dostatečně velkou pevnost v tlaku, ale nízkou pevnost v tahu. Navrhovat konstrukce na tahová napětí umožnil až rozvoj železobetonu. Díky tomu je dnes možné konstruovat opěrné zdi mnohem subtilnější. Dále je u tohoto typu zdi využito velice elegantní myšlenky a to využití tíhy zeminy ve prospěch stability konstrukce. Z tohoto nápadu vznikl i samotný název úhlové zdi. Na obr. 2-12 je vidět princip působení zeminy na konstrukci. Za rubem zdi se předpokládá vznik dvou kluzných ploch. Tyto plochy se kříží v bodě B a svírají mezi sebou úhel

$90^0 - \varphi$ (2-11)

Úhel φ je úhel vnitřního tření zeminy. Vnější rovina BE protíná horizontálu pod úhlem υ_a (2-12) a vnitřní rovina AB pod úhlem υ_{as}. Dále rovina AB svírá s vertikální rovinou úhel α (2-15).



Obr. 2-12 Úhlová zeď - varianta a [2]



Obr. 2-13 Úhlová zeď – varianta b [2]

$$\upsilon_a = \varphi + \varepsilon \qquad (2\text{-}12)$$

$$\operatorname{cotg}\varepsilon = \operatorname{tg}(\varphi - \alpha) + \frac{1}{\cos(\varphi+\alpha)}\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\cos(\alpha-\beta)}{\sin(\varphi-\beta)\cos(\alpha+\delta)}} \qquad (2\text{-}13)$$

Pro $\alpha = \beta = \delta = 0$ platí:

$$\upsilon_a = 45^0 + \frac{\varphi}{2} \qquad (2\text{-}14)$$

$$\alpha = 90^0 - \upsilon_{as} = \upsilon_a - \varphi \qquad (2\text{-}15)$$

Podle rozměrů konstrukce B a H, úhlu vnitřního tření zeminy φ a sklonu povrchu terénu β mohou nastat dva případy:

- Rovina AB protíná terén (obr. 2-12). V tomto případě je nutno stanovit aktivní zemní tlak klínu ABE na zeď se spolupůsobící zeminou pro posouzení celé soustavy jako celku a zemního tlaku na samotnou konstrukci za účelem jejího návrhu, který se zpravidla uvažuje jako klidový.

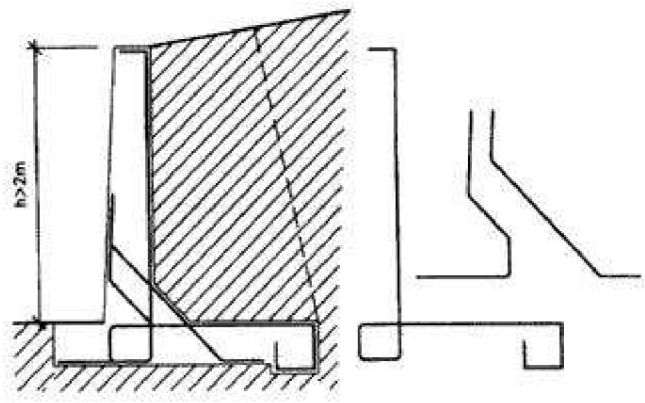
- Rovina AB protíná rub stěny (obr. 2-13). Zde se aktivní zemní tlak stanoví jako výslednice aktivních zemních tlaků na část stěny AD a na šikmou plochu zeminy AB.

Šířka základu B závisí na výšce stěny H (2-16), přičemž změnou šířky můžeme snižovat riziko proti překlopení větším vyložením základu před líc stěny nebo větším

zasunutím pod nasypanou zeminu na straně druhé, čímž se zvětší plocha aktivně působící zeminy.

B = (0,45 až 0,56) H (2-16)

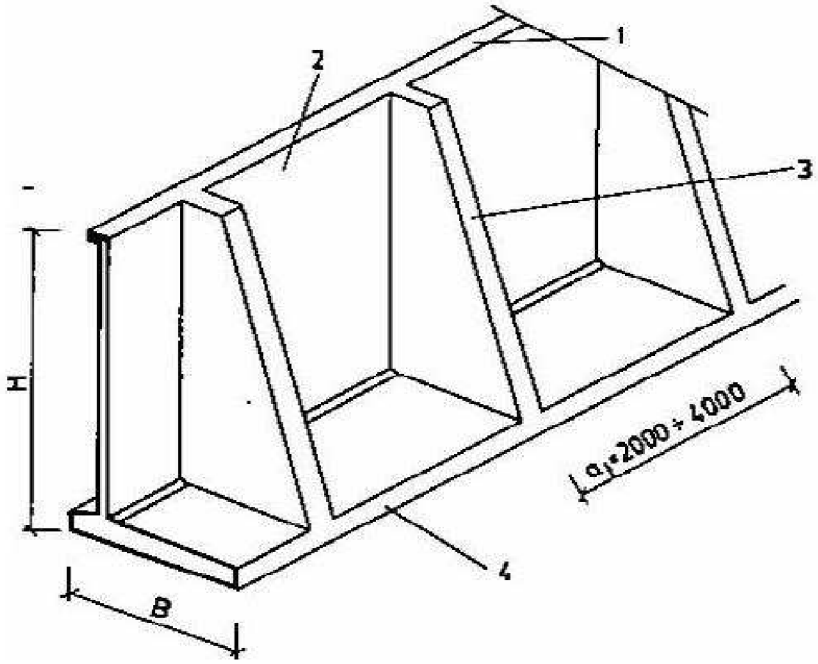
Jak bylo řečeno v úvodu kapitoly, zeď i základ jsou namáhány tahovým napětím (ohybem) a musí se vyztužovat. Ze statického hlediska se stěna počítá a navrhuje jako konzola vetknutá do základu. Zeď vyztužujeme u obou povrchů. Hlavní nosnou výztuž umisťujeme k rubové straně stěny a hornímu povrchu základu. Líc stěny můžeme vyztužit kari sítěmi pro případ změny rozdělení napětí v základové spáře. Základ by měl být vyztužen při obou površích. Výztuž musí být dostatečně zakotvena a provázána proti vytržení např. tzv. úpravou smyčka (obr. 2-14). Na obrázku je vidět vhodná úprava základu pro zvýšení stability proti posunutí v základové spáře tzv. ozub.



Obr. 2-14 Vyztužování a tvar výztuže úhlové stěny [6]

Je třeba dbát na dobré probetonování, zejména v místech křížení a větší koncentrace výztuže. Opěrnou stěnu je nutné vhodně rozdělit na jednotlivé dilatační celky.

U zdí vyšších než 5 m se provádí ztužení pomocí žeber. Vzdálenost žeber se pohybuje od 2 do 5 metrů a působí jako konzoly vetknuté do základu. Základ i stěna jsou rozděleny na jednotlivá pole. Průběh momentů po délce stěny je podobný jako na spojitém nosníku. Nejde však o nosníky, ale o spojité desky. Stěna i základ se vyztuží dle průběhu momentů. Šířka základu se navrhuje stejná jako u prostých úhlových stěn (2-16) a jeho výška se pohybuje od 0,5 do 0,8 m.



Obr. 2-15 Úhlová stěna vyztužená žebry [5]

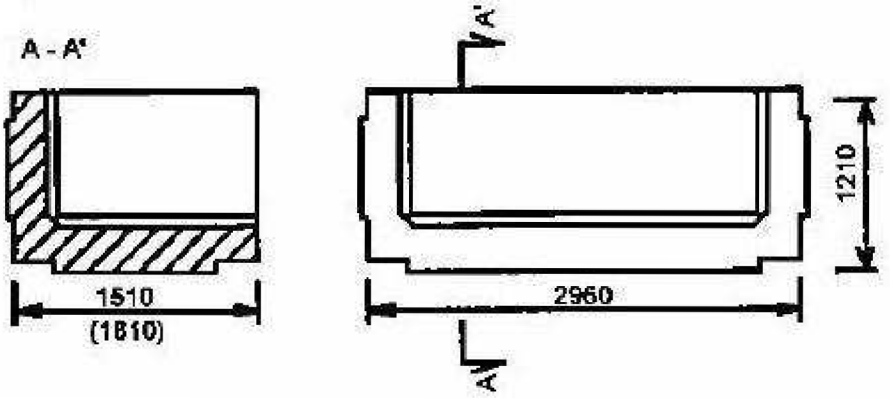
Je možné provádět stěny s odlehčovací deskou, tak jak bylo ukázáno v předcházející kapitole, nebo použít kombinaci odlehčovací desky a vyztužovacích žeber.[2] [5] [6] [7]

