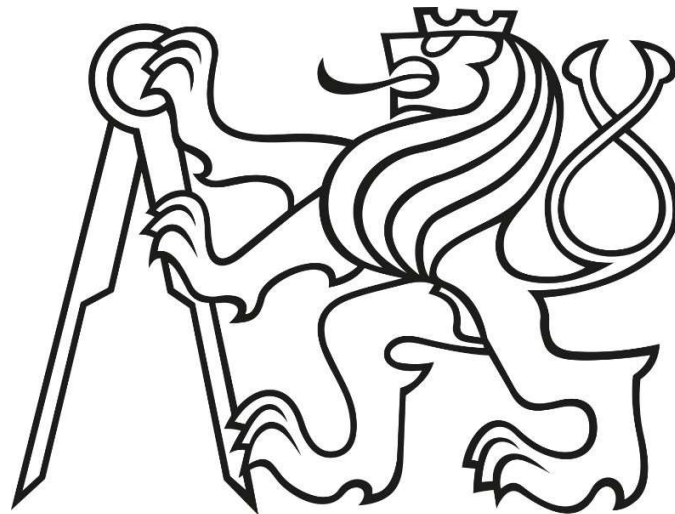


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Možnosti řešení nestandardních silničních
zemních těles**

Ondřej Janoušek

2017

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ludvík Vébr, CSc.



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením doc. Ing. Ludvíka Věbra, CSc. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné databázi v centrální Digitální knihovně ČVUT: dspace.cvut.cz v Praze a to se zachováním mého autorského práva k odevzdání textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů

V Praze dne 28. května 2017

.....

Ondřej Janoušek



Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Ludvíku Věbrovi, CSc. za cenné rady, podněty a připomínky. Další poděkování patří firmě Metrostav a.s. za poskytnuté podklady pro zpracování bakalářské práce. A samozřejmě také mé rodině za podporu při celém studiu.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE



I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

| | | |
|--|---------------|----------------------|
| Příjmení: Janoušek | Jméno: Ondřej | Osobní číslo: 423052 |
| Zadávající katedra: Katedra silničních staveb - K136 | | |
| Studijní program: Stavební inženýrství | | |
| Studijní obor: KD | | |

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

| | |
|---|---|
| Název bakalářské práce: Možnosti řešení nestandardních silničních zemních těles | |
| Název bakalářské práce anglicky: Possible solutions substandard road earthworks | |
| Pokyny pro vypracování: Práce bude spočívat ve dvou hlavních částech, a to části: 1. Teoretické, zaměřené na obvyklé způsoby navrhování zemního tělesa PK a na obecné možnosti řešení nestandardních těles. 2. Experimentální, v rámci které by proběhlo modelové i praktické řešení určitého příkladu nestandardního zemního tělesa PK. | |
| Seznam doporučené literatury: ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací (02/2010) - Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR - Navrhování a provádění zemních těles STEPS 1 (rok vydání 2010) | |
| Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Ludvík Věbr, CSc. | |
| Datum zadání bakalářské práce: 24.2.2017 | Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017 |
|  Podpis vedoucího práce |  Podpis vedoucího katedry |

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

| | |
|---|--|
| <i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jejích pramenů a jsem konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i> | |
|  Datum převzetí zadání |  Podpis studenta(ky) |



Abstrakt

Tématem této bakalářské práce je návrh nestandardního řešení silničních zemních těles. Práce je rozdělena na dvě hlavní části, přičemž tyto dvě části jsou dále rozděleny do jednotlivých skupin. První část se zabývá obvyklými způsoby navrhování zemního tělesa pozemní komunikace (PK). Dále jsou v této části obecně řešeny i nestandardní zemní tělesa PK. Druhá část je věnována již určitému příkladu návrhu nestandardního zemního tělesa PK. V této části byly nejdříve popsány možné varianty řešení daného problému. Po popsání variant proběhlo multikriteriální zhodnocení variant, ze kterého vyplynula nejlepší navržená varianta.

Klíčová slova:

Silniční zemní těleso, násyp, zářez, nestandardní řešení



Abstract

The topic of this bachelor thesis is the proposal of non-standard solution of road earth bodies. The thesis is divided into two main parts, the two parts are divided into separate groups. The first part deals with the usual ways of designing the ground body of the road (PK). Furthermore, non-standard ground bodies of PK are also dealt with in this part. The second part is devoted to an example of a design of a non-standard PK body. In this section, possible solutions to the problem were first described. After the variation was described, a multi-criteria evaluation of the variation took place, resulting in the best proposed variant.

Keywords:

Road earthworks, embankment, notch, non-standard solution



Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod | 9 |
| 1. ZÁKLADNÍ TERMÍNY | 10 |
| 2. TEORETICKÉ ZAMĚŘENÍ NA NÁVRH ZEMNÍCH TĚLES POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ | 12 |
| 2.1. Požadavky na materiály zemního tělesa | 12 |
| 2.1.1. Zatřídění hornin | 12 |
| 2.1.2. Zeminy | 13 |
| 2.1.3. Kamenitá sypanina | 15 |
| 2.1.4. Vátý písek | 16 |
| 2.1.5. Recyklované materiály | 16 |
| 2.1.6. Sypaniny z vedlejších produktů | 16 |
| 2.1.7. Vylehčené materiály | 17 |
| 2.1.8. Geotextílie a geosyntetické materiály | 17 |
| 2.2. Úprava zemin | 19 |
| 2.3. Návrh zemního tělesa | 23 |
| 2.3.1. Všeobecný návrh | 23 |
| 2.3.2. Návrh na základě výpočtu | 24 |
| 2.3.2.1. Posouzení celkové stability | 24 |
| 2.3.2.2. Posouzení povrchové eroze | 24 |
| 2.3.2.3. Hydraulické porušení | 25 |
| 2.3.2.4. Deformace zemního tělesa | 26 |
| 2.3.2.5. Návrh přijetím normativních opatření | 26 |
| 2.3.3. Návrh při využití zatěžovacích zkoušek a zkoušek na experimentálních modelech | 27 |
| 2.3.4. Observační metoda | 27 |
| 2.3.5. Zářez | 28 |
| 2.3.6. Násyp | 30 |
| 2.3.7. Nestandardní řešení násypů | 36 |
| 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST | 41 |
| 3.1. Popis, geologický průzkum | 41 |
| 3.2. Původní řešení svahu (strmý svah) | 42 |
| 3.2.1. Provedení původního řešení | 42 |
| 3.3. Alternativní řešení | 44 |



| | |
|--|----|
| 3.3.1. Armovaná zemina | 44 |
| 3.3.2. Bezúdržbový svah | 45 |
| 3.4. Multikriteriální hodnocení variant..... | 47 |
| Závěr..... | 51 |
| Použitá literatura: | 52 |
| Internetové zdroje: | 52 |
| Použitý software: | 53 |
| Seznam obrázků:..... | 53 |
| Seznam tabulek:..... | 54 |
| Přílohy: | 54 |



Úvod

Tématem této bakalářské práce je navrhování nestandardních zemních těles. Vybrané téma jsem si vybral na základě svého zájmu o silniční stavby a geotechniky. Dalším důvodem, proč jsem si vybral toto téma je, propojení teoretických znalostí silničního stavitelství s základy geotechniky a propojení technického řešení určitého problému. První část práce jsem věnoval teoretickému návrhu jak standardních, tak i nestandardních zemních těles. Po zpracování teoretického úvodu do problematiky jsou se zaměřil na řešení určitého příkladu a jeho problému. V této části práce jsem ověřil stabilitní otázku, zda je vůbec možné takovýto návrh realizovat.



1. ZÁKLADNÍ TERMÍNY

Zářez = zemní těleso vzniklé vytěžením a odstraněním rostlé zeminy (horniny) do úrovně zemní pláně

Násyp = zemní těleso vzniklé nasypáním a zhutněním zeminy nebo horniny do předepsaných rozměrů, včetně úpravy svahů a zemní pláně

Odřez = zemní těleso, které je v příčném řezu po jedné straně zářezem a po druhé násypem

Zemní těleso = součást pozemní komunikace, tvořící spodní stavbu vozovky v kontaktu s terénem; zemní těleso je tvořeno z násypu nebo zářezu (včetně svahů)

Zemní pláň = plocha uzavírající zemní těleso ve styku s vozovkou; tvořící horní líc aktivní zóny

Parapláň = plocha uzavírající zemní těleso ve styku s aktivní zónou; tvořící spodní líc aktivní zóny

Aktivní zóna = horní vrstva zemního tělesa násypu nebo zářezu tloušťky zpravidla 0,5m (toto je pouze smluvní hodnota, lze ji zvýšit), do níž zasahují vlivy zatížení a klimatu; tyto vlivy mohou vést ke změnám fyzikálních a mechanických vlastností materiálů, z nichž je tato vrstva složena. Pro tuto vrstvu se požadují přísnější kvalitativní parametry oproti ostatním částem zemního tělesa

Výkop = zemní objekt, který tvaruje vykopávkou se současným tvořením svahů a dna s jejich případným urovnáním a roubením

Svah zemního tělesa = plocha, která omezuje zemní těleso po stranách; rozlišuje se na násypový svah a výkopový svah

Sklon svahu zemního tělesa = odchylka svahové přímky příčného řezu od vodorovné roviny; obvykle se vyjadřuje v poměru svislé ku vodorovné odvěsně pravoúhlého trojúhelníka (např. 1:1,75)

Prostý násyp = násyp ze zhutněné nezlepšené zeminy, převážně stejnorodého charakteru

Násyp z upravených zemin = zhutněný násyp ze zemin upravených pojivem nebo hrubozrnnými zeminami

Vyztužená zemní konstrukce = násyp obsyp nebo opěrná konstrukce vyztužená geosyntetikou nebo jinými materiály postavená v souladu s ČSN EN 14475



Vylehčený násyp = zemní konstrukce vylehčená použitím lehkých materiálů (např. polystyren popílek, lehké keramické kamenivo apod.)

Vrstevnatý násyp = násyp sendvičového typu, vybudovaný obvykle pravidelným střídáním vrstev sypaniny, která má výrazně rozdílné vlastnosti (např. horniny málo pevné a pevné, horniny s velkou stlačitelností a malou stlačitelností)

Výška násypu = výškový rozdíl mezi hranou koruny pozemní komunikace a patní čarou násypového svahu před provedením zaoblení nebo hranou patního příkopu

Hloubka zářezu = výškový rozdíl mezi patní a temenní čarou zářezového svahu před provedením zaoblení

Podloží násypu = část terénu pod násypem, zpravidla po odstranění orniční vrstvy+ podloží násypu se zpravidla omezuje do hloubky do které působí vlivy přitížení násypem

Technologická vrstva = vrstva sypaniny, která je zpracována v jednom pracovním cyklu

Konsolidace = zvýšení únosnosti zeminy

Konstrukční vrstva násypu = vrstva násypu tvořená ze sypaniny jednoho typu konstrukční vrstva je budována z jedné nebo více technologických vrstev

Poddajná vrstva = vrstva sendvičového dvouvrství vrstevnatého násypu, tvořená ze stlačitelnější, poddajnější, zpravidla velmi vlhké zeminy, ve které může probíhat konsolidace; v dokumentaci stavby se označuje písmenem S

Ztužující vrstva = vrstva sendvičového dvouvrství vrstevnatého násypu, tvořená z méně stlačitelné zeminy o vyšší smykové pevnosti, která svými vlastnostmi působí jako vrstva drenážní (konsolidační); v dokumentaci stavby se označuje písmenem N

Těsnící vrstva = vodotěsná vrstva z nepropustného materiálu (zemina, fólie ad.), která brání pronikání podzemní nebo povrchové vody do konstrukce, a tím zamezí nežádoucí zvodnění zeminy násypu se ztrátou pevnosti, popřípadě vyluhováním škodlivin a jejich infiltrace do podloží a do podzemních vod

Izolační vrstva = vrstva z inertního materiálu, která zabraňuje prostupu vzduchu do vrstev hlušinové sypaniny

Vlastní deformace násypu = vertikální stlačení násypu od úrovně podloží násypu po zemní pláň, způsobené vlastní tíhou a přitížením vozovkou

Vyztužená (armovaná) zemina = násypová konstrukce zahrnující diskrétní vrstvy vyztužných materiálů (geosyntetika, ocel), které jsou většinou pokládány vodorovně, mezi po sobě následující hutněné vrstvy násypu během výstavby, nebo jsou zamíchány do zeminy (vlákna). Pro vyztužení zářezového svahu se používá hřebíkování



Geosyntetikum = výrobek, u něhož je alespoň jedna složka vyrobená ze syntetického nebo přírodního polymeru ve formě, pásku, pásu, mříže nebo trojrozměrné struktury, použitý ve styku se zeminou nebo jinými materiály

Geotextílie = propustná plošná technická textilie určená pro zabudování do zemních a jim podobných konstrukcím

Geomříž = plošná polymerní struktura sestávající z pravidelně otevřené sítě celistvě spojených tahových prvků, které jsou vázány tkaním, pletením, lepením nebo protlačáním. Otvory v geomříži jsou větší než tahové prvky

Georohož = prostorový propustný prvek z polymerových nebo přírodních vláken používaný k protierozní ochraně a k umožnění růstu rostlin

2. TEORETICKÉ ZAMĚŘENÍ NA NÁVRH ZEMNÍCH TĚLES POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

2.1. Požadavky na materiály zemního tělesa

2.1.1. Zatřídění hornin

Základním kvalitativním znakem horninového materiálu je pevnost v prostém tlaku, která závisí na druhu horniny a dále též na stupni jejího zvětrávání a hustotě diskontinuit skalního masivu. Zatřídění podle této pevnosti je blíže uvedeno v *tab. 1*. [3]