2.4 Zdi prefabrikované

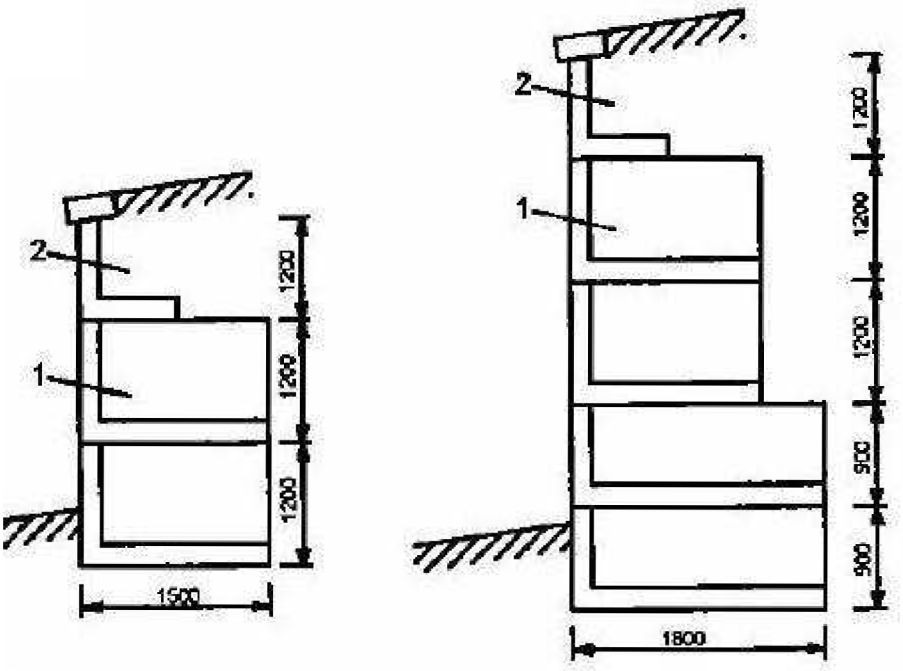
Tyto konstrukce vznikly s rozvojem prefabrikace (předvýroby) betonových a železobetonových prvků. Prefabrikáty měly u všech odvětví stavebnictví výrazně urychlit dobu výstavby a zmenšit celkové náklady stavby. Mezi největší přednosti prefabrikovaných konstrukcí patří zejména minimalizace mokrého procesu a tím i závislost výstavby na povětrnostních podmínkách. Mezi nevýhody někdy patří nutnost dopravy dílců na stavbu popřípadě vyšší hmotnost dílců.

Prefabrikátů pro opěrné konstrukce je dnes na trhu celá řada a jejich popis popřípadě vhodnost použití je z hlediska rozsahu bakalářské práce jen těžko uskutečnitelný. Jako příklad uvádím prefabrikáty tvaru U a L (obr. 2-16, obr. 2-17), do kterých se vsypávala zemina. Prvek tak odolával zatížení obdobně jako zeď úhlová. Jejich nevýhodou byla z důvodu manipulace poměrně velká hmotnost. Znakem všech

předem vyrobených dílců je jejich rozměrová přesnost. Tato vlastnost se stala předností především u systémů, které se sestavují z poměrně malých dílců (výsledná konstrukce působí esteticky). [5]



Obr. 2-16 Prefabrikát typu U [5]



Obr. 2-17 Prefabrikát typu L [5]

3 GABIONY

3.1 Stručná historie

Název gabion byl odvozen z italského slova gabio, což v překladu znamená klec. Historie gabionů sahá až do starověkého Egypta, kde se používali jako ochrana proti erozi na březích řeky Nil. V tehdejší době nešlo o gabiony v takové podobě, v jaké je známe dnes. Byly to proutěné koše naplněné zeminou. Postupem času se rozšířily do celého světa, kde byly používány zejména pro vojenské účely např. v Číně nebo během Občanské války v USA. Svůj podíl na rozvoj gabionů měl i Leonardo da Vinci. Použil je pro založení hradu San Marco v Miláně. Říkalo se jim Leonardovy koše. První ocelové koše se však začaly vyrábět až koncem 19. století v Itálii, kde se použily pro zpevnění břehu řeky Reno. [8]

3.2 Výhody použití

V současné době jsou gabionové stěny nejpoužívanějším typem opěrných konstrukcí. Používají se ve všech oborech stavitelství. Mezi jejich nejdůležitější vlastnosti patří: [2] [9]

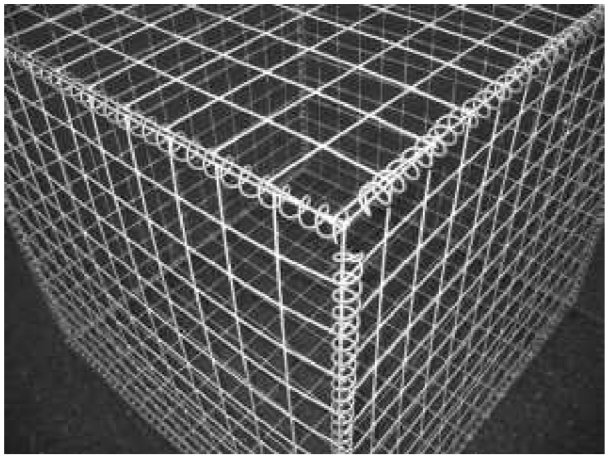
- velký odpor proti tahům a tlakům, dobrá reakce proti změně působení sil
- možnost přizpůsobení tvaru konstrukce k povrchu terénu
- propustnost konstrukce
- použití přírodních a recyklovatelných materiálů z místních zdrojů a s tím spojená cenová dostupnost konstrukce
- rychlá a suchá montáž i demontáž
- dobrá zvuková pohltivost (používají se jako opěrné i protihlukové stěny kolem železničních a silničních tratí)
- nekorodují a dají se umístit jako stavební prvky pod hladinu vody

- díky použití přírodních materiálů s možností přírodní nebo umělé vegetace jsou vhodné do chráněných krajinných oblastí a národních parků.

3.3 Materiál

Gabiony se jako stavební konstrukce skládají ze dvou základních částí a to z kovové sítě nebo pletiva a výplňového materiálu.

Dráty pro výrobu klecí se používají pozinkované nebo potažené tenkou vrstvou PVC materiálu s tahovou pevností 450 až 500 MPa. Průměr drátu se pohybuje mezi 2,5 až 4 mm. Koše se obvykle montují z předem svařovaných sítí (mohou být i pletené), které se v každé hraně spojují speciálními spirálami. Ty zajišťují, aby se konstrukce nevyboulila a udržela si stále stejný tvar (obr. 3-1). Šířka ok je u gabionů ze svařovaných sítí obvykle 100 až 120 mm a u gabionů z ocelového pletiva 50 až 100 mm. Rozměry košů se mohou lišit dle přání zákazníka, zpravidla se ale jako základní tvar používá koš o šířce i výšce 1 m s délkou v násobcích celých metrů. Při výškách do 0,5 m hovoříme o tzv. matracích.



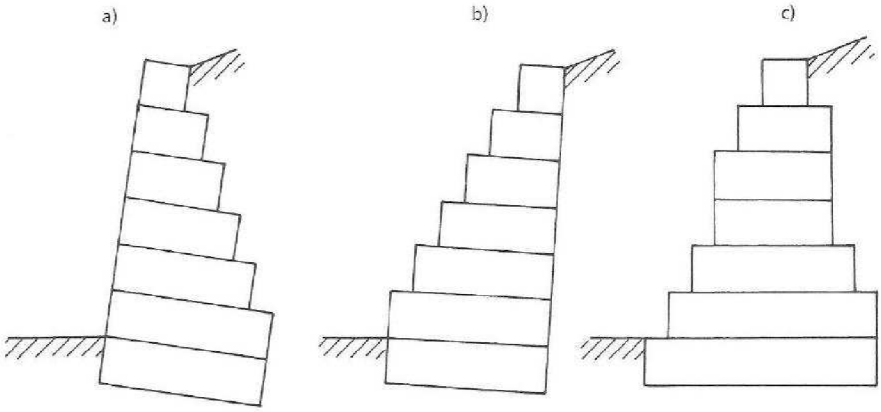
Obr. 3-1 Spojování gabionových sítí [10]

Druhým stavebním prvkem důležitým pro zhotovení gabionů je výplňový materiál. Používají se hlavně horniny, které jsou dostupné z místních zdrojů a odolné proti zvětrávání. Přední pohledová strana bývá vyskládána z hladkého lomového kamene, který dává celé konstrukci architektonický ráz. Zbytek klece se zasype méně kvalitním kamenivem s jemnější frakcí. Jako plnivo se též používá betonová drť,

keramika, tvrdé dřevo nebo jiný recyklovatelný materiál. V případě plnění koše zeminou je nutné po stěnách umístit geotextilii. Je důležité plnit koše stejným druhem zeminy, která se musí po určitých vrstvách zhutňovat. [2] [10]

3.4 Uspořádání gabionových stěn a jejich posouzení

Gabionová stěna vzniká střídavým ukládáním jednotlivých košů tak, aby byla každá styčná spára převázaná. Koše se navíc spojují ocelovými sponami, které zvyšují tuhost celé konstrukce. Líc stěny bývá ukloněn maximálně o 10^0 od vertikály proti svahu, z čehož vyplývá, že základová spára je také ukloněná. Zakládá se ve většině případů do nezámrzné hloubky. Ve směru narůstající výšky stěny se gabiony postupně odstupňují. Odstupňování může být provedeno ze strany lícní, rubové nebo z obou stran.



Obr. 3-2 Odstupňování gabionových stěn [2]

Pokud je použito dostatečně propustného výplňového materiálu, není třeba provádět odvodnění rubové strany. Dešťová voda stékající ze svahu se zachytává rigolem, který se umisťuje za korunu stěny.

U gabionů se provádí stejné posudky jako u opěrných stěn (viz kapitola 2.1). Navíc se musí posoudit: [2]

- stabilita jednotlivých stupňů – je nutné prokázat stabilitu proti překlopení a posunutí

- posouzení na roztrhnutí dříku gabionové stěny – posuzuje se, zda dojde k přetržení drátů sítě. Výpočet ovlivňuje výplňový materiál koše a preciznost technologického provádění stěny.

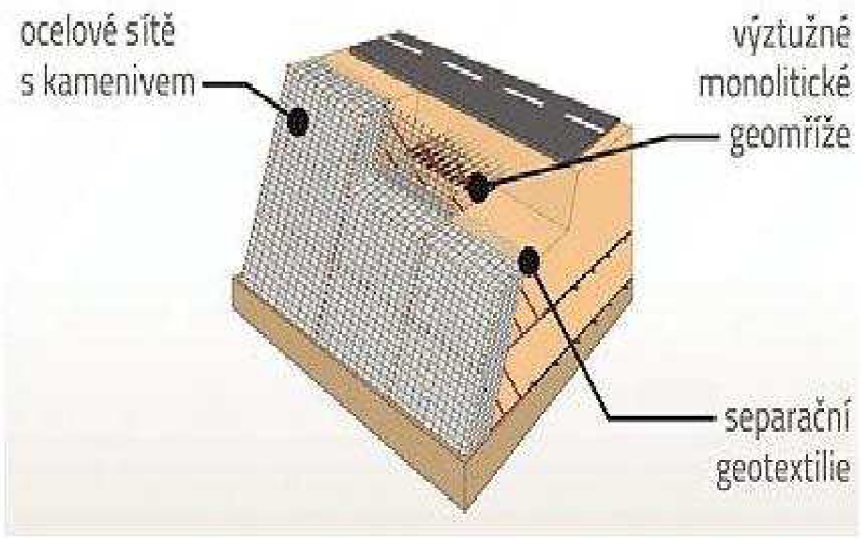
- únosnost tahové výztuže – pouze pokud je navrhnuta. Může se použít ocelová síťovina nebo geosyntetika.

Obr. 3-3 Příklad gabionové stěny [11]

4 VYZTUŽENÉ SVAHY GEOSYNTETIKAMI

Jsou to speciální konstrukce, které se podobají gravitačním opěrným stěnám. Skládají se opět ze dvou základních částí a to z výztuže a ze zeminy. Jako výztuž se obvykle používají georohože, geomříže nebo geotextílie. Oproti ostatním opěrným konstrukcím mají menší nároky na únosnost základové půdy. Pohledová strana vyztuženého svahu se obkládá například tenkými železobetonovými tvarovkami nebo gabionovou stěnou. Mezi největší výhody patří: [2]

- rychlá a suchá montáž a s tím spojená cenová dostupnost
- variabilita povrchových úprav vzdušné strany svahu
- dobrá trvanlivost bez větších nároků na údržbu
- použití materiálu vytěženého na místě



Obr. 4-1 Vyztužený svah typ rockwall [12]

5 PORUCHY OPĚRNÝCH KONSTRUKCÍ

Poruchy opěrných konstrukcí se nejčastěji navenek projevují jako trhliny, natočení nebo sednutí konstrukce. Tyto jevy mají za následek částečnou nebo úplnou ztrátu stability. Je důležité si uvědomit, že sanaci nebo návrh nové konstrukce není možné provádět bez dokonalé studie příčiny poruchy. Za předpokladu dodržení předepsané technologie provádění a použití vhodného materiálu patří mezi nejčastější příčiny vzniku poruch nebo totálních selhání tyto jevy:

- nedostatečná hloubka založení
- změna hladiny podzemní vody
- dodatečné přitížení terénu od okolních staveb
- neodvodnění konstrukce
- nedostatečná dimenze na zemní tlak (ohyb konstrukce)

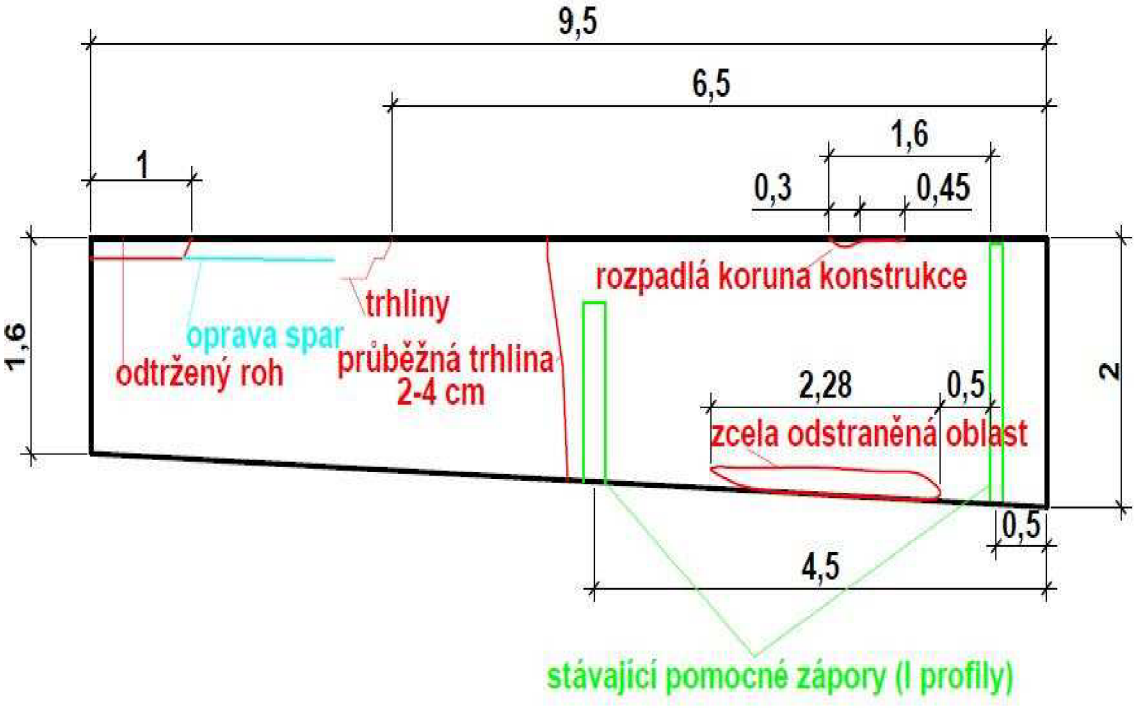
6 PRAKTICKÁ APLIKACE

6.1 Popis stávající konstrukce

Úkolem práce je navrhnout a posoudit opěrnou stěnu, která má nahradit stávající silně porušenou opěrnou konstrukci nacházející se v obci Rebešovice - ulice Na Dědině. Jedná se o gravitační opěrnou stěnu z prostého betonu celkové délky 9,5 m podepírající svah výšky 0,63 m (výška nad korunou zdi) a délky 4 m. Úhel, který svírá rovina svahu s horizontálou, byl stanoven na 9^0. Přitížení od domu stojícího na svahu bude pro výpočet zjednodušeně uvažováno 20 kPa v úrovni terénu.

Stěna byla zajištěna proti posunutí a pootočení dvěma ocelovými I profily. Průběh a porušení konstrukce jsou naznačeny na obr. 6-2.

Obr. 6-1 Stávající stav konstrukce



Obr. 6-2 Schéma porušení konstrukce

Obr. 6-3 Lokalita Rebešovic a okolí [1]

6.2 Geomorfologické poměry

6.2.1 Poloha a popis lokality

Obec Rebešovice se rozkládá na levém břehu řeky Svratky v Jihomoravském kraji, jižně od Brna směrem na Rajhrad, v Dyjsko-svrateckém úvalu. Průměrná nadmořská výška se pohybuje kolem 220 m n. m. Katastrální výměra obce činí 411 ha. Sousedními obcemi jsou Popovice, Modřice, Otmarov, Chrlice a Rajhradice (obr. 6-3). Západní okraj obce je lemován Ivanovickým potokem, který napájí místní vodní nádrž menšího rozsahu.

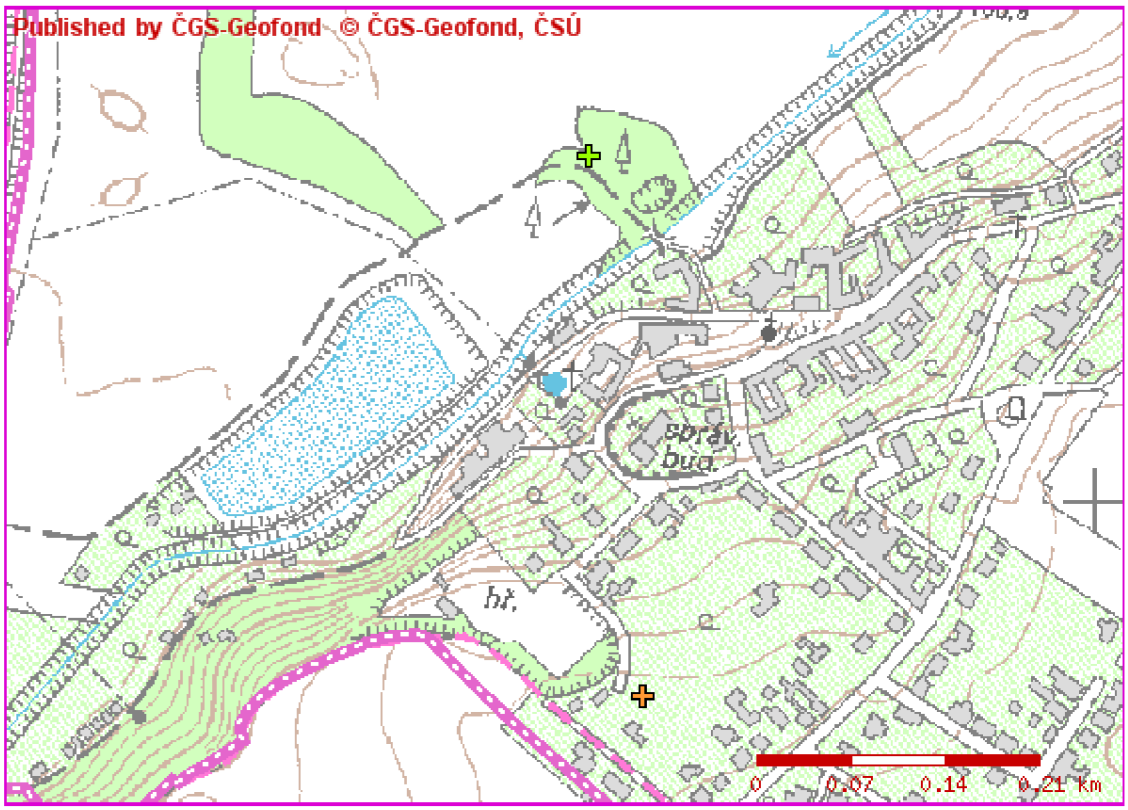
6.2.2 Přiřazení ke geomorfologické jednotce