Tab. 1 zatřídění hornin podle pevnosti horninového masivu

| Třída | Pevnost ^{a)} σ_c [MPa] | Znak pevnosti | Charakteristika | Příklady horniny ^{b)} |
|------------|---|---------------|--------------------------------------|--|
| R 1 | >150 | Velmi vysoká | Horninu lze kladívkem těžce otloukat | Zdravé: granitoidy, diority, gabra, migmatity, granulity, kvarcity, amfibolity, bazalty, prokřemenělé pararuly, orturuly, krystalické vápence, silicity |
| R 2 | 50 - 150 | Vysoká | Horninu lze kladívkem těžce rozbít | Zdravé: vápence, dolomity, slepence, pískovce, droby, pevné prachovce, pararuly, svory, fylity Mírně zvětralé: horniny třídy R 1 Navětralé: horniny třídy R 2 |



| | | | | |
|---|-----------|----------------|---|--|
| R 3 | 15 - 50 | Střední | Horninu lze kladívkem lehce rozbít | Zdravé: jílovce, slínovce, vulkanické tufity, kataklasity Mírně zvětralé: horniny třídy R 1 |
| R 4 | 5 - 15 | Nízká | Horninu lze škrábat nožem, nikoliv nehtem | Zdravé: slabě zpevněné pískovce, prachovce a jílovce, chloritické a grafitické břidlice, fylity, ultramylonity Silně zvětralé: horniny třídy R 1 a R 2 |
| R 5 | 1,5 - 5 | Velmi nízká | horninu lze rozbít rukou | Zdravé: velmi slabě zvětralé pískovce, prachovce a jílovce, tufity, dislokační jíly Zcela zvětralé: horniny třídy R 1 a R 2 Silně zvětralé. Horniny třídy R 3 Mírně zvětralé a navětralé: horniny třídy R 4 |
| R 6 | 0,5 – 1,5 | Extrémně nízká | Horninu lze škrábat nehtem | Zcela zvětralé: horniny třídy R 3 až R 4 Eluvia: charakteru zemin |
| <p>a) Pevnost v prostém tlaku stanovena zkouškou na nepravidelných vzorcích horniny. b) stupeň zvětrávání skalních hornin je charakterizován procentem obsahu zvětralých minerálů:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zdravá 0 % • Navětralá 0 – 10 % • Mírně zvětralá 10 – 35 % • Silně zvětralá 35 -75 % • Zcela zvětralá 75 % | | | | |

2.1.2. Zeminy

Hlavním zdrojem pevnosti zeminy je pevnost ve smyku. Zeminy ve stavebních konstrukcích (ale i v přírodě) jsou namáhány zejména smykovým napětím. Pevnost ve smyku je způsobena zaklíněním jednotlivých zrna zeminy (tzv. interlocking), dále elektrochemickými pochody na kontaktech zrn, a ještě negativním pórovým tlakem. Pevnost ve smyku způsobená zaklíněním zrn a elektrochemické pochody jsou efektivní hodnoty, s kterými lze počítat. Negativní pórový tlak souvisí se zrnitostí při nasycení zeminy a jedná se pouze o krátkodobou pevnost. Efektivní smyková pevnost je pevnost zeminy při odvodněných podmínkách (pórový tlak $u=0$), zatímco totální smyková pevnost



je pevnost za neodvodněných podmínek (s vlivem pórového tlaku). Vzhledem k vlastnostem zemín, které nejvíce ovlivňují její pevnost, jsou zrnitost a plasticita ty nejdůležitější vlastnosti. Nejzásadnější vnější vliv na pevnost zeminy je vlhkost. Jelikož se stejná vlhkost projevuje odlišně na chování různých zemín, tak z tohoto důvodu se používá číslo konzistence. Tyto uvedené vlastnosti jsou dále určující pro cílové vlastnosti zemín pro výstavbu. Tyto vlastnosti jsou zpracovatelnost, únosnost a zhutnitelnost. Někdy se ještě vyžadují další pomocné parametry, a to CBR nebo IBI. Pro návrh zemního tělesa se často ještě získávají další vlastnosti jako smyková pevnost, propustnost a stlačitelnost. Když zjistíme, že zemina je nevhodná pro použití do zemního tělesa PK, je možné použít tuto zeminu pouze v případě její úpravy. Zeminy pro stavbu zemního tělesa je možné přibližně dělit na nepoužitelné, nevhodné, podmíněčně vhodné a vhodné podle tab. 2. [1]

Tab. 2 Použitelnost zemín pro stavbu zemního tělesa

| Podmínky použití | NEPOUŽITELNÉ k jakémukoliv použití | NEVHODNÉ k přímému použití bez úpravy | PODMÍNEČNĚ VHODNÉ k přímému použití bez úpravy | VHODNÉ k přímému použití bez úpravy |
|------------------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| | Nelze upravit běžnými technologiemi, použití | Musí se vždy upravit | Podle dalších vlastností se rozhodne, zda lze | Lze použít přímo bez úpravy |
| Aktivní zóna | Organické zeminy s obsahem organických látek větším než 6 %, bahna, rašelina, humus, ornice, CE, ME (netýká sepodloží násypu a svahů) | ML, MI, CL, CI MH, MV, CH, CV | S-F MG, CG, MS, CS, SP SM, SC, GP, GM, GC | SW, GW G-F |
| Násyp | | MH, MV, CH, CV | MG, CG, MS, CS, SP SM, SC, GP, GM, GC | SW, GW G-F |
| | | | ML, MI, CL, CI | S-F |

Tuto tabulku lze použít při rozhodování vhodnosti a nevhodnosti zeminy pro konstrukci, ovšem pouze orientačně. Důležité je ovšem předpokládat toto rozdělení opravdu pouze orientačně, protože kdybychom se spoléhali pouze na toto dělení mohlo by to vést k chybným závěrům. A proto většina zemín je zařazena do skupiny podmíněčně vhodné, z čehož vyplývá že se zemina musí vždy ověřit pro vhodnost do konstrukce. Pro toto ověřování existují dva důvody. Jeden z důvodů je, že dvě zeminy klasifikované do jedné kategorie nemají naprosto totožné vlastnosti ale pouze podobné. Druhým důvodem je závislost chování zeminy na vlhkosti. Postup, který je spolehlivější pro určení použitelnosti zeminy vychází z předpisů platných v České Republice. Tento postup je následující [1]:

- 1) Pokud je $w_L > 50\%$ nebo $I_c \leq 0,5$ nebo $\rho_{d,max,PS} < 1\,500\text{ kg/m}^3$ (pro násyp); $\rho_{d,max,PS} < 1\,600\text{ kg/m}^3$ (pro aktivní zónu), zemina se musí upravit, tento požadavek ovšem neplatí pro umělé materiály, jejichž úkolem je vylehčit zemní těleso a dále také platí pro zeminy upravené pojivy.



- 2) Upravit se také musí objemově nestabilní zeminy a horniny, u nichž i při běžných klimatických podmínkách bude v zemním tělese docházet k objemovým změnám větším než 3%.
- 3) Pokud zeminu nelze zpracovat, z důvodu její vlhkosti, která neleží v intervalu přípustné vlhkosti a tuto vlhkost nelze upravit, nebo se jedná o stejnozrnnou zeminu. Tak se tato zemina musí upravit. Optimální vlhkost stanovená při zkoušce Proctor standard může být z hlediska reálné hutnicí práce na stavbě příliš vysoká, z tohoto důvodu se interval přípustné vlhkosti může upravit. Množství vzduchových pórů v zemině po zhutnění by neměl překročit hranici 12 %. Překročení této hranice by mohlo vyvolat pozdější nadměrné samovolné do hutnění zemního tělesa nebo snadnou saturaci vlhkostí.

Další posouzení závisí na účelu použití zeminy:

- 1) Zemina použitá do aktivní zóny se posuzuje na únosnost CBR. Zeminu lze použít bez dodatečných úprav pouze tehdy je-li hodnota CBR minimálně 15 % (hodnota CBR se určuje po sycení zeminy ve vodě po dobu 96 hodin). Pokud návrh konstrukce vozovky počítá s podložím s vyšší únosností, než je přípustné minimum, požadavky na hodnotu CBR jsou potom vyšší.
- 2) Zemina použitá v násypu se ještě posuzuje na IBI (okamžitý index únosnosti). Pro hodnotu IBI minimálně 10 % pro násypy a 5 % pro podloží násypu se zemina nemusí upravovat.

Pokud bychom pro stavbu násypu použily ve vrstvách různé zeminy, je nutné splnit filtrační kritérium, aby nedocházelo k vnikání jednoho materiálu do druhého. Filtrační kritéria pro nestmelené vrstvy se používají zejména tyto dvě nerovnice (d_{15} , d_{50} , d_{85} je velikost propadu na čáře zrnitosti propadu 15 %, 50 %, 85 %).[1]

- d_{15} nestmelené vrstvy $\leq 5 \cdot d_{85}$ zeminy (kritérium filtrace)
- d_{50} nestmelené vrstvy $\leq 25 \cdot d_{50}$ zeminy (kritérium nestejnozrnnosti)

Tento požadavek je nutné splnit i mezi první vrstvou násypu a vrstvou podloží násypu.

2.1.3. Kamenitá sypanina

Kamenitá sypanina je pro stavbu zemního tělesa velmi vhodný materiál, protože kamenitá sypanina není při zpracování a hutnění tak náchylná na vlhkost jako je zemina. Tím pádem není její použitelnost tak závislá na počasí jako zeminy. Samotná zpracovatelnost tedy závisí pouze na její zrnitosti. U kamenité sypaniny je mnohem důležitější dbát na splnění filtračního kritéria než u zeminy. Pozor musíme dávat nejen u styku podkladní vrstvy násypu se samotným násypem, ale i mezi násypem a aktivní zónou. Mohlo by zde docházet k pronikání jemnější nestmelené spodní podkladní vrstvy do hrubšího materiálu kamenité sypaniny. [1]



2.1.4. Vátý písek

Vátý písek je stejnozrný materiál, který se zpravidla obtížně zhutňuje a pro staveništní dopravu je těžko průchodný. Z tohoto důvodu se doporučuje použít vátý písek jako poddajnou vrstvu nebo jako příměs ke zlepšení podmienečně vhodné zeminy. Ve zbylých případech použití je nutné počítat s úpravou pojivy. [1]

2.1.5. Recyklované materiály

Na stavbu zemních těles se používají stejně jako zeminy nebo kamenitá sypanina, pouze za předpokladu že neobsahují žádné nežádoucí látky s negativním vlivem na životní prostředí. Dále nesmí obsahovat látky, které by měnily svoje vlastnosti vlivem klimatických podmínek. Recyklované materiály se zařídují, zpracovávají a zkouší stejným způsobem právě jako zeminy. Mezi nejčastější recyklované materiály patří stavební suť, recyklovaný beton a recyklované kamenivo. [1]

2.1.6. Sypaniny z vedlejších produktů

Hlušinová sypanina

Hlušinová sypanina je vedlejší (odpadní) produkt při ražbě důlních děl. Tato sypanina z velké části obsahuje kamenitou sypaninu, která má širokou frakci od 0 do 200 mm, s malým obsahem hlinitých příměsí a jílových částic. V České republice se nejčastěji setkáme s hlušinou spojenou s těžbou uhlí. Tato hlušina nejčastěji obsahuje části pískovců, prachovců, jílovců nebo slepenců a také malé množství uhlí. Do násypu je možné tuto sypaninu použít pouze za předpokladu, že nebude obsahovat makroskopické stopy uhlí. V této sypanině může být jen povolené množství uhlí. Dodržení těchto limitů vyplývá z toho, že při kontaktu velkého množství uhlí s atmosférickým kyslíkem by mohlo vést k záparu uhlí a následně až k samovznícení násypu. Při použití uhelné hlušiny v násypu se preventivně provádí izolační vrstvy z jemnozrných zemín. Tyto zeminy vytvářejí bariéru pro přístup vzduchu k uhelné hlušině, a tak vytváří ochranu proti samovznícení. U hlušinové sypaniny je důležité vycházet z místních zkušeností a závěrů kvalifikovaného geologa. Důvodem, proč je u hlušinové sypaniny důležité dát zvýšené opatrnosti, může být ten že některé hlušiny mohou po vytěžení být náchylné na masivní zvětrávání, a tím pádem měnit svoje vlastnosti. [1]

Struska

Pro stavbu zemních těles se hodí zejména vzduchem chlazená vysokopecní struska, pomalu ochlazená vzduchem. Struska se používá stejně jako kamenitá sypanina, s rozdílem toho že struska nesmí obsahovat volný oxid vápenatý CaO , který se při styku s vodou mění na hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 . Tato reakce způsobuje objemové změny, rozpínavost strusky se dá posuzovat laboratorními metodami (pomocí autoklávu). [1]



Popílek

Popílek je jemný prach, který vzniká při spalování mletého uhlí v energetických zařízeních. Prach je zachycován mechanickými a elektrostatickými filtry. Rozeznáváme dva druhy popílku. První je křemičitý popílek, který obsahuje křemičitany, hlinitany, a oxidy železa. Druhým popílkem je popílek vápenatý skládající se z křemičitanů, hlinitanů, oxidů vápenatého a síranů. Oba popílky mají pucolánové vlastnosti (při smíchání s oxidem nebo hydroxidem vápenatým a vodou, dochází k tvrdnutí směsi), vápenatý popílek má navíc hydraulické vlastnosti. Při výstavbě se používá buď upravený nebo neupravený popílek. Popílky musí splňovat stejné podmínky jako zeminy, pokud toto nesplňují mohou se použít ve vrstevnatém násypu kde jsou prokládány vhodnou zeminou. Další důležitým prvkem je nutné zakrytí svahu násypu ochranou vrstvou, která brání erozi popílku. Jak proti vodním i větrným vlivům, a dále zabraňuje promrzání. [1]