Systém:	Alpsko-himalájský
Subsystém:	Karpaty
Provincie:	Západní Karpaty
Subprovincie:	Vněkarpatské sníženiny
Oblast:	Západní vněkarpatské sníženiny
Celek:	Dyjsko-svratecký úval
Podcelek:	Rajhradská pahorkatina

6.2.3 Vrtná prozkoumanost

V oblasti Rebešovic byly provedeny dva vrty, a to vrt B-25 provedený v jižní části obce (na obr. 6-4 znázorněn zeleným křížkem) a hydrogeologický vrt VJ-29, který byl proveden v severní části obce (na obr. 6-4 znázorněn oranžovým křížkem). Bližší informace o jednotlivých vrtech jsou zaznamenány v tab. 6-1 až 6-4.

Pozn.: Podrobné informace se pořizují za poplatek (pro studenty zdarma). Informace v tab. 6-1 až 6-4 jsou pořízené za poplatek firmou Geostar, spol. s r. o.



Obr. 6-4 Vrtná prozkoumanost Rebešovic [13]

Tab. 6-1 Vrt VJ-29 – základní informace

Stát	Česká republika
Jazyk	česky
Název databáze	GDO
ID	452128
Původní název	VJ-29
Zkrácený název	VJ-29
Rok vzniku objektu	1962
Poskytovatel dat	Česká geologická služba - Geofond
Hloubka vrtu (m)	X.30
Primární dokumentace	GF P015503
Souřadnice X - JTSK [m]	1170743.36
Souřadnice Y - JTSK [m]	597374.86
Způsob zaměření X,Y	zaměřeno
Výškový systém	Balt po vyrovnání
Nadmořská výška - souřadnice Z	188.24
Inklinometrie (Y/N)	N
Účel	hydrogeologický

Tab. 6-2 Vrt VJ-29 – geologický profil

Hloubka (m)	Stratigrafie	Popis
0 - 1	Kvartér	hlína písčitá humózní hnědá šedá
1 - 1.70	Kvartér	hlína jílovitá světlá hnědá
1.70 - 2	Kvartér	hlína jílovitá písčitá světlá hnědá
2 - 2.40	Kvartér	hlína písčitá tmavá šedá hnědá
2.40 - 3	Kvartér	hlína silně písčitá tmavá šedá
3 - 4.10	Kvartér	písek střednozrnný jílovitý šedá
4.10 - 8.30	Kvartér	štěrk max. velikost částic 2 dm žlutá šedá
		písek střednozrnný
8.30 - 10.30	Badén	slín písčitý šedá

Tab. 6-3 Vrt B-25 – základní informace

Stát	Česká republika
Jazyk	česky
Název databáze	GDO
ID	451730
Původní název	B-25
Zkrácený název	B-25
Rok vzniku objektu	1969
Poskytovatel dat	Česká geologická služba - Geofond
Hloubka vrtu (m)	8
Primární dokumentace	GF P022010
Souřadnice X - JTSK [m]	1171144
Souřadnice Y - JTSK [m]	597335
Způsob zaměření X,Y	zaměřeno
Výškový systém	Jadran-Lišov
Nadmořská výška - souřadnice Z	217.70
Inklinometrie (Y/N)	N
Účel	ložiskový (bez bližšího určení)
Hydrogeologické údaje (Y/N)	N
Hloubka hladiny podzemní vody [m]	
Druh hladiny podzemní vody	suchý vrt
Karotáž (Y/N)	N
Provedené zkoušky	technologické, mineralogické a petrografické rozbory a zkoušky
Hmotná dokumentace (Y/N)	N
Druh objektu	vrt svislý
Geologický profil (Y/N)	Y
Organizace provádějící	GPO, závod Rýmařov

Tab. 6-4 Vrt B-25 – geologický profil

Hloubka (m)	Stratigrafie	Popis
0 - 0.15	Holocén	hlína humózní
0.15 - 1	Pleistocén	hlína silně písčitý
		písek
1 - 2.40	Pleistocén	písek limonitizovaný
2.40 - 3.40	Pleistocén	písek žlutá hnědá
3.40 - 5	Pleistocén	písek
		štěrk slabě
5 - 6.60	Pleistocén	písek, příměs: štěrk
6.60 - 7	Pleistocén	štěrkopísek žlutá hnědá
7 - 7.40	Neogén	jíl zelená
7.40 - 8	Neogén	jíl tuhý zelená šedá

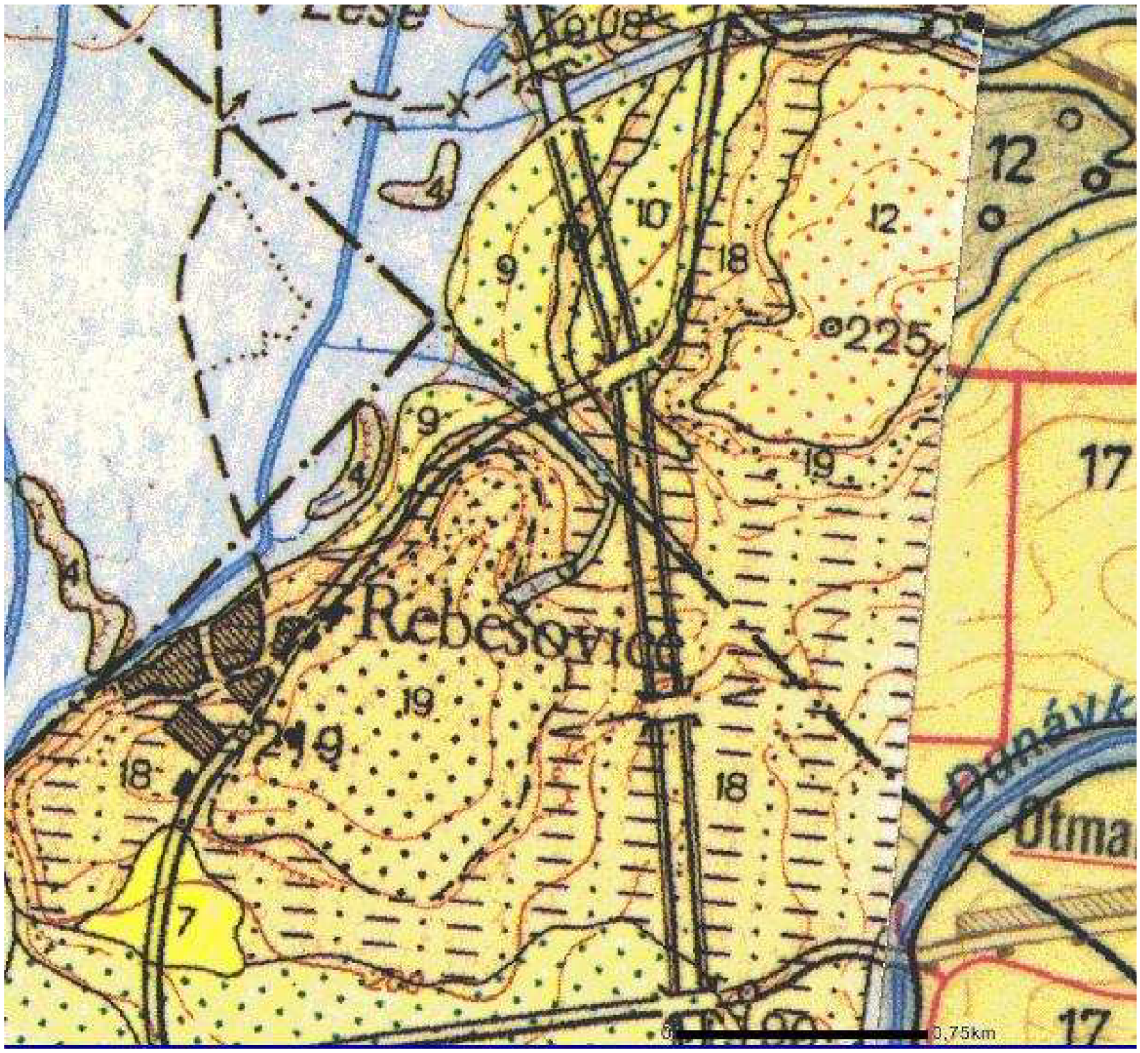
6.3 Geologické a hydrogeologické poměry širšího okolí

6.3.1 Kvartér

Geologická stavba širšího okolí Rebešovic je velice rozmanitá. Na severozápadě se nacházejí převážně kvartérní pokryvy tvořené deluviofluviálními, hlinitopísčitými sedimenty z období holocénu. Místy se objevují menší jednotky tvořené sprašemi a sprašovými hlínami někdy s úlomky hornin, dále fluviální písky a písčité štěrky z období středního a spodního pleistocénu. [14]

6.3.2 Terciér

Terciérní horniny pokrývají střed území obce Rebešovice a jsou tvořeny vápnitými jíly (tégly), vápnitými písky a písčitými štěrky spodního badénu. Hladina podzemní vody nebyla v zájmovém území zastižena, vrstvy tvořené vápnitými jíly vykazují pouze zemní vlhkost. [14]



Obr. 6-5 Geologická mapa Rebešovic a okolí [14]

6.4 Vstupní údaje

Pro návrh nové opěrné stěny byla firmou Geostar provedena jedna kopaná sonda z lícní strany konstrukce do úrovně základové spáry. Sonda se prováděla do hloubky 0,5 m a z laboratorních zkoušek byly zjištěny následující parametry:

Konzistence:	tvrdá
Třída ČSN 73 6133:	F3MS
Efektivní úhel vnitřního tření zeminy:	26^0
Efektivní koheze:	24 kPa

Poissonovo číslo:	0,35
Objemová tíha nesaturované zeminy:	18 kNm^{-3}

Pro případ zhoršení podmínek v zemině vlivem dešťové vody bude výpočet proveden pro zeminu F3MS konzistence pevné s těmito parametry:

Konzistence:	pevná
Třída ČSN 73 6133:	F3MS
Efektivní úhel vnitřního tření zeminy:	24^0
Efektivní koheze:	20 kPa
Poissonovo číslo:	0,35
Objemová tíha nesaturované zeminy:	18 kNm^{-3}
Deformační modul E_{def}:	12 MPa

S touto zeminou bude uvažováno i za rubem zdi. Hladina podzemní vody nebyla zjištěna, a proto bude výpočet proveden v efektivních parametrech zeminy.

Součinitelé spolehlivosti zeminy dle ČSN 73 0037

$\gamma_{m\varphi} = 1,1$	součinitel efektivního úhlu tření zeminy
$\gamma_{mc} = 1,4$	součinitel efektivní koheze
$\gamma_{mv} = 1,1$	součinitel Poissonova čísla

Součinitelé spolehlivosti zatížení

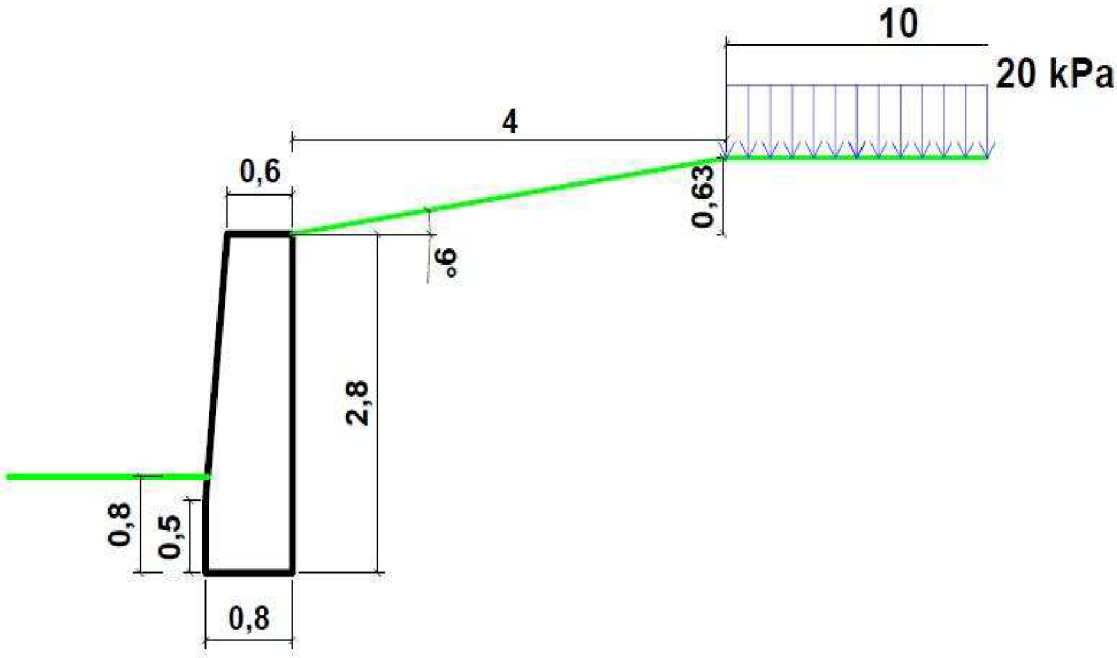
$\gamma_{fy} = 1,0$	součinitel pro rostlou zeminu dle ČSN 73 0037
$\gamma_{f} = 0,95$	součinitel pro masivní betonové prvky dle ČSN 73 0035

Z důvodu případné rekonstrukce přilehlé komunikace nebude uvažováno s pasivním odporem na lícní straně. Úlohu převedeme na 2D tj. počítáme 1 bm délky konstrukce. Přitížení od domu bude působit zjednodušeně v úrovni terénu hodnotou 20 kPa v délce 10 m. Výpočet je proveden za předpokladu pootočení či posunutí zdí, což vede k aktivaci aktivního zemního tlaku, který je počítán podle Coulombovy teorie dle ČSN 73 0037. Odklon výslednice aktivních sil je podle zvyklosti:

$$\delta_{ad} = 2/3\ \varphi_{efd} \qquad (6\text{-}1)$$

Návrh rozměrů

Hloubka založení	0,8 m
Šířka koruny zdi	0,6 m (zajištění tuhosti příčného řezu)
Výška zdi	2,8 m
Šířka základu	0,8 m
Výška základu	0,5 m



Obr. 6-6 Návrh rozměrů příčného řezu

Plocha příčného řezu zdi

$A = 0,8 * 0,5 + 2,3 * 0,6 + (2,3 * 0,2) / 2 = 2,01\ m^2$

Objemová tíha prostého betonu

$\gamma_b = 24\ kNm^{-3}$

6.5 Vstupní výpočtové parametry

Výpočtový úhel efektivního tření zeminy

$$\varphi_{efd} = \varphi_{ef} / \gamma_{m\varphi} = 24^0 / 1,1 = 21,818^0$$

Výpočtová efektivní koheze

$$c_{efd} = c_{ef} / \gamma_{mc} = 20 / 1,4 = 14,286\ kPa$$

Výpočtová hodnota objemové tíhy zeminy

$$\gamma_{zd} = \gamma_z * \gamma_{fy} = 18 * 1{,}0 = 18{,}00 \text{ kNm}^{-3}$$

Výpočtová hodnota objemové tíhy betonu

$$\gamma_{bd} = \gamma_b * \gamma_f = 24 * 0{,}95 = 22{,}80 \text{ kNm}^{-3}$$

Odklon výslednice aktivních sil

$$\delta_{ad} = 2 / 3 * \varphi_{efd} = 2 / 3 * 21{,}818 = 14{,}545^0$$

Výpočtová tíha zdi

$$G = \gamma_{bd} * A = 22{,}8 * 2{,}01 = 45{,}828 \text{ kNm}^{-1}$$

Geostatické napětí v hloubce 2,8 m

$$\sigma_z = \gamma_{zd} * h = 18 * 2{,}8 = 50{,}4 \text{ kPa}$$

6.6 Teorie výpočtu aktivního zemního tlaku dle GEO 5

Aktivní zemní tlak – Coulombova teorie

$$\sigma_a = \sigma_z * K_a - 2 * c_{efd} * K_{ac} \qquad (6\text{-}2)$$

K_a – součinitel aktivního zemního tlaku

K_{ac} – součinitel aktivního zemního tlaku vyjadřující vliv soudržnosti

Součinitel aktivního zemního tlaku je dán vztahem:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2\alpha * \cos(\alpha + \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) * \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) * \cos(\alpha - \beta)}}\right]^2} \qquad (6\text{-}3)$$

φ Výpočtový efektivní úhel tření zeminy

α Odklon rubu líce od vertikály

δ Úhel tření mezi zdí a zeminou

β Sklon povrchu terénu

Součinitel aktivního zemního tlaku vyjadřující vliv soudržnosti pro $\alpha \le \frac{\pi}{4}$:

$$K_{ac} = \frac{K_{abc}}{\cos(\delta + \alpha)} \qquad (6\text{-}4)$$

$$K_{abc} = \frac{\cos\varphi * \cos\beta * \cos(\delta - \alpha) * (1 + tg(-\alpha) * tg\beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)} \qquad (6\text{-}5)$$

6.7 Výpočet

Hodnoty v tabulkách byly spočítány v programu GEO 5 a jsou udávány v absolutních hodnotách, neodpovídají souřadnému systému na obr. 6-7. Jednotlivé posudky budou pro názornost ručně rozepsány.