2.1.7. Vylehčené materiály

Pro stavbu vylehčených zemních těles se u nás nejčastěji využívají zejména dva materiály. Prvním materiálem je lehké keramické kamenivo (znám pod obchodním názvem Keramzit), které vzniká vypálením upravených přírodních jíílů při teplotě okolo 1 150°C. Používá se zejména jako hrubozrnný materiál. Vyrábí se ve frakcích 1/4 mm, 4/8 mm a 8/16 mm. Sypaná objemová hmotnost dosahuje hodnoty 300 až 500 kg/m³ dle použité frakce. Druhým materiálem je expandovaný polystyren. Vzniká expanzí objemu polystyrenových perel při jejich zahřátí. Objemová hmotnost je v rozmezí 15 až 30 kg/m³. Polystyren se vyrábí v kvádrových blocích (rozměr např. 1m x 0,5m x 4m). Výhodou je lehkost těchto bloků, což snižuje samotnou hmotnost násypu, ale ani pro manipulaci není tím pádem zapotřebí mechanizace. [1]

2.1.8. Geotextílie a geosyntetické materiály

Geotextílie a geosyntetické materiály se v silničním stavitelství používají zejména v zemních tělesech, do konstrukce vozovky se aplikují jen výjimečně. Například při opravách, při přechodu staré vozovky na novou. Geotextílie je plošný, propustný, polymerní textilní materiál. Je buď tkaný nebo netkaný vyrobený z náhodně orientovaných vláken, která se spojují mechanicky tepelně, lepidlem nebo proplétáním. Dalším prvkem je geomříž. Geomříž je plošná polymerová konstrukce, jednotlivé prvky jsou pevně spojeny. V geomříži jsou větší otvory. Geokompozit je sdružený materiál, který obsahuje například geomříž a geotextílii. Geosyntetika se dělí podle funkce do několika skupin [1]:

- Separační funkce – odděluje dvě různé vrstvy, které jsou tvořené různými materiály, geosyntetikum zde zabraňuje promíchání těchto materiálů.
- Filtrační funkce – umožňuje dlouhodobé proudění kapaliny, bez toho, aby docházelo k pohybu pevných částic ve směru proudění
- Drenážní funkce – slouží ke shromažďování a odvodu kapaliny ze zemní konstrukce ve směru položené vrstvy



- Výztužná vrstva – využívají se zde tahové vlastnosti geosyntetika, které slouží k přenesení napětí nebo deformace
- Funkce povrchové protierozní ochrany – zajišťuje ochranu povrchových vrstev zemní konstrukce před vnějšími vlivy
- Ochranná funkce – v tomto případě slouží geosyntetikum ke snížení lokální napjatosti nebo jako prevence

Geobuňky

Jedná se o trojrozměrný výztužný prvek. Jsou tvořené polymerní fólií, která je v úzkých prouzcích svařována do tvaru včelí plástve. Stěny geobuněk jsou plné nebo perforované pro dosažení požadované propustnosti. Geobuněkové systémy byly vyvinuty pro budování silnic na neúnosném podloží za nepříznivých podmínek. Zjistilo se, že umístěním tenkého geobuněkového hrazení, vyplněné zrnitým materiálem (*obr. 1*) poskytne značně větší únosnost. Nejvhodnějším materiálem pro výrobu geobuněk je z hlediska pevnosti, trvanlivosti, jednoduchosti manipulace a ceny vysokohustotní polyetylén (HDPE). Geobuňky se obecně používají pro stabilizaci, zlepšení základových podmínek, vyztužování a jako protierozní prvek.[5]



Obr. 1 Geobuňka

Vrstva kameniva roznáší působící zatížení a snižuje napětí působící na podloží vrstvy pod kritickou hodnotu. Výhodou geobuněk je omezení vodorovného posunu kameniva, což má za následek zlepšení roznášení zatížení na větší plochu podloží. Následné celkové působící napětí je nižší. Geobuňky mohou být vyplněny i jiným materiálem než kamenivem, s ohledem na požadavek stabilizace. [5]

Jestli že, použijeme geobuňky jako protierozní opatření je nutné si uvědomit, že cena takovéto ochrany bude větší než klasické ozelenění. Kvůli ceně se proto geobuňky využívají zejména v obtížných erozivních podmínkách. [5]



Geobuňky se dají aplikovat i do opěrných konstrukcí velmi strmých svahů. Geobuňky zde plní výztužný prvek, který je možné plnit kamenivem (zajišťuje svislou drenáž). Geobuňky se ale spíše používají při vytváření strmých svahů z lokálních vytěžených zemin. [5]

2.2. Úprava zemin

Ne vždy vytěžená zemina splňuje požadované parametry pro využití při stavbě zemního tělesa. Abychom nemuseli veškerou vhodnou zeminu na stavbu dovážet, což by bylo ekonomicky náročné, používají se určité úpravy nevhodné zeminy. Cílem úpravy může být kromě dosažení požadovaných vlastností i zlepšení zpracovatelnosti, snížení vlhkosti nebo snížení namrzavosti. Úprava proti namrzavosti se vždy musí ověřit přímým měřením. Úpravy se dělí na [1]:

- Mechanické úpravy
- Chemické úpravy

Mechanické úpravy

Mechanické úpravy se provádí smísením granulometricky nevhodné zeminy s jinou vhodnou zeminou za účelem změny zrnitosti. Tímto promísením dojde ke zlepšení zpracovatelnosti a zároveň ke zlepšení mechanických vlastností. Mechanická úprava se používá zejména pro stejnozrnné štěrky a písky nebo zeminy bez výrazného podílu plastických příměsí. Mechanická úprava nemusí být účinná u jemnozrnných zemin, které by přidaný vhodný materiál pouze obalily a nenastalo by žádné výrazné zlepšení vlastností. I toto je hlavním důvodem proč se jemnozrnné zeminy obvykle upravují pomocí chemických úprav. [1]

Chemické úpravy

Chemické úpravy se provádí za pomoci přidáním určitého množství vhodného pojiva. Použití pojiv je závislé na vlastnostech jednotlivých zemin. Dnes se používají zejména tyto pojiva:

- Vápno – je vhodné pro úpravu jemnozrnných zemin nízké a střední plasticity, spraší a sprašových hlín
- Cement – cementem se s výhodou upravují písčito-hlinité zeminy a stejnozrnná písčité a štěrkovité zeminy
- Hydraulické silniční pojivo – toto pojivo je na bázi cementu a postupně ho nahrazuje, využívá se tedy pro stejné zeminy jako cement

I přes doporučení, pro jaké zeminy použít jaké pojivo, je možné že se při úpravě zemin vyskytnou nehomogenní úseky, kde je nutné použít například místo vápna cement. I z tohoto důvodu se dnes používají takzvaná směsná hydraulická pojiva, která obsahují jak vápno, tak i složky podobné cementu. Upravováním zeminy dosáhneme okamžité



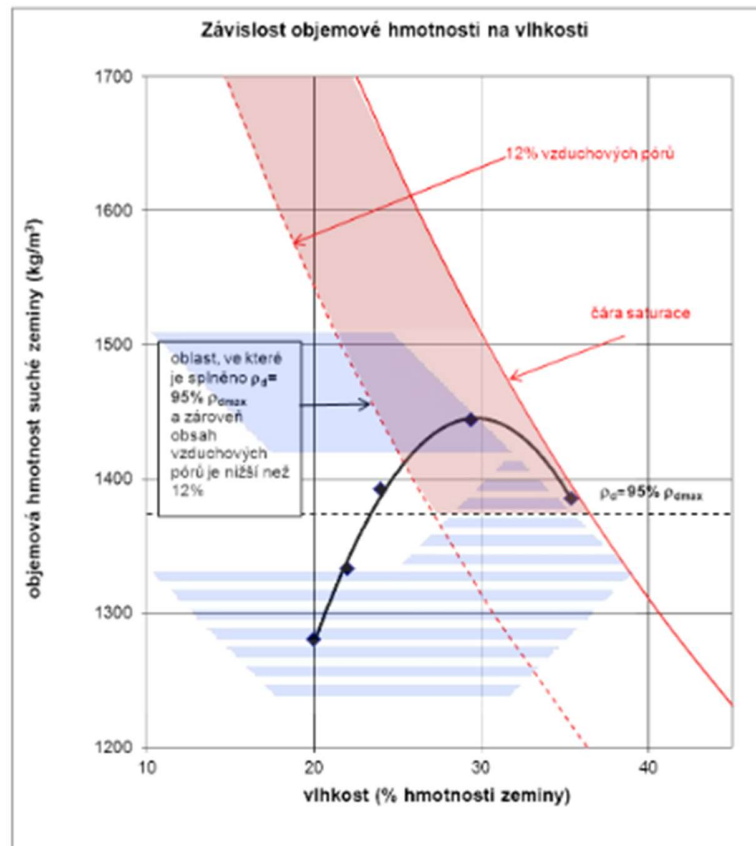
změny vlastností zeminy, dojde ke snížení vlhkosti a snížení plasticit ve prospěch zvýšení únosnosti. Samozřejmě úprava má i dlouhodobé účinky, u vápna se tyto účinky projevují pucolánovou reakcí, při které dochází ke krystalizaci gelu vzniklého reakcí vápna s jílovitými minerály a po dokončení reakce vznikne pevná materiál. Ostatní hydraulická pojiva ovlivňují hydratační procesy. Výhodou zemin upravených vápnem je možnost skladování na deponii a následné opětovné těžení, bez porušení vylepšených vlastností. Ostatní pojiva tuto možnost nemají. [1]

Hlavním cílem úprav je dosažení takových parametrů zeminy, kterých dosahují zeminy s možností přímého použití pro stavbu. Abychom dosáhli účinné a efektivní úpravy, je potřeba zpracovat výrobní předpis (recepturu) minimálně s těmito údaji:

- Druh a dávkování přidávané zeminy nebo pojiva. Při mechanické úpravě je nutné přesně uvést o jakou zeminu a z jaké lokality se jedná. Stejně musí být uveden i přesný druh pojiva a jeho výrobce.
- Srovnávací laboratorní objemová hmotnost a optimální vlhkost
- Dosažené požadované pevnostní charakteristiky upravené zeminy (CBR, IBI)
- Kontrola namrzavosti

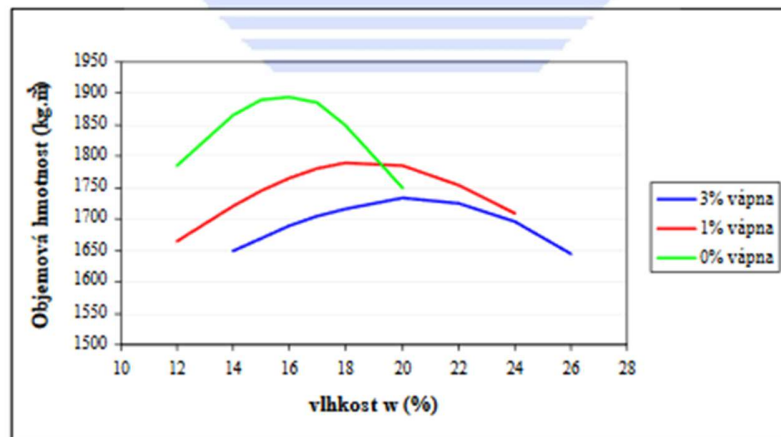
Pro správné zhutnění je potřeba, aby se vlhkost zeminy při mísení s pojivem příliš nelišila od hodnoty vlhkosti, určené Proctorovou standardní zkouškou. Tento požadavek má i jiný důvod. Tímto důvodem je v případě snížení vlhkosti to, že by nemuselo dojít k hydrataci veškerého pojiva. Potom by vlivem přirozené vlhkosti docházelo k nekontrolovatelné hydrataci, která by způsobovala objemové změny vedoucí k deformaci celého zemního tělesa. Proto se při příliš nízké vlhkosti přidává vody nebo vápenného mléka. [1]

Upravená zemina by také neměla obsahovat více jak 12 % vzduchových pórů. Pro splnění této hodnoty je možné použít větší hutnicí energii. Přípustní oblast obsahu vzduchových pórů v Proctorově závislosti objemové hmotnosti zemin na vlhkosti ukazuje obr. 2



Obr. 2 Oblast přípustného obsahu vzduchových pórů

Na úpravu zemin má také vliv chemické složení zeminy. Některé zeminy mohou obsahovat látky, které reagují s pojivem. Těmito látkami jsou například organické látky, které část pojiva mohou neutralizovat. Zeminy, které obsahují více jak 6 % organických látek jsou prakticky pro úpravu nepoužitelné. Fosfáty a dusičnany zpomalují hydraulickou reakci. Tyto látky se do zemin dostávají zejména při intenzivním hnojení. Na druhou stranu sulfáty a sulfidy urychlují reakci tuhnutí, ale při větším obsahu v kombinaci s vodou může docházet k tvorbě ettringitu a k objemovým změnám. Vliv vápna na změny maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti podle zkoušky Proctor standard ukazuje obr. 3



Obr. 3 Vliv vápna na změny maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti

Zeminy upravované za pomoci vápna se smějí zpracovávat při teplotách do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, zeminy upravované pojivy na bázi cementu pouze do teploty zeminy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samotná úprava se dělí na [1]:

- Úprava na místě
- Úprava v míchacím centru

Úprava na místě

K úpravě na místě se používají zemní frézy (obr. 4), dávkovače. Pojivy je rozvrstveno na nevhodnou zeminu dávkovačem pojiva. Pojivo se následně za pomoci zemní frézy promísí s nevhodnou zeminou v navržené tloušťce. Za nepříznivých povětrnostních podmínek může docházet k částečnému úletu rozprostřeného pojiva. I proto se zejména v obytné zástavbě používá speciální vápno se sníženou prašností. Po promísení zeminy se upravená zemina upraví grejdrem u zhutní se vibračními válci. U této technologie vyplývá omezení hloubky promísení s ohledem na technické možnosti zemních fréz na 0,5 m. Pokud je tedy hloubka úpravy větší než 0,5 m, je nutné úpravu rozdělit do několika technologických vrstev. [3]



Obr. 4 Zemní fréza

Úprava v míchacím centru

Během této varianty se musí zemina nejprve dovést do míchacího centra kde se upraví a následně se na stavbu musí opět dovézt. Tento způsob je výhodný při zlepšování zpracovatelnosti pro další použití. [2]

Předepsaná míra zhutnění musí být dodržena v celé tloušťce zhutňované vrstvy, což se ověřuje zhutňovací zkouškou.