6.7.1 Síly a tlaky působící na konstrukci

Tab. 6-5 Přehled vstupních návrhových parametrů (výstup z GEO 5)

φ_d	c_d	γ	δ_d	K_a
[°]	[kPa]	[kN/m^3]	[°]	
21,82	14,29	18	14,55	0,473

Tab. 6-6 Tlaky od zeminy a od přitížení (výstup z GEO 5)

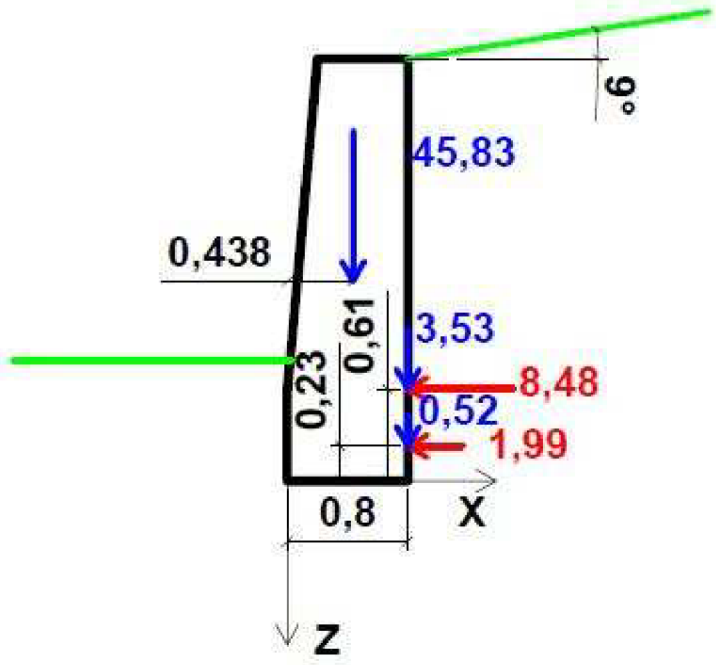
tlak	hloubka	σz	tlak	vod. složka	sv. složka
	[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
aktivní zemní	2,8	50,4	5,91	5,72	1,48
od přitížení	2,8			7,29	1,89

Tab. 6-7 Spočtené síly působící na konstrukci (výstup z GEO 5)

název	F_{vod}	Působiště z	F_{svis}	Působiště x
	[kN/m]	[m]	[kN/m]	[m]
tíha - zeď	0	1,328	45,83	0,438
aktivní tlak	1,99	0,23	0,52	0,800
přitížení	8,48	0,61	3,53	0,800

Tab. 6-8 Síly působící ve středu základové spáry (výstup z GEO 5)

Síly působící ve středu základové spáry			
Celkový moment	M =	2,27	kNm / bm
Normálová síla	N =	49,88	kN / bm
Smyková síla	V =	10,47	kN / bm



Obr. 6-7 Velikost a působiště sil působících na konstrukci

6.7.2 Posouzení na překlopení

Moment vzdorující otáčí kolem počátku souřadného systému po směru hodinových ručiček a je dán součtem momentů svislých sil působících na příslušných ramenech. Moment klopící působí proti směru hodinových ručiček a tvoří ho suma momentů od vodorovných sil na příslušných ramenech.

Moment vzdorující

$$M_{vzd} = 45,83 * 0,44 + (3,53 + 0,52) * 0,8 = 23,41 \text{ kNm / bm}$$

Součinitel stability polohy

$$\gamma_{stp} = 0,9$$

Moment klopící

$$M_{kl} = 1,99 * 0,23 + 8,48 * 0,61 = 5,63 \text{ kNm / bm}$$

Posouzení

$$\gamma_{stp} * M_{vzd} / M_{kl} = 0,9 * 23,41 / 5,63 = 3,74 > 1,5$$

Zeď na překlopení VYHOVUJE

Posouzení na překlopení se může provést dle způsobu, který jsme uvedli výše, nebo se posuzuje excentricita výslednice sil v základové spáře (6-7). K tomu je nutné nejprve stanovit polohu výslednice všech sil v základové spáře (6-6) k bodu otáčení konstrukce (v našem případě k počátku souřadného systému). Posouzení excentricity je výhodnější, protože ji budeme potřebovat k určení efektivní plochy základu, přes kterou se přenáší napětí do základové půdy.

$$a_R = \frac{\sum M}{\sum F_{svis}} \qquad (6\text{-}6)$$

$$e = \frac{b}{2} - a_R < \frac{b}{6} \qquad (6\text{-}7)$$

$$a_R = \frac{23,41 - 5,63}{45,83 + 0,52 + 3,53} = 0,356 \text{ m}$$

$$e = \frac{0,8}{2} - 0,356 = 0,044 \text{ m} < \frac{0,8}{6} = 0,133 \text{ m}$$

Bezpečnost proti překlopení je zajištěna

6.7.3 Posouzení na posunutí v základové spáře

Součet svislých sil (vzdorujících)

$$\sum V = 45,83 + 3,53 + 0,52 = 49,88 \text{ kN / bm}$$

Součet vodorovných sil (posouvajících)

$$\sum H = 8,48 + 1,99 = 10,47 \text{ kN / bm}$$

Efektivní šířka základu

$$b_{ef} = b - 2 * e = 0,8 - 2 * 0,044 = 0,712 \text{ m}$$

Výpočtová efektivní koheze

$$c_{efd} = 14,286 \text{ kPa}$$

Posouzení

$$\frac{\gamma_{stp} * (\sum V * tg\varphi_{efd} + c_{efd} * b_{ef})}{\sum H} = \frac{0,9 * (49,88 * tg\,21,818^0 + 14,286 * 0,712)}{10,47} = 2,59$$

$2,59 > 1,5$

Zeď na posunutí VYHOVUJE

6.7.4 *Posouzení na pootočení*

V programu GEO 5 – tížná zeď není přímo zahrnut posudek na pootočení, proto bude dopočítán ručně. Vzhledem k tomu, že ve výpočtu uvažujeme pouze jednu zeminu, můžeme pootočení zdi vypočítat dle vztahu (2-1). Tato úvaha je však velice nepřesná, protože nelze předpokládat, že se zemina zjištěná kopanou sondou nachází v takové mocnosti, v které se ještě výrazně projevuje sedání. Dle (2-1) je pootočení:

$$tg\alpha = \frac{12 * M}{\pi * E_{def} * b^2} = \frac{12 * 2,27}{\pi * 12 * 10^3 * 0,8^2} = 0,00113$$

Hodnota maximálního nerovnoměrného sedání je $\Delta s = 0,003$

Posouzení

$\Delta s \geq tg\alpha$

$0,003 \geq 0,00113$ Zeď na pootočení VYHOVUJE

6.7.5 *Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)*

V kapitole 6.4 jsme zavedli předpoklad zanedbání pasivního odporu na lícní straně základu pro případ rekonstrukce přilehlé komunikace. Pro výpočet stability svahu můžeme stejně zanedbat zeminu z lícní strany základu. Výpočet stability nebude přesný, ale v důsledku stabilizujících účinků zanedbané zeminy bude na stranu bezpečnou. Parametry smykové plochy po optimalizaci jsou vztaženy k souřadnému systému

s počátkem v nejvyšším bodě zdi na rubové straně. Kladná osa x směřuje doprava a kladná osa z vzhůru.

Tab. 6-9 Kritická smyková plocha (výstup z GEO 5)

Parametry smykové plochy po optimalizaci							
Střed	x =	-0,36	[m]	Úhly	α_1 =	-3,78	[°]
	z =	4,76	[m]		α_2 =	56,98	[°]
Poloměr	R =	7,57	[m]				

Sumace aktivních sil: F_a = 113,35 kN/bm

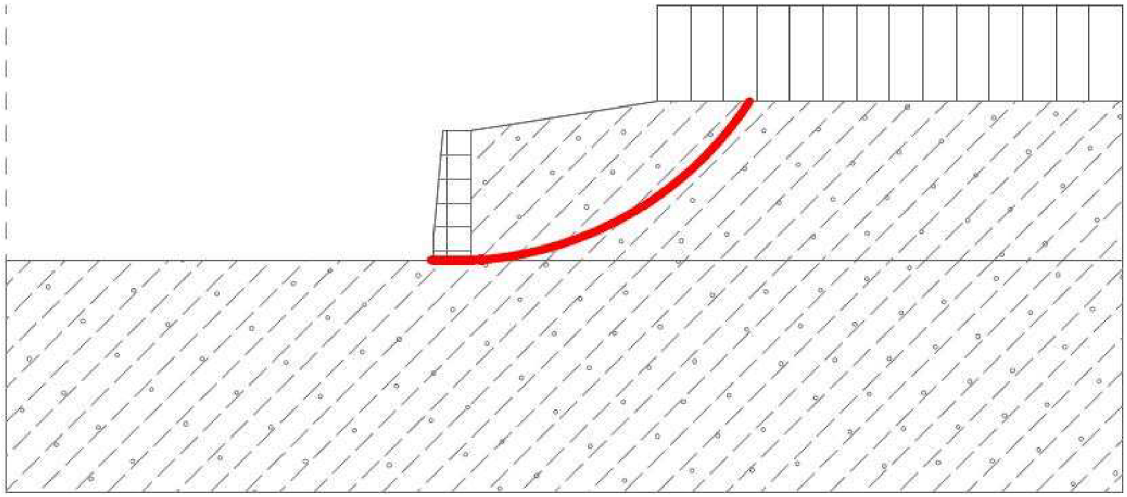
Sumace pasivních sil: F_p = 283,66 kN/bm