2.3. Návrh zemního tělesa

2.3.1. Všeobecný návrh

Tato práce není o geotechnickém návrhu násypového tělesa, a proto se budeme zabývat pouze základními geotechnickými požadavky. Z tohoto hlediska se těleso rozděluje do tří geotechnických kategorií. Tyto kategorie jsou [1]:

1. geotechnická kategorie, do této kategorie se zahrnují tělesa do výšky 3 metry, které nejsou v kontaktu buďto s tekoucí povrchovou vodou nebo hladinou podzemní vody. V podloží tělesa nesmí být velmi stlačitelné zeminy jako je rašelina, bahno atd., a prosedavé zeminy. Dále toto území nesmí být poddolované nebo ohrožené sesuvy. Do těchto násypů se nepoužívají upravené zeminy pojivy, druhotné materiály, lehké materiály a nebo zemní těleso není tvořeno vrstevnatým násypem. Původní terén pod násypem nesmí mít větší sklon než 10 %. Při návrhu těles v této kategorii lze postupovat dle zkušeností nebo předběžného geotechnického průzkumu.

2. geotechnická kategorie, do této kategorie patří zemní tělesa o výšce vyšší než 3 m a menší než 3 m, za předpokladu že nespĺňují jakoukoliv podmínku z první geotechnické kategorie. Nebo jejichž výstavba by mohla ohrozit stabilitu přilehlého území či nestabilitu přilehlých staveb. Pro samotný návrh zemního tělesa se provede geotechnický průzkum, jehož součástí jsou standardní terénní a laboratorní zkoušky.



3. geotechnická kategorie, do této kategorie umísťujeme tělesa, které nesplňují podmínku první nebo druhé kategorie. Při návrhu se zde kromě standardních průzkumných prací používají i experimentální zkoušky a modely. Tyto konstrukce musejí být dlouhodobě monitorovány. Do této kategorie patří například vysoké, členité, složitě zatížené nebo na sesuvných území tvořené násypy.

Veškeré vlastnosti materiálu (zemin, hornin a druhotných materiálů) se získávají pomocí geotechnického průzkumu. Výpočet zemního tělesa má zobrazovat jeho skutečné chování a podmínky působení. V tomto výpočtu se mají uvažovat následující mezní stavy [1]:

- Ztráta celkové stability, únosnosti
- Porušení povrchovou erozí nebo vymíláním
- Hydraulická porušení
- Deformace, které vedou k omezení použitelnosti zemního tělesa a které mohou způsobit poruchy přilehlých konstrukcí a inženýrských sítí

Dle geotechnické kategorie a stupně zpracované dokumentace stavby se posouzení návrhu zemního tělesa provede:

- Přijetím normativních opatření
- Výpočtem
- Observační metodou
- Odborným odhadem
- Zatěžovacími zkouškami a zkouškami na experimentálních modelech

2.3.2. Návrh na základě výpočtu

2.3.2.1. Posouzení celkové stability

Posouzení celkové stability výpočtem se provádí u těles vyšších než 6 m. Toto posouzení je součástí vyššího stupně dokumentace. Využívá se zde proužková metoda, pro měkké skalní horniny a zeminy. [1]

2.3.2.2. Posouzení povrchové eroze

Zemní těleso je nutné posoudit proti vlivům eroze, rozeznáváme několik druhů půdní eroze, před kterou musí těleso ochránit:

- Gravitační eroze
- Vodní eroze
- Větrná eroze
- Eroze způsobená spolupůsobením nízkých teplot a vody

Gravitační eroze probíhá u všech svahů, dochází při ní k samovolnému pohybu materiálu zemního tělesa. Může k ní docházet pomalu nebo rychle. [1]



Vodní eroze je způsobena deštěm nebo přilehlými vodními toky. Vodní erozi můžeme dále rozdělit na povrchovou a vnitřní. Při vnitřní erozi dochází k vyplavování jemnějších zrn z celého profilu tělesa. [1]

Větrná eroze se dělí na korozi a deflaci. Koroze neboli obrus postihuje celé zemní těleso, dochází k ní pomocí tření větru a materiálu, který je větrem unášený. Deflace je odnos sypkého materiálu z tělesa. [1]

Eroze způsobená spolupůsobením nízkých teplot a vody není nic jiného než působení ledu na konstrukci zemního tělesa. [1]

Konstrukce zemního tělesa je nutné ochránit proti výše uvedeným vlivům eroze. Ochrana proti gravitační erozi a erozi způsobené ledem se projevuje zejména u skalních zářezů. Zde se ochrana řeší několika způsoby. Prvním způsobem je odtěžení nestabilních kusu horniny a následné zabezpečení trvalými kotvami. Dále se mohou použít kovové nebo syntetické sítě nebo záchytné ploty. U násypů tyto typy erozí můžeme eliminovat vhodným návrh sklonu svahu tělesa (gravitační eroze) a ochranu proti účinkům ledu lze eliminovat buďto použitím vhodným materiálem (malá nasákavost, rychlý odtok vody) nebo ochranou proti promrzání. [1]

Ochrana proti vodní a větrné erozi se odehrává zejména za pomoci osetí svahu vegetačním porostem. Zatravnění se provádí několika způsoby. Způsob osevu se určuje s ohledem na agrotechnické podmínky. Jeden ze způsobů je vysetí nízkorostoucích travin do vhodné zeminy, osetí a ohumusování probíhá ihned po provedení svahu. Druhým, dnes celkem častým způsobem je hydroosev. Při hydroosevu se aplikuje směs, která je složená z osiva, vody, umělého hnojiva, organické hmoty, pomocné půdní látky a protierozní přísady. Protierozní přísady slouží k ochraně osiva před větrem a vodou. Hydroosev se aplikuje v případě nedostatku vhodné zeminy nebo není-li jiná možnost, jak nanést na svah zeminu. Třetí možností je použití stabilizačních zatravněvacích rohoží, které zabraňují vyplavování osiva. Tyto rohože se ke svahu připevňují pomocí ocelových skob. Poslední, dnes ojedinělé je drnování. Při této metodě se na svah dávají předem předpěstované travní koberce. Tato metoda je náročnější jak na pokládku, tak i na prvotní údržbu (zavlažování). [1]

2.3.2.3. Hydraulické porušení

Hydraulické porušení vnitřní erozí, sufozí, zdvihem dna a vztlakem, může nastat u násypů, které navrhujeme v inundačních oblastech (záplavových oblastí), v místech s vysokou hladinou podzemní vody nebo jeli násyp součástí protipovodňových hráz. Například dojde-li k náhlému zvýšení hladiny vody tak se odlehčí pata násypu vztlakem a dojde k nasycení spodní části stavby vodou. Následně při rychlém odtoku vody, může dojít k vyplavování jemných částí z tělesa a tím pádem dojde k navýšení pórovitosti zemního tělesa. [1]



2.3.2.4. Deformace zemního tělesa

Při posouzení deformace zemního tělesa se posuzují deformace, které vznikají jak od poruch vozovky, tak až po sedání podloží tělesa. Samotné zemní těleso, je-li budováno správně (vhodné zeminy, postup), má velmi malé deformace (stlačení), a proto většinou celková deformace tělesa je způsobena sedáním podloží násypu. [1]

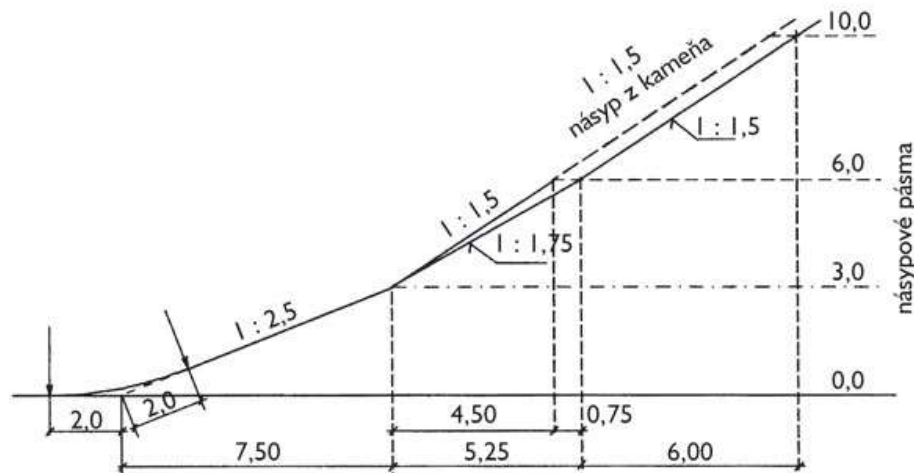
2.3.2.5. Návrh přijetím normativních opatření

Normativní opatření se dají aplikovat tam, kde nedojde k překročení mezních stavů. Použijí se v případě, že pro určitý návrh není výpočetní model nebo není potřebný. Normativní opatření obsahují jak běžné, tak i konzervativní pravidla pro návrh, při současné pozornosti na specifikaci postupů kontroly materiálů, provedených prací, údržba a ochrany. Tyto opatření se použijí v případech, které podle získaných zkušeností z jiných staveb nepotřebují návrhové výpočty. Mimo jiné se používají v případech, pro které přímý výpočet není obecně vhodný (např.: ochrana proti mrazu). Normativní opatření se používají ve fázi zpracování studie nebo dokumentace pro územní rozhodnutí. Dále se tato opatření používají pro tělesa v 1. geotechnické kategorii, i pro vyšší stupně dokumentace. Opatření, která nepotřebují výpočty se používají u tam, kde máme v blízkosti stavbu podobného tělesa, na kterém nejsou žádné známky poruch. Mezi normativní opatření patří velikosti sklonu svahu. O sklonu svahu rozhodují nejčastěji geologické podmínky. Sklon svahu je navíc ovlivněn volbou materiálu, jeho úpravou a vyztužením. Pokud se nevyžadují mírnější svahy, navrhují se standardně odstupňované podle výškových pásů. Příkladem normativního návrh je například zářez, který je navržen podle normy [3]:

- Při hloubce zářezu menší nebo rovné 3 m jednotný sklon ne strmější než 1:2
- Při hloubce zářezu větší než 3 m až do 6 m včetně, jednotný sklon ne strmější než 1:1,75

Nebo násyp (*obr. 5*):

- V pásmu do 3 m sklon 1:2,5
- V pásmu od 3 m do 6 m
 - Při výšce násypu do 6 m sklon 1:1,5
 - Při výšce násypu nad 6 m sklon 1:1,75
- V pásmu od 6 m výše sklon 1:1,5



Obr. 5 Sklony svahů násypu

Zemní svah, který chceme udržovat by neměl mít sklon větší než 1:1,75.

2.3.3. Návrh při využití zatěžovacích zkoušek a zkoušek na experimentálních modelech

Tento model návrhu se používá zejména tehdy je-li potřeba ospravedlnit nebo doplnit návrh. Důležité je ve výsledcích zohlednit některé faktory zkoušky jako je rozdíl mezi podložím ve zkoušce a skutečný podložím nebo čas probíhající zkoušky, který je menší než skutečné zatížení. Modely také často používají menší velikosti zrn, než je tomu u skutečného násypu. [1]

2.3.4. Observační metoda

Observační metoda se používá, je-li velmi obtížné zjistit chování geotechnické konstrukce. Konstrukce se navrhuje na ty nejpravděpodobnější hodnoty. Samotný návrh se potom upravuje při provádění konstrukce, kdy je mnohem snazší určit správné parametry. Před samotným zahájením prací se musí učinit následující kroky [1]:

- Určit akceptovatelné meze chování konstrukce
- Ohodnotit rozsahy možného chování a prokázat, že existuje přípustná pravděpodobnost, že skutečné chování bude uvnitř mezí
- Navrhnout plán monitoringu, který zajišťuje, zda jsou hodnoty v předem definovaných mezích, monitoring musí případné překročení mezí odhalit v čas, aby bylo možné aplikovat předem stanovené opatření



2.3.5. Zářez

Zářezy jsou obvykle zdrojem sypaniny pro stavbu násypu zemního tělesa pozemní komunikace. U zářezu je důležité se řídit stanoveným postupem těžby. Navržený postup vychází z geotechnického průzkumu, ten stanoví vhodný režim těžby, aby nebyl chybným pracovním postupem výkopek znehodnocen. Takovým postupem může být například selektivní těžba v případě faciálních změn horninového prostředí nebo o plošné odvodnění. Dnes rozeznáváme dva druhy zářezů [3]:

- Prostý
- Vyztužený – svahy se stabilizují kotvením nebo speciálními konstrukcemi

U zářezu je velmi důležité při provádění výkopových prací to, aby byl zajištěn případný odtok vody a nedošlo k zatopení vybudované části. Tomuto aspektu se musí podřídit celkové provádění těžby. Při hloubení zářezu je nutné dodržovat postup prací dle dokumentace. Návrh standardního zářezu byl již zmíněn v *kap. 2.3.2.5*. Ale existují i jiné varianty provedené zářezových svahu:

- Hřebíkový zářez
- Zářez zajištěný speciální konstrukcí (zárubní zeď)
- Skalní zářez