Moment sesouvající: M_a = 858,56 kNm/bm

Moment vzdorující: M_p = 2148,60 kNm/bm

Stupeň bezpečnosti: M_p / M_a = 2148,60 / 858,56 = 2,50

2,50 > 1,50 Stabilita svahu VYHOVUJE



Obr. 6-8 Průběh kritické smykové plochy

6.7.6 Ruční výpočet a posouzení únosnosti základové půdy

Pro výpočet kontaktního napětí v základové spáře byla použita tíha zdi se součinitel pro masivní betonové prvky γ_f = 0,95 (γ_{fmax} = 1,05), což ale odporuje zásadě, že se mají použít takoví součinitelé, kteří dávají nejméně příznivé účinky. Postup

výpočtu byl proveden dle literatury (Lamboj, L., Štěpánek, Z.: Mechanika zemin a zakládání staveb, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2008), kde je pro kontaktní napětí použita tíha zdi se součinitelem γ_f = 0,95. Dle ČSN 73 1001 (Brinch Hansen) se únosnost plošných základů spočte dle vzorce:

$$R_d = c_d * N_c * s_c * d_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * d_d * i_d + \gamma_2 * \frac{b_{ef}}{2} * N_b * s_b * d_b * i_b \qquad (6\text{-}8)$$

Pro 2. a 3. geotechnikou kategorii musí být splněna podmínka:

$$R_d \geq \sigma_{de} \qquad (6\text{-}9)$$

Součinitelé spolehlivosti zeminy pro výpočet únosnosti základové půdy

$\gamma_{mc} = 2$

pro $\varphi > 12$ $\qquad \gamma_{m\varphi} = \frac{\varphi}{\varphi - 4} = \frac{24}{20} = 1{,}2$

Výpočtové parametry zeminy

$$c_d = \frac{c}{\gamma_{mc}} = \frac{20}{2} = 10 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = \frac{\varphi}{\gamma_{m\varphi}} = \frac{24}{1{,}2} = 20^0$$

Mezivýsledky

$$N_d = tg^2(45 + \frac{\varphi_d}{2}) * \exp(\pi * tg\varphi_d) = tg^2(45 + 10) * \exp(\pi * tg\,20) = 6{,}399$$

$$N_c = (N_d - 1) * \cot g\,\varphi_d = (6{,}399 - 1) * \cot g\,20 = 14{,}834$$

$$N_b = 1{,}5 * (N_d - 1) * tg\varphi_d = 1{,}5 * (6{,}399 - 1) * tg\,20 = 2{,}948$$

$$tg\delta = \frac{\sum H}{\sum V} = \frac{10{,}47}{49{,}88} = 0{,}210$$

$$i_c = i_d = i_b = (1 - tg\delta)^2 = (1 - 0{,}210)^2 = 0{,}624$$

Pro zdi, u kterých převládá délkový rozměr, platí:

$$s_c = s_d = s_b = 1$$

$$d_c = 1 + 0{,}1 * \sqrt{\frac{d}{b_{ef}}} = 1 + 0{,}1 * \sqrt{\frac{0{,}8}{0{,}712}} = 1{,}106$$

$$d_d = 1 + 0{,}1 * \sqrt{\frac{d}{b_{ef}} * \sin(2 * \varphi_d)} = 1 + 0{,}1 * \sqrt{\frac{0{,}8}{0{,}712} * \sin(2 * 20)} = 1{,}085$$

$$d_b = 1$$

Svislá únosnost základové půdy dle (6-8)

$$R_d = 10 * 14{,}834 * 1 * 1{,}106 * 0{,}624 + 18 * 0{,}8 * 6{,}399 * 1 * 1{,}085 * 0{,}624 +$$

$$+ 18 * \frac{0{,}712}{2} * 2{,}948 * 1 * 1 * 0{,}624 = \ 176{,}55 \text{ kPa}$$

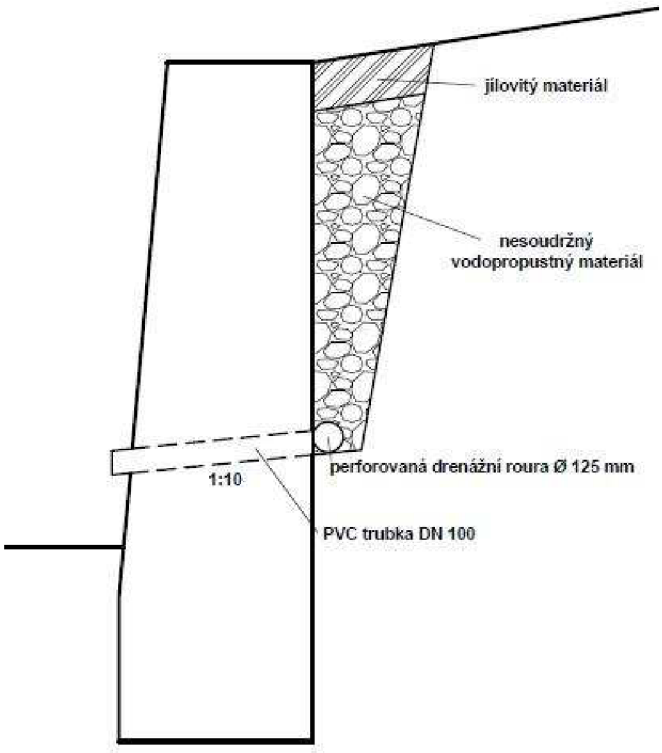
Napětí v základové spáře

$$\sigma_{de} = \frac{\Sigma V}{A_{ef}} = \frac{\Sigma V}{b_{ef} * 1} = \frac{49{,}88}{0{,}712 * 1} = \ 70{,}06 \text{ kPa}$$

Posouzení dle (6-9)

$176{,}55 \geq 70{,}06$ kPa Svislá únosnost VYHOVUJE

6.8 Odvodnění



Obr. 6-9 Schéma odvodnění zdi

Odvodnění bude provedeno pomocí PVC trubek DN 100, které se zakotví do bednění se sklonem 1:10. Trubky, v osové vzdálenosti 2 m, se na lícní straně zdi přesáhnou o 75 mm tak, aby voda nestékala po povrchu zdi. Za rub zdi se uloží perforovaná drenážní roura průměru 125 mm a na ni se nasype a zhutní úzký klín nesoudržného vodopropustného materiálu, který se na povrchu překryje vrstvou jílovité zeminy, aby se stékající dešťová voda zbytečně nedostávala za rub zdi a nezhoršovala tak vlastnosti půdy. Vzhledem k délce stěny není nutné provádět dilatační spáry.

6.9 Orientační odhad nákladů materiálu

V odhadu nákladů jsou zahrnuty pouze spotřebované případně vypůjčené materiály bez dodávek stavebních prací. Např. cena betonu je udávána bez dopravy na staveniště. Není zde zahrnuta cena bouracích, stavebních a zemních prací aj. Čas pro stanovení ceny výpůjčky bednění DOMINO byl odhadnut na 15 dní (doprava na staveniště, montáž a demontáž bednění, betonáž, tvrdnutí betonu).

Tab. 6-10 Orientační cena použitého systému bednění

Název Rozměry [m]	Orientační cena kus / den [Kč]	počet dnů	kusů	Cena [Kč]
Stěnové bednění DOMINO				
Panel D 2,5 x 1	38,00	15	18	10 260,00
Panel D 2,5 x 0,5	30,00	15	10	4 500,00
Příslušenství k bednění				
Stabilizátor RSS I	11,00	15	3	495,00
Patka pro RSS I	1,50	15	3	67,50
Zámek DRS	3,00	15	60	2 700,00
Vyrovnávací závora DAR	5,00	15	24	1 800,00
Táhlo DW L = 1,2 m	0,50	15	30	225,00
Křídlová matice DW 15 pozink	0,25	15	60	225,00
			Suma ∑ =	**20 272,50**

Stěna bude zhotovena z betonu C 25/30 XF2. Celková kubatura betonu je:

$$A * L = 2{,}01 * 9{,}5 = 19{,}10 \text{ m}^3$$

Cena 1 m^3 betonu C 25/30 XF2 2 880,00 Kč

19,10 * 2 880,00 = 55 008,00 Kč

Podkladní beton tloušťky 100 mm z C 16/20 se rozšíří z důvodu montáže bednění na každé straně zdi o 300 mm.

$$(0{,}8 + 2 * 0{,}3) * (9{,}5 + 2 * 0{,}3) * 0{,}1 = 1{,}414 \text{ m}^3$$

Pro zajištění bednění stabilizátory RSS I je potřeba vybetonovat 3 patky čtvercového půdorysu s délkou hrany 0,3 m. Hloubka patky je 0,6 m.

$$0{,}3 * 0{,}3 * 0{,}6 * 3 = 0{,}162 \text{ m}^3$$

Cena 1 m^3 betonu C 16/20 2 365,00 Kč

(1,414 + 0,162) * 2 365,00 = 3 727,24 Kč

Odhad nákladů ostatních materiálů (perforovaná drenážní roura, PVC trubky, drenážní materiál aj.) 5 000,00 Kč

Celková cena materiálu (pouze orientační)

$$\sum = 20\,272{,}50 + 55\,008{,}00 + 3\,727{,}24 + 5\,000{,}00 = 84\,007{,}74 \text{ Kč}$$

Cena materiálu je přibližně 85 000,00 Kč

7 ZÁVĚR

Bakalářské práce měla ve své teoretické části za cíl vytvořit ucelený přehled nejčastěji používaných opěrných stěn v České republice a charakterizovat jejich výhody či nevýhody. Dále byl popsán způsob posouzení, který se u jednotlivých typů stěn provádí. Stručně byly popsány i nejčastější příčiny poruch opěrných konstrukcí.