Hřebíkový zářez

Hřebíkování je jeden ze způsobů, jak vyztužovat svahy za účelem zvětšení možných sklonů svahu. Tato metoda spočívá v postupném hřebíkování strmého svahu již během realizace výkopu. Pro hřebíkování se používají krátké tahové prvky, jejichž hlavy jsou navzájem propojeny za pomoci výztužné sítě. Pro tento účel se převážně používá torkretová síť. Takto zabezpečené svahy se aplikují především tam, kde je nutné zmenšit zábor pozemku nebo je tato technologie méně finančně náročná. Samotný hřebík je ocelový prvek, převážně betonářská ocel, tyče, svorníky. Jednotlivé hřebíky se osazují ve vrtech o průměru 150 mm, a následně se zainjektují po celé své délce, nebo se zarážejí přímo do zeminy. Pokud jsou zaráženy do zeminy je nutné aby prvky měly antikorozní úpravu. Pro obě varianty platí, že se nechává vyčnívat ze svahu cca 5 cm hřebíku, aby bylo možné přichytit síť. Ke zhlaví hřebíků se upevní výztužná síť, která slouží k vytvoření pokryvné vrstvy ze stříkaného betonu o tloušťce 150 mm až 250 mm. pracovní postup je zde od shora dolů. Důležitou a neopomenutelnou součástí celé konstrukce je i nutnost zachycení vývěru vody ze svahu ale i povrchové vody. Pro zajištění vývěru ze svahu se do konstrukce vyvrtají šikmé subhorizontální vrty. Zachycení povrchových vod se řeší vybudováním plošným odvodňovacím zařízením. Výstavbu hřebíkového svahu probíhá v následujícím cyklu [3]:

- Odkopání vrstvy zeminy na výšku 1 až 2 m
- Vyhloubení vrtu kolmo k povrchu stěny nebo strměji (maximálně o 10°), v rozteči a hloubkách dle projektové dokumentace stavby
- Vyplnění vrtů cementovou maltou
- Vsazení hřebíku do vrtů



- Upevnění výztužné sítě ke zhlaví hřebíku
- Vytvoření povrchové vrstvy ze stříkaného betonu
- Opakování celého cyklu



Obr. 6 Práce na hřebíkováném svahu

Zárubní zeď

Zárubní zeď zabezpečuje celý zářezový svah proti sesunutí. Používají se v místech, kde není možné provést standardní zářez (např. kvůli zástavbě). Zárubní zdi jsou o něco štíhlejší než opěrné zdi, je to dáno soudržností zeminy. Sklon lící plochy je nejčastěji navrhován 5:1. Rubová stěna je svislá nebo zkosená. Důležité je provést odvodnění rubové strany zdi, pro tento účel se nejčastěji využívá štěrkopískový filtr. Na odvodnění je kladen velký důraz. Voda z rubové strany je vyvedena skrze zeď do rigolu na lícové straně a následně odvedena. Důležité je vybudovat plošné odvodňovací zařízení proti srážkové vodě v horní části svahu. Jinak se zárubní zeď posuzuje velice podobně jako opěrná zeď. [6]

Skalní zářez

Je-li zářez veden ve zdravých skalních horninách je možné, ponechat zdravou skálu vyčnívat nad úroveň svahu. Jestliže ale budeme předpokládat i po očištění skalní, že bude docházet k uvolňování skalních úlomků je zapotřebí navrhnout odsazení svahu nejméně o 1,0 m široké vodorovné lavičky. Rozmístění laviček je závislé na geotechnických poměrech a způsobu odstřelu skály. Vybudováním laviček se dá vyhnout i jiným typem zabezpečení proti pádu úlomků. Takovým řešením může být [6]:

- Drátěná síť (obr. 7)
- Obkladní zeď

Obkladní zeď může být určena jak proti odpadávání úlomků, tak ale i k zabránění zvětrávání skalního masivu. Výhodou těchto zdí je že nejsou namáhané žádným tlakem,



z toho vyplývá, že je zde značně volná ruka při výběru materiálu. Materiál tím pádem můžeme vybírat z místních zdrojů, nebo dle estetického začlenění do krajiny. Na druhou stranu se tyto zdi nebudují běžně, ale pouze v odůvodněných případech, s ohledem na jejich finanční náročnost. [6]



Obr. 7. Drátěná síť

2.3.6. Násyp

Standardní násyp dle normativních opatření byl již zmíněn v kap. 2.3.2.5. Samotný násyp je definován samozřejmě jako zemní těleso vytvořené nasypáním z hornin nebo zemin, ale také je definován úpravou svahů a zemní pláň. Součástí násypu je i část podloží, v které proběhnou stavební úpravy. Dle normy rozeznáváme několik typů násypů [3]:

- Prostý násyp
- Násyp z upravených zemin
- Násyp z kamenité a balvanité sypaniny
- Násyp z hlušinové sypaniny
- Vrstevnatý násyp

Dále můžeme násypy dělit podle specifického chování jak přírodních, tak antropogenních sypanin na:

- Násyp ze spraše a sprašové hlíny
- Násyp z vátého písku
- Násyp z popílku
- Vylehčený násyp

Násyp z kamenité a balvanité sypaniny

Pro násyp z kamenité sypaniny je charakteristická frakční vymezenost 60 – 200 mm. Kamenitá sypanina navíc ještě může obsahovat drobnější nebo balvanitou příměs. Tato příměs smí být do 50 hmotnostních procent. Zatímco balvanitá sypanina má spodní



frakční mez $d=200$ mm a horní mez je limitována hodnotou $D=1000$ mm nebo $D=400$ mm, horní mez závisí na typu horniny. Do balvanité sypaniny může být přimíšeno až 50 % frakce menší než 200 mm. Pro správný návrh je důležité znát charakteristiky sypanin již z geotechnického průzkumu. [3]

Čistá balvanitá sypanina se nejčastěji používá pro vyztužení podloží násypu, na silně stlačitelném a měkkém podkladu. Vyztužit podloží za pomoci této úpravy pouze tehdy, je-li hloubka upravovaného podloží malá a zatlačení sypaniny je doprovázeno výrazným penetračním odporem. [3]

Chceme-li použít kamenitou či balvanitou sypaninu do technologických vrstev násypu, musí splňovat stejné filtrační kritérium jako každá jiná sypanina. Filtrační kritérium je ovšem často problematické dodržet, a proto se vrstvy oddělují separačním geosyntetikem. V takovémto stavebním uspořádání slouží často jako izolovaná drenážní vrstva na bázi násypů budovaných převážně v horských terénech nebo inundačních oblastech. U návrhu je nutné si uvědomit, že násyp tvořený balvanitou a kamenitou sypaninou má největší hmotnost a zanedbatelné vnitřní přetvoření. Proto je důležité si uvědomit, že při špatném návrhu na poddajném podloží může dojít k vysokým a dlouhodobým přetvořením. [3]

Kamenitá sypanina se často získává ze zářezu, který prochází skalním masiv. Chceme-li využít takovou sypaninu musíme již ve fázi geotechnického průzkumu stanovit úkoly, které je zapotřebí vyřešit. Sypání z úrovně podkladu, tj. zhutněné podloží vrstvy je povoleno pouze pro frakce do 250 mm, tzn. vrstev z tvrdých skalních hornin do tloušťky 0,75 m a vrstev z měkkých skalních hornin do mocnosti 0,5 m. Limitním kritériem pro použití balvanité sypaniny do násypu je účinnost zhutňovacího prostředku a nikoli maximální přípustné mocnosti technologické vrstvy. K hutnění vrstev je vhodné použít pouze těžké tandemové válce s ocelovým běhounem a pneumatikovou hnací nápravou o hmotnosti nad 15 tun. Pracovní režim je zapotřebí nastavit na vysokou amplitudu a nízkou frekvenci. Tyto sypaniny se nehodí pro provádění aktivní zóny podloží vozovky. [3]

Násyp z hlušinové sypaniny

Materiálem pro tento typ násypu je hlušina z těžby rud nebo uhlí. Do násypů se používá naprosto stejně jako zeminy, které mají stejnou frakci a vlhkost. Jediným rozdílem je, že během těžby, sypání a rozhrnování je nutné z hlušiny odstraňovat nečistoty. Hlavními nečistotami, které se objevují jsou zejména zbytky důlní výdřevy. [9]

Při využívání uhelné hlušiny je důležité rozlišit, zda se jedná o hlušinu prohořelou nebo neprohořelou. V případě využití neprohořelé hlušiny do násypu vyššího než 4 m, je nutné jednotlivé vrstvy hlušiny oddělit izolační vrstvou. Izolační vrstva je též nazývána jílová clona. Clona je tvořena z jemnozrnných zemin. Izolační vrstva musí být analogická s úpravou svahu, aby nedocházelo k aeraci (provzdušnění) a následnému záparu, který



by vedl k samovznícení. Tloušťka izolační vrstvy musí být nejméně 0,2 m. První izolační vrstva se u násypů vyšších než 4 m položí do úrovně 2 m nad podloží, další následné vrstvy se kladou po dalších 2 m. Pozornost se také musí věnovat při pokládání prohořelé hlušiny na neprohořelou. Prohořelá hlušina se musí pokládat v minimální tloušťce vrstvy 0,5 m a její teplota podkladu nesmí být vyšší než 40 °C. Pro návrh těchto násypů je sestavena samostatná technická podmínka TP 176. [3][9]

Vrstevnatý násyp

Tento typ násypu se využije zejména v oblastech, kde není pro stavbu prostého násypu dostatečné množství kvalitních zemín či hornin. Vrstevnatý násyp je tvořen ze dvou rozdílných technologických vrstev. Do těchto vrstev se používají dvě rozdílné zeminy, které mají odlišnou zrnitost tak i vlhkost. Jedna vrstva se nazývá ztužující (N) a druhá je poddajná vrstva (S). Za vhodné lze tedy považovat zeminy ze zářezů např. v terasových stupních. V současnosti je nutné zohledňovat i náklady, a proto není možné se spoléhat na nákup a dopravu materiálu na ztužující vrstvu z jiných zdrojů (lomy, důlní odvaly). Pro stavbu vrstevnatého násypu také platí specifické ustanovení. První vrstva na podloží násypu a poslední vrstva násypu pod aktivní zónou musí být ze ztužující sypaniny. Pracovní vlhkost a vlhkosti na mezi tekutosti a plasticity zeminy poddajné vrstvy musí být takové, aby její konzistence byla minimálně tuhá ($I_c > 0,5$). Poddajná vrstva musí být hutněna nejméně na míru zhutnění $D = 92 \% PS$. Celkové uspořádání obou sypanin musí být takové, aby obě vrstvy po celé výšce násypu bylo možné chránit přísypem z poddajné sypaniny o mocnosti 0,5 – 0,8 m. Každá vrstva se zhutňuje samostatně, pouze v případě že do vlastností použitých zemín dovolí. Může nastat, že poddajná vrstva bude tvořena plastičtějšími jíly se zvýšenou lepivostí. Tyto zeminy by se lepily na běhouny válců, a proto se někdy přistupuje k zhutnění dvou vrstev najednou, horní vrstva je vždy ze ztužující sypaniny. U tohoto postupu je problém s kontrolou míry zhutnění poddajné vrstvy. Vrstevnatý násyp se nesmí navrhnout v přechodové oblasti mostů. [3]

Násyp ze spraše a sprašové hlíny

Charakteristickou vlastností spraší je jejich frakční vytřídění a další vlastnosti. Mediánem zrnitosti je 0,02 – 0,06 mm. Dalšími charakteristickými vlastnostmi jsou homogenní textura, vysoká pórovitost, prizmatická odlučnost, vysoká efektivní pevnost a výskyt do výšky 300 m n.m. Spraše vždy obsahují karbonátovou (vápennou) příměs a jílovou frakci, která má vždy větší podíl než písčité frakce. Mechanické vlastnosti, které vyplývají z geneze a vysoké pórovitosti jsou vysoká náchylnost k nasycení vodou. Nasycení vodou je nepříjemné z hlediska ztráty smykové pevnosti a rozbředavosti. U spraší označujeme ztrátu stability jako prosedavost. [3]

Spraše pahorkatin se vyskytují ve výškách cca od 300 m n.m. Tyto spraše jsou hrubší, polymiktní a mají genetický vztah k regionálnímu horninovému prostředí. Z této



podmínky vyplývá to, že nemusejí obsahovat karbonáty. V jejich složení se vyskytuje větší podíl jílu a písku. Zpravidla nejsou prosedavé. [3]

Sprašové hlíny jsou ovlivněné exogenními vlivy, zejména atmosférickou vodou a gravitací. Někdy i podzemní vodou. Geneze sprašových hlín je tedy hlavně fluviální nebo deluviální. Možné je, aby došlo pouze k chemickému efektu. Chemickým efektem je odvápnění za pomoci atmosférické vody. Po reakci navíc není spraš nikam transportován. Vliv vody eliminuje efekt prosedavosti. Právě postrádání prosedavosti je jednou z charakteristik sprašových hlín. Při použití spraší a sprašových hlín je nutné dodržet následující zásady: [3]

- Zabránit jejich rozbřednutí srážkovou vodou před zhutněním
- Dosáhnout zhutnění na předepsanou objemovou hmotnost
- Při vlhkosti vyšší než $w_{opz} + 2 \%$ jsou nutná technická opatření
- Při vlhkosti nižší než $w_{opz} - 2 \%$ je nutné laboratorními zkouškami ověřit, zda spraš není prosedavá

Vzhledem ke kritériím míry zhutnění, bývají spraše hutněny při vlhkostech, které jsou na úrovni vlhkosti pro maximální zhutnění. Tímto postupem tedy lze dosáhnout větší objemové hmotnosti, než měl spraš při původním uložení. Tímto způsobem se také eliminuje prosedavost. S ohledem na vlastnosti spraší a jejich hlín, ale i zemin s podobnými vlastnostmi, je vhodné volit možnost výstavby násypu tehdy, je-li možnost stavět pomalu. Stavbou pomalu, se zde rozumí klidně stavět i několik let, v případě vysokých násypu. Důvody, proč je výhodné stavět pomalu jsou zejména dva. Prvním důvodem je časový odklad hutnění během zpracování technologické vrstvy, nutný pro vyrovnání pórových tlaků. Druhým hlavním důvodem je konsolidace násypu. Dalším důvodem, který význačně zasahuje do celkové doby výstavby je náchylnost na klimatické vlivy, hlavně atmosférické srážky. Právě počasí díky svým výkyvům působí značné problémy při dodržování termínů při výstavbě. Celkovou náročnost zvyšují nutné opatření pro odclonění vody v podobě drenážních vrstev v patě násypu a protierozní příspy svahů. Dnes se spraše díky svým vlastnostem (vlhkost, homogenita, zpracovatelnost) používají zejména pro výrobu upravených zemin za pomoci vápna. [3]

Násypy z vátých písků

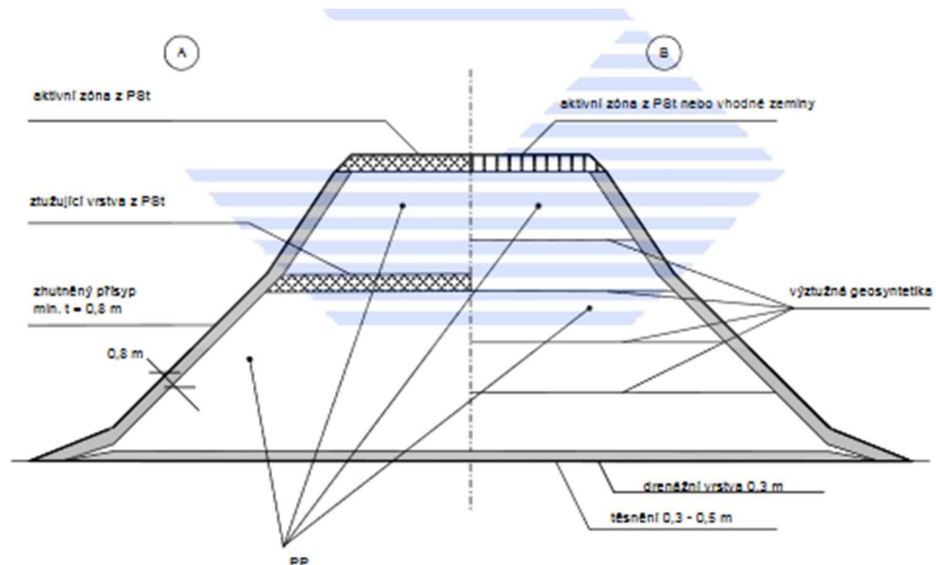
Odlišnost od spraší je textura. Textura eolických písků je vrstevnatá. Pro váté písky je charakteristické proudové zvrstvení. Dalším rozdílem je dominantní zastoupení křemenu, které dosahuje v našich geologických podmínkách hodnoty 93 % až 99 %. Velikost zaoblených zrn je z 60 – 90 % v rozmezí 0,1 – 0,3 mm. Obsah jemných částic je zpravidla do 5 %. Váté písky neobsahují štěrkové valouny, ale mohou obsahovat frakci 2/3 mm. Podloží násypů z vátých písků je v podstatě nestlačitelné, tj. vysoce únosné. Problematická často bývá špatná sjízdnost staveništní dopravou při snímání pokryvu organických zemin a při sypání 1. technologické vrstvy násypu. Abychom zamezili tomuto nepříjemnému problému, je vhodné písky upravit pomocí hydraulického pojiva nebo vhodným mechanickým zpevněním přímo na místě. Obecně vzato váté písky nejsou příliš



vhodnou zeminou pro stavbu násypů. Může za to jejich zanedbatelná efektivní soudržnost. Následkem toho se technologické vrstvy z vátého písku nedají přímo hutnit. Proto se váté písky využívají zejména do vrstevnatých násypů. [3]

Násypy z popílků

Pro stavbu násypů se využívá popílek a popílkový stabilizát. Do vrstev, ve kterých jsou tyto materiály nesmí zasahovat hladina podzemní vody (ani při zvýšení po dešti). Z této jednoduché poučky tedy vyplývá, že tam kde je výška násypu menší než 0,5 m a kde je hladina podzemní vody v úrovni podloží násypu a vyšší. Toto neplatí pro dočasné a účelové komunikace. U tohoto násypu musíme zabránit vztlínání vody do vrstev obsahující popílků. Jako ostatní násypy ani násyp z popílků nelze ponechat po dokončení bez ochrany proti povětrnostním vlivům. Popílek se do jednotlivých vrstev ukládá tak, aby bylo možné svahy násypu přisypat ochranou vrstvou o pravé mocnosti 0,8 – 1,0 m. Konstruktivní uspořádání násypu z popílků je vidět na *obr. 8*. Samotná tloušťka technologické vrstvy popílků, vhodnost a účinnost zhutňovacího prostředku a potřebný počet přejezdů se určí ze zhutňovací zkoušky. Kritériem dostatečné míry zhutnění je $D > 95\%$ PS. I pro tento typ násypu jsou vytvořené technické podmínky TP 93. [3][9]



Obr. 8 Násyp z popílků

Vylehčené násypy

Vylehčení násypového tělesa pozemní komunikace se dosáhne snížení napětí na podloží a tím se výrazně sníží sedání. Vylehčení zemního tělesa může být prováděno jako samostatné řešení, nebo může být součástí jiných opatření pro snížení sedání či urychlení konsolidace. Výhodou použitých materiálů je jejich kvalitativní stálost, protože se jedná o uměle vyráběné produkty. Tím že neměnné své vlastnosti je možné s nimi pracovat i v zimních obdobích. S přihlédnutím k rychlosti výstavby, je vyšší než provádění

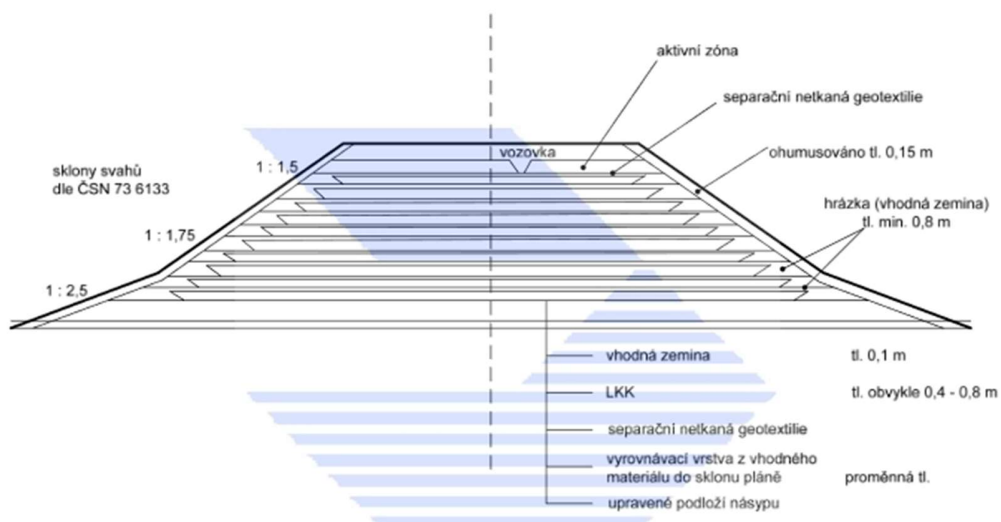


hlubinných opatření pro zlepšení podloží násypu. Při návrhu násypu je nutné svah ověřit na porušení vztlakem, ale jen v místech, kde je toto porušení reálné. [3]

Pro vnější svahy vylehčených násypů se používají běžné zeminy, aby lehké materiály nebyly vystaveny na povrchu účinkům eroze nebo v případě použití expandovaného polystyrenu UV paprskům, teplu nebo vandalismu. [3]

Pro základní zemní hrázky (u LKK) a pro vnější obsyp polystyrénových bloků je nejvhodnější hlinitý písek se štěrkem. Lze použít i dobře zrněný štěrk. Do aktivní zóny se lehké materiály nepoužívají, lehké materiály dosahují nejvýše úrovně parapláně. [3]

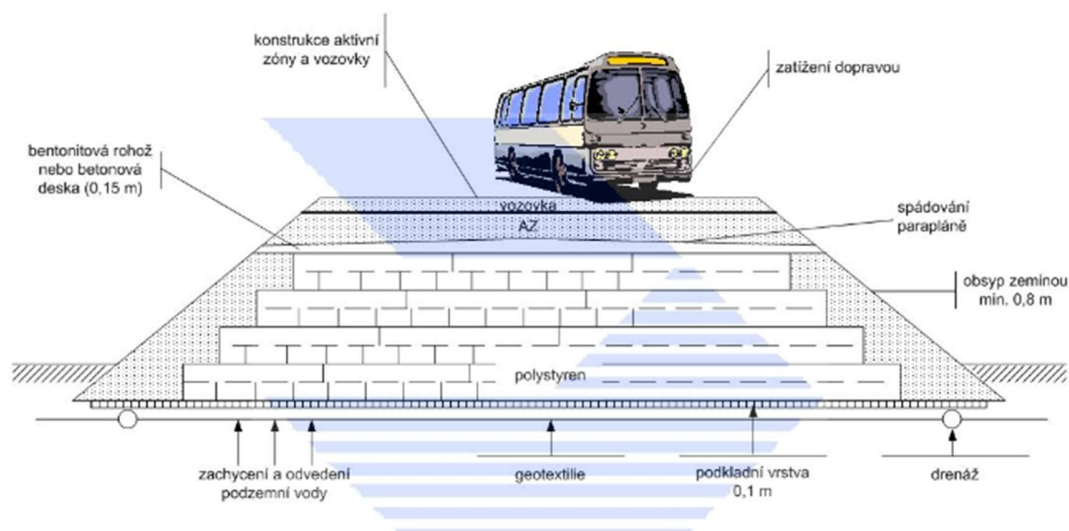
Před navážením LKK se musí podloží násypu urovnat do předepsaného sklonu okolo 3 %. Na takto připravené podloží se nejprve na obou okrajích násypu vybudují zemní hrázky a výšce max. 1,0m. Vnější líc hrázky musí mít sklon dle projektové dokumentace, zatímco vnitřní svah se upravuje dle typu zeminy, obvykle 1:1. Šířka hrázky činní minimálně 0,8 m. mezi zemní hrázky se položí separační geotextilie, na kterou se nasype LKK o mocnosti vrstvy 0,4 až 0,8 m. Mocnost vrstvy se odvíjí od požadovaného stupně vylehčení. Stupeň vylehčení se vyjadřuje v procentech poměru celkové objemové hmotnosti k objemové hmotnosti samotné zeminy. Procento vylepšení se obvykle pohybuje mezi 40 až 70 %. Technologickou mocnost vrstvy opět určuje zhutňovací zkouška. Je-li pro hrázky použit štěrk s otevřenou zrnitostí, separační geotextilie se přetáhne i přes vnitřní svah hrázky. Vrstva z LKK se jen rozhrne, ale nehutní se. Zhutnění této vrstvy se děje společně s dělicí vrstvou zeminy. Samotné hutnění probíhá nejprve válci bez vibrace po asi 2 pojezdech s vibracemi. Důležité je, aby se při hutnění nepoškodily jednotlivé zrna LKK. Aby se zabránilo drcení zrn, používají se pro hutnění lehké zhutňovací prostředky, nebo se sníží amplituda válce. Konstrukční schéma násypu je uvedeno na *obr. 9*. [9]



Obr. 9 Konstrukční schéma vylehčení LKK.



Pokud se jedná o násyp z expandovaného polystyrenu (EPS), je nutné správně si připravit podloží. Povrch musí být vodorovný. Na úrovni podloží se rozprostře vrstva písku, štěrkopísku nebo drtě o maximální velikosti zrna 16 mm. rovinatost této vrstvy je požadována s přesností max. 10 mm na 3 m. Bloky polystyrenu se pokládají ve vrstvách. Bloky polystyrenu se skládají tak, aby nedocházelo ke vzniku průběžných svislých spár. Přičemž minimální přesah jednotlivých bloků je minimálně 0,3 m. Ve vodorovném směru je přesah bloků 0,6 m. Směr pokládky se střídá. Skládání EPS bloků je vlastně obdobné jako skládání cihlové zdi. Konstruktivní uspořádání je vidět na *obr. 10*. Výhoda těchto bloků je snadná řezatelnost, čímž si je můžeme přizpůsobit velikostním požadavkům. Pro zabránění vzájemných posunů se jednotlivé bloky propojí ocelovými hmoždinkami, počet hmoždinek je závislý na velikosti bloků a klimatických podmínkách při výstavbě. Boční přísyp se zhutňuje za pomoci malých hutnicích prostředků, aby nedošlo k poškození a přetížení bloků EPS. Svah vylehčeného násypu pomocí bloků EPS je obvykle 1:1,5 až 1:2. [9]



Obr. 10 Konstruktivní uspořádání vylehčení EPS.

2.3.7. Nestandardní řešení násypů

Nestandardní řešení násypových svahů se využívá například není-li možné, provést tak velký zábor jako by bylo potřeba pro standardní řešení, nutnost zachovat stávající objekty a další. Nestandardní řešení můžeme rozdělit na:

- Opěrné zdi
- Gabiony
- Vyztužený svah

Opěrné zdi

Opěrné zdi zachytávají násypové těleso, případně zabraňují sesuvu a zemním tlakům. Z hlediska geometrie se lící strana buduje ve sklonu 5:1 až 10:1, zatímco rubová



strana zdi je nejčastěji svislá případně zkosená. Pro celkovou stabilitu konstrukce je nutné založit zeď do nezámrazné hloubky. Velkým nepřítelem zdí je voda, kterou je nutné odstraňovat z rubu zdi. Aby byla voda odváděna, provádí se zásyp zdi kamennou rovnaninou. Kamenná rovnanina zde plní drenážní funkci, která nebrání pronikání vody do úrovně odvodňovacího otvoru. Část zdi pod odvodňovacím otvorem je potřeba opatřit ochranou jílovou vrstvou, která přiléhá těsně na konstrukci. Samotné odvodňovací otvory jsou v osových vzdálenostech 5 až 10 m. [6]

Návrh opěrné zdi nejprve podléhá předběžnému návrhu podle empirických vzorců:

Empirické vzorce pro šířku koruny K:

$$K = 0,44 + 0,2 \cdot h \quad \text{pro } H=0 \text{ m}$$

$$K = 0,44 + 0,2 \cdot h + 1/30 \cdot H(2 - H/2 \cdot h) \quad \text{pro } H > 1 \text{ m}$$

h... výška opěrné zdi

H... výška nadnásypu

Šířka koruny opěrné zdi by měla být minimálně 0,60 m.