V praktické části byla navržena a posouzena opěrná zeď z prostého betonu v obci Rebešovice. Ze statického výpočtu vyplynula značná rezerva, což vede k zamyšlení, zda je návrh konstrukce ekonomický. Orientačně bylo dále provedeno ekonomické posouzení, z kterého vyplývá, že cena materiálů (bez dodávek stavebních prací) potřebných k výstavbě činí zhruba 85 000 Kč. Je však nutné zdůraznit, že na staveništi byla provedena pouze jedna kopaná sonda, která byla provedena na lícní straně do úrovně základové spáry. Parametry získané zeminy, s kterou bylo zjednodušeně počítáno i za rubem zdi a v podloží, byly sice sníženy pro případ zhoršení půdních podmínek vlivem dešťové vody, avšak toto zjednodušení je velice nepřesné. Pro správný a ekonomický návrh konstrukce by bylo zapotřebí provést podrobnější geotechnický průzkum (zejména zjištění zemin v podloží a za rubem zdi).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] MAPY. CZ. *Lokace Rebešovic* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://mapy.cz/#x=16.660770&y=49.130833&z=10>.

[2] TURČEK, P., HULLA, J. Zakladanie stavieb. Druhé rozšírené a doplnené vydání. Bratislava: Jaga group, s. r. o., 2004. 354 s. ISBN 80-88905-42-7

[3] HORNÍK, M. *ZEĎ a ŠTĚT - stavby z kamene - Suchá zeď* [online]. © 2006-2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.zedastet.cz/cz/nase-prace.php/1-sucha-kamenna-zed.htm>.

[4] VACEK, P. *VERTICO, s.r.o. - Sanace svahu a opěrné zdi na p.p.č.2061 v k.ú. K. Vary* [online]. © 2006 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.vertico.cz/reference/cas.html#>.

[5] BAŽANT, Z. Betonové konstrukce I: Modul CS3 Brno: Nakladatelství CERM, 2005. 56 s.

[6] STAVEBNÍ KOMUNITA. CZ. *Opěrné zdi - stavebnikomunita.cz* [online]. © 2012 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/operne-zdi>.

[7] LAMBOJ, L., ŠTĚPÁNEK, Z. Mechanika zemin a zakládání staveb. Třetí přepracované vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 218 s. ISBN 80-01-01437-1

[8] *Historie gabionu* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://gabiony.org/historie-gabionu/>.

[9] *Výhody opěrných obkladních a protihlukových staveb z gabionu* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://gabiony.org/vyhody-opernych-obkladnich-protihlukovych-staveb-gabionu>.

[10] *Stavba gabionových konstrukcí* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://gabiony.org/stavba-gabionovych-konstrukci/>.

[11] *Fotogalerie gabionu* [online]. © 20011 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://gabiony.org/fotogalerie/?nggpage=3>.

[12] GEOMAT s. r. o. *Tensartech RockWall - systém pro opěrné zdi a strmé svahy s kamenivem na líci* [online]. © 2006 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/system-tensartech-rockwall/419>.

[13] ČGS-GEOFOND. *ČGS-Geofond - Mapový server* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.geofond.cz/mapsphere/MapWin.aspx?M_WizID=24&M_Site=geofond&M_Lang=cs>.

[14] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *GeoINFO* [online]. © 2004 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/viewer3.htm>.

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

aj.	a jiné
ČSN	česká technická norma
DN	průměr
např.	například
PVC	polyvinylchlorid
Pozn.	poznámka
tab.	tabulka
tj.	to jest
tzn.	to znamená
tzv.	takzvaný

a_R	[m]	poloha výslednice sil
A	[m^2]	plocha příčného řezu zdi
A_{ef}	[m^2]	efektivní plocha zdi
B, b, (b_{ef})	[m]	šířka základu (efektivní šířka základu)
c, c_{ef}, c_{efd},	[kPa]	koheze, efektivní koheze, výpočtová efektivní koheze
c_d	[kPa]	výpočtová koheze pro únosnost základové půdy
d	[m]	hloubka založení
d_c, d_d, d_b	[-]	součinitelé vyjadřující vliv hloubky založení
e	[m]	excentricita výslednice sil
E_{def}	[MPa]	deformační modul zeminy
G	[kNm^{-1}]	výpočtová tíha 1 bm zdi
h, H	[m]	výška zdi
h_1	[m]	výška svahu nad korunou zdi
H	[kN / bm]	vodorovná složka výslednice
i_c, i_d, i_b	[-]	součinitelé vyjadřující vliv šikmosti zatížení
k	[m]	šířka koruny zdi
K_a	[-]	součinitel aktivního zemního tlaku
K_{ac}	[-]	součinitel aktivního zemního tlaku vyjadřující vliv soudržnosti

L	[m]	délka základu
M_{kl}	[kNm / bm]	moment klopící
M_{vzd}	[kNm / bm]	moment vzdorující překlopení
N	[kN / bm]	svislá složka výslednice
N_c, N_d, N_b	[-]	součinitelé únosnosti
r	[m]	rameno výslednice sil
R	[kN / bm]	výslednice sil
R_d	[kPa]	výpočtová svislá únosnost zeminy
s_c, s_d, s_b	[-]	součinitelé vyjadřující tvar základu
s_A	[m]	konečné sednutí na lícní hraně základu
s_B	[m]	konečné sednutí na rubové hraně základu
π	[rad]	Ludolfovo číslo
α	[^{0}, rad]	odklon rubové stěny od vertikály, úhel pootočení zdi
β	[^{0}]	sklon terénu za rubem zdi
γ_b, (γ_{bd})	[kNm^{-3}]	objemová hmotnost prostého betonu, (výpočtová)
γ_f	[-]	součinitel spolehlivosti zatížení pro masivní betonové prvky
γ_{fy}	[-]	součinitel spolehlivosti zatížení pro rostlou zeminu
γ_{mc}	[-]	součinitel spolehlivosti koheze
γ_{mv}	[-]	součinitel spolehlivosti Poissonova čísla
$\gamma_{m\varphi}$	[-]	součinitel spolehlivosti úhlu vnitřního tření
γ_{stp}	[-]	součinitel celkové stability polohy
γ_z, (γ_{zd})	[kNm^{-3}]	objemová hmotnost zeminy, (výpočtová)
δ, (δ_{ad})	[^{0}]	odklon výslednice aktivních sil od horizontály, (výpočtový)
ε	[^{0}]	úhel určující vnější kluznou plochu
ν_a	[^{0}]	úhel, který svírá vnější kluzná plocha s horizontálou
ν_{as}	[^{0}]	úhel, který svírá vnitřní kluzná plocha s horizontálou
σ_{de}	[kPa]	výpočtové kontaktní napětí v základové spáře
σ_z	[kPa]	výpočtové geostatické napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 7-1 Lokace Rebešovic [1] 10
Obr. 7-1 Únosnost [2] 12
Obr. 7-2 Pootočení [2] 12
Obr. 7-3 Překlopení [2] 12
Obr. 7-4 Posunutí v základové spáře [2] 13
Obr. 7-5 Stabilita svahu [2] 13
Obr. 7-6 Suchá opěrná zeď – droba Luleč [3] 14
Obr. 7-7 Ukázka kamenné zdi zděné na cementovou maltu [4] 14
Obr. 7-8 Tvary gravitačních zdí z prostého betonu [5] 15
Obr. 7-9 Tvar gravitační opěrné zdi [2] 16
Obr. 7-10 Tvar gravitační zárubní zdi [2] 16
Obr. 7-11 Gravitační zeď s odlehčovací deskou [2] 17
Obr. 7-12 Úhlová zeď - varianta a [2] 18
Obr. 7-13 Úhlová zeď – varianta b [2] 18
Obr. 7-14Vyztužování a tvar výztuže úhlové stěny [6] 19
Obr. 7-15 Úhlová stěna vyztužená žebry [5] 20
Obr. 7-16 Prefabrikát typu U [5] 21
Obr. 7-17 Prefabrikát typu L [5] 21
Obr. 7-2 Spojování gabionových sítí [10] 23
Obr. 7-2 Odstupňování gabionových stěn [2] 24
Obr. 7-3 Příklad gabionové stěny [11] 25
Obr. 7-1 Vyztužený svah typ rockwall [12] 26
Obr. 7-1 Stávající stav konstrukce 28
Obr. 7-2 Schéma porušení konstrukce 29
Obr. 7-3 Lokalita Rebešovic a okolí [12] 29
Obr. 7-4 Vrtná prozkoumanoust Rebešovic [13] 31
Obr. 7-5 Geologická mapa Rebešovic a okolí [14] 34
Obr. 7-6 Návrh rozměrů příčného řezu 36
Obr. 7-7 Velikost a působiště sil působících na konstrukci 39
Obr. 7-8 Průběh kritické smykové plochy 42

Obr. 7-9 Schéma odvodnění zdi 44

SEZNAM TABULEK

Tab. 7-1 Vrt VJ-29 – základní informace 31
Tab. 7-1 Vrt VJ-29 – geologický profil 32
Tab. 7-2 Vrt B-25 – základní informace 32
Tab. 7-4 Vrt B-25 – geologický profil 33
Tab. 7-5 Přehled vstupních návrhových parametrů (výstup z GEO 5) 38
Tab. 7-6 Tlaky od zeminy a od přitížení (výstup z GEO 5) 38
Tab. 7-7 Spočtené síly působící na konstrukci (výstup z GEO 5) 38
Tab. 7-8 Síly působící ve středu základové spáry (výstup z GEO 5) 39
Tab. 7-9 Kritická smyková plocha (výstup z GEO 5) 42
Tab. 7-10 Orientační cena použitého systému bednění 45

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 : BOČNÍ A ČELNÍ POHLED

Příloha č. 2: SCHÉMA MONTÁŽE BEDNĚNÍ