Orientační rozměry zdí:

$$h = 0,75 - 1,5$$

$$Z = 0,55 \cdot h$$

$$B = (0,33 - 0,45) \cdot H$$

$$B_0 = 0,30 + k \cdot H$$

$$K = 0,17 - 0,27$$

Maximální délka dilatačního celku je 10 m. Tyto dilatační spáry je nutné chránit proti průtoku a průsaku vody.

Po předběžném návrhu pomocí empirických vzorců, se přistoupí k posouzení těchto prvků stability:

- Posouzení únosnosti základové spáry – porovnává výpočtovou únosnost základové půdy a napětí od svislé složky zatížení přeneseného na efektivní ploch základu
- Pootočení zdi
- Překlopení konstrukce kolem bodu A – poměr mezi aktivním a pasivním momentem nemá klesnout pod 1,5násobek
- Posunutí v základové spáře
- Stabilita svahu – nutné je zejména v sesuvných oblastech za použití například proužkové metody
- Samotný návrh a posouzení konstrukce



Opěrné zdi můžeme dělit do následujících skupin:

- Prefabrikovaná
 - Z železobetonových prefabrikátů typu U
 - ze stěnových prefabrikátů
 - z železobetonových prefabrikátů typu T
- Gravitační
 - Z prostého betonu
 - Suché zdi
 - Kamenné zděné zdi
- Úhlové zdi
 - Úhlová zeď
 - Úhlová zeď vyztužená žebry
 - Úhlová zeď s odlehčovací deskou
- Dle materiálu
 - Z prostého betonu
 - Z železobetonu
 - Z kamenných bloků

Opěrné zdi jsou realizovány pouze v odůvodněných případech, vzhledem k vysokým nákladům. Nejčastěji se proto využívají tam, kde není možné vybudovat standardní sklony svahu. Tyto situace nastávají v územích s obytnou zástavbou, v blízkosti vodních toků či ostatních stávajících komunikací které je potřeba zachovat.

Gabiony

Gabionová konstrukce je tvořena dílčími prvky tzv. koši *obr. 11*. Koše mají obvykle tvar krychle nebo kvádra. Samotná gabionová konstrukce je tvořena dvěma hlavními prvky. Prvním prvkem je již zmíněný gabionový koš, do kterého se vkládáno přírodní kamenivo. [4]



Obr. 11 Gabionový koš

Gabionový koš je vytvořen z pozinkovaného nebo poplastované kovové sítě či pletiva s tahovou pevností 450 až 500 MPa. Průměr drátu je v rozmezí 2,5 až 4 mm. Jednotlivé koše se stavějí z příček, dna, bočních stěn, víka a přepážek. Tyto prvky jsou spojovány speciální spirálou. Jednotlivé prvky jsou tvořeny ze svařovaných nebo pletených sítí. Šířka ok u svařovaných sítí je obvykle 100 až 120 mm, u pletených sítí z ocelového pletiva 50 až 100 mm. samotný rozměr koše se může lišit dle požadavků. Základní tvar koše je šířka a výška 1 m. [4]

Pro vyplnění gabionu se používá přírodní kámen. Především pro lícovou stranu se používá hladký lomový kámen (estetický důvod), který nepodléhá povětrnostním vlivům, není křehký a neobsahuje vodou rozpustné soli. Zbytek koše se už následně může vyplnit méně kvalitním kamenivem, které obsahuje už i jemnější frakci kameniva. Výhodou těchto konstrukcí je i využívání recyklátů, například využití betonové drtě. Tyto materiály se používají především pro rubovou část zdi. [4]

Vznik celkové konstrukce z jednotlivých košů vzniká postupným ukládáním jednotlivých košů tak, aby byla styčná spára vždy převázaná. Koše se spojují navzájem ocelovými sponami pro zvýšení tuhosti celé konstrukce. Nutné je říci, že technologie se může značně lišit dle technických podkladů od jednotlivých dodavatelů. Ovšem společné mají všechny systémy založení v nezámrazné hloubce a následné geometrické uspořádání: [7]

- Konstrukce je ukloněna maximálně o 10° od svislé osy, lícová stěna je celistvá, rubová je naopak odstupňovaná
- Konstrukce je ukloněna maximálně o 10° od svislé osy, lícová stěna je odstupňovaná, rubová naopak celistvá
- Konstrukce je svislá, odstupňování probíhá současně na rubové i lícové straně



Za předpokladu použití propustného materiálu, není zapotřebí provádět drenážní, odvodňovací vrstvu na rubu zdi, ale je nutné použít separační geotextílii. Geotextilie slouží jako ochranná vrstva proti zanesení kameniva vyplavovanými zrny zeminy. Ochrana před dešťovou vodou spočívá ve vybudování plošného odvodňovacího zařízení v koruně zdi. [7]

Celou konstrukci je nutné posoudit na stejné prvky stability jako opěrnou zeď (únosnost základové spáry, pootočení zdi, překlopen kolem bodu A, posunutí v základové spáře, stabilita svahu, návrh a posouzení konstrukce) a navíc na tyto prvky:

- Stabilita jednotlivých stupňů – stabilita proti překlopení a posunutí
- Roztržení dřívku gabionové stěny – posouzení přetržení sítě
- Únosnost tahové výztuže – posouzení v případě použití

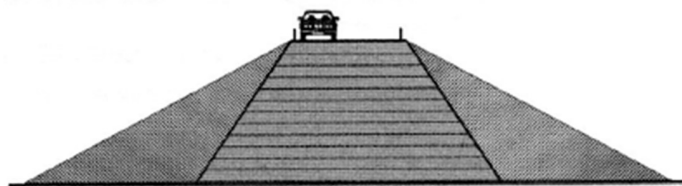
Výhody gabionových konstrukcí:

- Stabilita, staticky spolupůsobí s terénem, technická variabilita
- Přírodní vzhled (vhodné použít do CHKO, NP)
- Recyklovatelnost
- Zvukový útlum
- Rychlá realizace
- Suchá montáž
- Nenarušují přírodní vodní režim

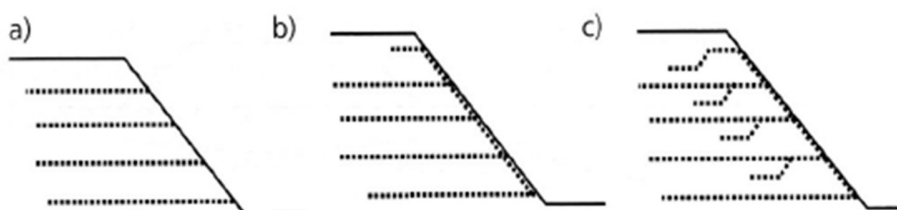
Vyztužené svahy

Vyztužené svahy se používají buďto pro vytvoření standardních sklonů ze zemin, z kterých by bylo požadované sklony vytvořit velmi obtížné. Spíše se ale použijí při stavbě násypu na dosti únosném podloží, který umožní vybudovat svah se strmějšími svahy. Využití principů vyztuženého svahu vede k podstatně menšímu záboru pozemku *obr. 12*. S ohledem na cenu záboru a jeho mnohdy problematického získání představuje vyztužený násyp řešení tohoto problému. Samozřejmě v nákladech vyztuženého násypu se promítne jak cena výztuh, tak i cena montáže. Vyztužení může mít různý charakter. [2]

- Vodorovné vyztužení (a)
- Vodorovné vyztužení s přehnutými konci (b)
- Vodorovné vyztužení s přehnutými konci a ukotvení do horní vrstvy (c)



Obr. 12 Schéma vyztuženého svahu



Obr. 13 Typy vyztužení svahů

Při návrhu vyztuženého násypu je potřeba respektovat návrh dle mezních stavů. Pro případ vyztužených zemín se vyzdvihují do popředí zejména dva mezní stavy. První mezní stav je stabilita, druhý je deformace (sedání). Současně Eurokód 7 určuje, že většina vyztužených zemín spadá do 3. geotechnické kategorie. Pro použití v praxi z toho vyplývá, že většina vstupních hodnot do statického výpočtu by měla být zjištěna na základě laboratorních či polních zkoušek. [2]

Volba vyztužení svahu se určuje s ohledem na použití a velikost konstrukce, požadovaném sklonu svahu. U svahů se sklonem do 50° není nutné provádět zlepšení líce svahu. Líc svahu se pouze vyztuží protierozní georochoží pro zvýšení povrchové stability. Georochož se aplikuje až na dostavěné násypové těleso. Jakmile dosáhneme sklonu svahu nad 50° se líc svahu obaluje geomříží nebo ocelovým prefabrikovaným panelem, který se připevní sponami k výztužné geomříži. Při využití ocelových prvků se ještě na rubovou stranu prvku vkládá kokosová georochož, která zabraňuje propadávání zeminy skrze oka prvku. [2]

Výhodou armovaných svahů:

- Rychlá a suchá montáž
- Svahy porostlé vegetací (v krajině působí přirozeněji)
- Vysoká trvanlivost
- Možnost použití místních vytěžených zemín

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části práce, se budeme zabývat návrhem určitého příkladu nestandardního zemního tělesa pozemní komunikace. Podklady k typovému příkladu byli poskytnuty firmou Metrostav.

3.1. Popis, geologický průzkum

Nestandardní příkladové zemní těleso pozemní komunikace je součástí stavby dálnice D3 z Prahy do Českých Budějovic, a to na úseku D3 0309/I Bošilec – Ševětín. Řešené těleso se nachází v násypu, v úsecích od 112,200 km do 114,900. Výška násypu se pohybuje v rozmezí 1,2 – 8,0 m. Hladina podzemní vody zde byla v rámci podrobného



geotechnického průzkumu zjištěna v hloubce od 2,5 m do 5,5 m pod terénem a ustálila se při 2,45 až 5,3 m pod terénem. Sklony svahů jsou zde navrženy podle doporučených hodnot dle ČSN 73 6133, ale jsou zde použita i nestandardní řešení svahů. Jedním z nestandardních řešení je využití protierozních 3D georochozí. Další použitá varianta zde byla aplikace prefabrikovaného výztužného bloku Green Terramesh 70°.

Nestandardní řešení je zde použito proto, že vedle nově budované dálnice D/3 je nutné zachovat stávající místní komunikaci Dynín, která se nachází mezi železniční tratí a nově budovaným úsekem dálnice.

V těchto úsecích je podloží násypu tvořeno převážně jíly se střední plasticitou (F6/Cl) nebo kvartérní písčité jíly (F4/CS), převážně tuhé až pevné konzistence. Místy se vyskytují středně ulehlé jílovité písky (S5/SC). Vzhledem ke složení podloží se pro stavbu doporučuje první vrstvu násypu o mocnosti minimálně 0,5 m provést z kamenitého materiálu. Zatlačení tohoto kamenitého materiálu dojde ke zlepšení vlastností podloží. V části úseku se nachází těleso stávající komunikace I/3. Toto těleso musí být z důvodu různé stlačitelnosti odtěženo a zeminy původních násypů mohou být znovu použity do nově budovaného násypu.

3.2. Původní řešení svahu (strmý svah)

Vzhledem k podmínce, nutnosti zachování místní komunikace Dynín, byl původní návrh násypového tělesa pozemní komunikace D/3 navržen jako svah vyztužený geomřížemi s upraveným podložím. Toto řešení se uplatní v úsecích, kde je sklon svahu roven 1:1,5 a dále kde bude sklon navržen ještě strmější. Nutnost využít vyztužený svah, a ne svah s normálními sklony dle ČSN 73 6133, vyplývá z předpokladu splnění podmínky o zachování místní komunikace a celkové výšky násypu, která se pohybuje v rozpětí hodnot 1,2 – 8,5 m. Kdybychom chtěli dodržet normové sklony při daných výškách museli bychom zvětšit silniční pozemek, což by vedlo k nutnosti odstranění nebo k přeložení místní komunikace. Toto řešení není povoleno, a proto zde bylo rozhodnuto k výše zmíněnému použití vyztužených svahů geomřížemi.

3.2.1. Provedení původního řešení

Konstrukce násypového tělesa se měla budovat běžným způsobem. Při běžném způsobu se střídá navážení vhodné zeminy s jejím hutněním a s pokládáním výztužné geomříže. Geomříže jsou vyrobeny z PET. Před samotným budováním konstrukce se nejprve mělo provést upravení podloží násypu o mocnosti vrstvy 0,4 m. Úprava podloží je zde navržena jako mechanická úprava. Zvolenou mechanickou úpravou je zde zahutnění štěrkovitého materiálu do neupravené zeminy. První násypová vrstva bude provedena na málo únosném podloží a z tohoto důvodu bude provedena z propustného štěrkovitého (kamenitého) materiálu. Vyztužení prvních vrstev násypového tělesa je navrženo ve dvou vrstvách. Na štěrkovitý povrch bude nasypáno lůžko štěrku frakce 16/32 nebo 32/63 v tloušťce 0,1 m, na něj se následně položí geotextílie (minimální pevnost v tahu 100kN/m) s minimálními přesahy 3 m. Geomříž se následně zasype další vrstvou štěrku o minimální tloušťce 0,2 m, na její povrch budou zataženy přesahy



geotextilie. Následně se dosype zbývající část šterkové vrstvy o mocnosti 0,1 m. Obdobně bude provedena i druhá vrstva šterku vyztuženého geotextilií o stejných vlastnostech, tloušťka této vrstvy opět bude 0,4 m. Po úpravě podloží násypu se bude provádět násypové těleso. Pro realizaci je doporučeno provádět násyp celoplošně po vrstvách o mocnosti maximálně 0,5 m. Začátek sypání všech vrstev musí mít totožný začátek a konec. Tento postup je nutný vzhledem k dosažení postupného rovnoměrného narůstání pórových tlaků a současně k dosažení opačného jevu vedoucího k jejich postupné, celoplošné a přibližně, přiměřené rovnoměrné disipaci. Pro násyp je vzhledem ke špatným geologickým podmínkám nutné použít zlepšenou zeminu (pomocí vápna – CaO). Zlepšování zeminy proběhne v míchacím centru s ohledem na nutnost vyztužení svahu geosyntetikem. Jelikož výztuhy jsou dávány po 0,5 m na výšku, tak z bude lepší s ohledem na zhutnění provádět tuto vrstvu ve dvou technologických vrstvách o menší tloušťce. Pro hutnění není tím pádem nutné používat velké, těžké stroje, ale postačí i menší vibrační či statické válce. Vylepšenou zeminu je nutné zhutnit na minimální míru zhutnění 95 % PS (Proctor Standard). Díky tomuto postupu je konstrukce násypu možné považovat ve výpočtech za celistvou a ne vrstvenou.

Po dosažení výšky parapláně se na násypové těleso položí separační geotextilie. Geotextilie musí splnit nároky proti protlačení zeminy násypu do aktivní zóny, pro tento účel je vhodné využít netkanou geotextilii. Geotextilie musí splnit požadavky na protlačení. Na separační geotextilii se následně nasype materiál aktivní zóny. Materiál pro aktivní zónu je zde vzhledem ke špatným geologickým podmínkám doporučen na stavbu dovést. Předpokládá se nákup hrubozrnného materiálu. V řešeném úseku se tloušťka aktivní zóny pohybuje dle geologie od 0,5 do 0,7 m.

Z důvodu vytvoření strmých sklonů se do každé vrstvy násypu (0,5 m) vkládají vyztužené geomříže. Geomříže mají délku 5 m, délka přesahu jedné geomříže přes druhou (nad sebou) je zde navržena na 2 m. Geomříže se musejí pro správnou funkci zásadně pokládat kolmo na směr sypání násypu (směr komunikace). Po vytvoření tělesa je nutné co nejdříve provést ohumusování a osetí svahu. Ohumusování se po celé výšce násypu provede v tloušťce 0,15 m. Aby bylo zabráněno vytváření erozních rýh ve svahu násypu, je zde navrženo zpevnění svahu protierozními 3D georohožemi. Georohože budou rozprostřeny po celé výšce násypu, tj. od koruny silnice až ke zpevněnému příkopu. Vzájemný příčný přesah jednotlivých pásů je navržen minimálně 0,2 m, doporučený překryv je 0,3 m. Georohož je ke svahu přichycena za pomoci skob. V koruně svahu se georohož ukotví dle požadavků výrobce, v tomto případě se pásy ukotví do rýhy 0,15 m x 0,15 m, kde jsou zajištěny skobami. Pro správnou funkci je také důležité, aby minimální plošná hmotnost rohože byla 300 g/m². Pata zemního tělesa je opatřena nepřípustnými příkopy splňující podmínky EIA.

V příloze č. 1 je statický výpočet této varianty poskytnutý firmou Metrostav, tak i kontrolní výpočet.



3.3. Alternativní řešení

Alternativní řešení bylo navrženo z několika důvodů. Hlavním důvodem bylo odstranění nestandardního sklonu 1:1,5 po celé výšce násypového tělesa. Tento sklon není problematický z hlediska provádění nebo špatného statického působení. Největší problém s tímto sklonem je údržba svahu, jelikož svah, na kterém je nutné provádět údržbu by neměl přesáhnout sklon 1:1,75, což zde navržený sklon nesplňoval. A proto byly v úsecích, kde bylo zapotřebí mít sklon větší než 1:1,75, navrženy dvě alternativní řešení. Prvním navrženým řešením je využití armované zeminy. Druhé řešení počítalo s aplikací bezúdržbového svahu.

3.3.1. Armovaná zemina

Pro tento příklad je vhodné použít konstrukci s poddajným lícovým opevněním, používají se zde výztužné ocelové sítě. Pro daný svah se navrhovaly dvě varianty:

- a) Varianta I 70° výšky 3,8 m + svah 1:2
 - b) Varianta II 45° na celou výšku svahu
- a) První navrhovanou variantou je strmý svah ze zeminy vyztužené prefabrikovanými prvky z ocelové dvouzákrutové sítě. V této variantě má prvek pohledový sklon 70° (pohledová plocha na svislou výšku). Tento prefabrikovaný prvek je součástí celistvého systému GREEN TERRAMESH. V tomto případě byl použit stavebnicový konstrukční systém se zeleným lícem. Součástí tohoto systému je samotný ocelový prefabrikát, ke kterému se z vnitřní strany přidělá buďto koksová rohož nebo jutová geotextilie. Rohož, nebo jutová geotextilie zde slouží jako ochrana proti vypadávání nebo vyplavení zeminy, která je vhodná k osetí. Na daném úseku se použijí minimálně dva a maximálně pět bloků prefabrikátu. Po dosažení výšky, do které jsou navrženy prefabrikované bloky systému, se zbytek násypového tělesa provede v předepsaném sklonu 1:2. Tento sklon nám zajišťuje možnost údržby svahu pracovníky. Aby nedocházelo k nevyžádaným erozivním účinkům na tuto část svahu, je zde navrženo protierozní zpevnění 3D georohoží. Georohož je nutné aplikovat od hrany výztužného bloku Green Terramesh až po hranici koruny pozemní komunikace. Rohož je ke svahu opět připevněna pomocí skob a její minimální plošná hmotnost je také 300 g/m². Na části svahu, kde je sklon navržen 1:2, nadále proběhne ohumusování vhodnou zeminou. Mocnost této vrstvy je 0,15 m. Samozřejmě nejdříve se provede ohumusování a až potom se svah vyztuží georohoží. Pro vytvoření vegetační ochranné vrstvy se použije v horní části svahu (sklon 1:2) osetí travním semenem, ve spodní části (využití prefabrikovaných bloků) se vegetační porost zajistí za pomoci hydrosevu. Vzhledem k tomu, že toto řešení nahrazuje původní navrhované řešení strmého svahu, mají obě řešení řadu společných prvků. Podloží náspu je i u tohoto návrhu nutné zpevnit, a to pomocí již zmíněného zatlačení netříděného hrubého drceného kameniva (HDK). Jedinou změnou oproti původnímu návrhu je zvětšení mocnosti vrstvy HDK z 0,4 m na 0,5



m. Podloží násypu ještě musí být ztuhněno minimálně na míru ztuhnutí $D=92\%$ (parametr D = míra ztuhnutí dle objemové hmotnosti). Dalším společným aspektem je i použití zlepšené zeminy v celém rozsahu násypu. Pro zlepšení zeminy se použije příměs CaO v 2% koncentraci. Dále je celé těleso vyztuženo geosyntetikem cca po $0,4$ m na výšku. Samotné násypové těleso se s ohledem na vyztužování doporučuje budovat po vrstvách o tloušťce $0,4$ m. Upravená zemina v konstrukci násypu se musí ztuhnout na minimální hodnotu míry ztuhnutí $D=95\%$. Pro násyp platí, že hodnota zkoušky IBI se musí rovnat minimálně hodnotě 10% . Pro aktivní zónu platí obdobné podmínky jako pro původní řešení. I zde je mocnost navržena na $0,7$ m, vhodný materiál je nutné pro provedení aktivní zóny koupit. Aktivní zóna je oddělena od konstrukce násypu separační geotextilií. Jelikož na vrchní straně zóny je předepsán minimální sklon 3% , je na místě provést úpravu sklonu již na úrovni parapláně. Toto řešení je výhodné jak z hlediska odvodu vody, která by mohla prosáknout z horních vrstev konstrukce vozovky, tak i z hlediska zmenšení objemu nakupovaného materiálu na stavbu aktivní zóny. Důležitým prvkem z hlediska ochrany celé konstrukce násypu je také patní příkop. Jeho funkce je především bezpečně odvádět srážkovou vodu, která by jinak mohla narušit stabilitu celého násypového tělesa. Do příkopu je mimo jiné vyústěna i drenáž, která není po celé délce tělesa, ale pouze v daných úsecích. Příkopy stavby jsou navrženy v celé délce jako nepropustné dle EIA. Nepropustnost příkopu je zajištěna hydroizolační fólií z PVC, fólie je kotvena ocelovými hřeby. Na stavbě jsou dvě varianty možného řešení nepropustné úpravy. První varianta typ „A“, je využita tam kde je vzdálenost příkopu od hrany vozovky do $3,0$ m. Tento typ navrhuje zpevnění monolitickým příkopem s příčnými spárami a příložnou deskou. Pro monolitický příkop se použije beton C25/30-XF4. V druhé variantě „B“, je zpevnění příkopu provedeno za pomoci příkopové tvárnice do betonového lože tloušťky $0,1$ m s příložnou deskou. Příkopová tvárnice je vyrobena z betonu C25/30-XF4 a betonové lože je z betonu C20/25n-XF3. Varianta „B“ se využije při vzdálenosti větší než $3,0$ m od hrany vozovky k příkopu. V přílohách č. 3, 4 a 5 jsou statické výpočty s různými podmínkami.

- b) Varianta svahu, s použitím prefabrikovaného bloku GREEN TERRAMESH s pohledovým sklonem 45° na celou výšku zemního tělesa má shodnou technologii provádění jako navržený svah ve variantě s prvkem se sklonem 70° . Tato varianta se liší od předešlé pouze svým sklonem svahu. V příloze č. 2 je statický výpočet této varianty

3.3.2. Bezúdržbový svah

Pro návrh bezúdržbového svahu byl vybrán systém s gabionovou opěrnou zdí s tahovými sítěmi. Jedná se o opěrnou zeď s poddajným lícem. I přes název varianty „bezúdržbový svah“ se nejedná o variantu, která by nepotřebovala údržbu. Hlavní důvod



je ten, že se nepočítá s výstavbou gabionové stěny v celé výšce násypu. Gabionová zeď bude vystavěna až do výšky, od které je už nadále možné pokračovat ve stavbě násypu se zvoleným sklonem 1:2. Tento sklon je tedy vybudován od vrchní hrany gabionové zdi až po hranu vozovky. [4]

Pro vybudování gabionové zdi musíme provést nejprve úpravu podloží, protože lokalita se vyznačuje špatnými geologickými podmínkami. Pro sanaci podloží je doporučeno provést zahutnění netříděného hrubého drceného kameniva (HDK) o minimální tloušťce vrstvy 0,5 m. Po sanaci podloží je nutné připravit podkladní vrstvu pro gabionovou zeď. Pro podklad se využije šterkodrtí frakce 0-32 mm. Hlavní funkcí podkladní vrstvy je úprava základové spáry do požadované roviny pro ukládání gabionových drátěných košů. Podkladní vrstvy se doporučuje o mocnosti 5-10 cm.

Samotná gabionová zeď je vyhotovena za pomoci systému ALGON. Systém nedodává hotové koše, ale koše se montují z jednotlivých prvků přímo na stavbě. Koše se připravují mimo základovou spáru, v délce přibližně cca 6-9 m. Pro spojení jednotlivých sítí se používají spirály o délkách 110 nebo 150 cm. Spirály se šroubují skrze každé oko spojovaných sítí v hraně jejich styku. Postup kompletace košů: [4]

- Sešití sítí tvořící dno a současně se připojí síť tvořící příčky
- Přišití zbylých příček (příčky které nejsou na spoji sítí dna)
- Přišití rubových a lícových sítí ke dnu, mezi sebou se zatím nesešívají
- Postavení rubových a lícových sítí, přišití sítí k příčkám
- Vložení sešité konstrukce na základovou spáru
- Přichycení distančních spon s roztečí maximálně 40 cm, příčné spony o délce 100 cm a rohové spony o délce 50 cm, tyto spony slouží k zabezpečení a zachování tvarové stability košů
- Po aplikaci spon se na gabionové koše připevní lešenářské trubky, trubky se připevní k lícové straně a slouží k stabilitě košů při plnění kamenivem
- Na 100 cm síť se připevní dvě lešenářské trubky, nejlépe na pátý vodorovný drát od spodu a třetí od shora, trubky se spojují přesahem okolo 0,5 až 2 metry
- Po naplnění košů se lešenářské trubky použijí znovu na další vrstvu košů

Pro vyplnění gabionových košů, které mají konstrukční funkci je vhodné použít pevné úlomky hornin nebo valouny. Materiál by neměl podléhat povětrnostním vlivům, obsahovat soli rozpustné vodou, neobtnají a nejsou křehké. Přednost mají horniny s vyšší měrnou hmotností a nízkou pórovitostí. Rozměr prvků musí být větší, než je průměr oka sítě gabionu, v tomto případě 10x10 cm, aby nedocházelo k vypadávání výplňového materiálu. Nejvhodnější je použít kamenivo, které má minimální velikost 1,5 až 2 násobek velikosti oka sítě. Maximální velikost kameniva je 2,5 násobek velikosti oka. Prvky větší než 2,5 násobek velikosti oka se mohou vyskytnout pouze ojediněle a jejich celkový objem nesmí překročit 5 % celkového objemu gabionu. Naopak úlomky menší, než velikost oka se smějí použít pouze do 10 % celkového objemu, tyto úlomky slouží především k vyplnění mezer a uklínování větších kamenů uvnitř gabionů (pouze mimo líc).



Plnění gabionu se provádí částečně ručně a částečně strojově. Ruční skládání se používá při tvorbě lícové strany. Ručně se kameny skládají do hloubky cca 20-40 cm a výšky cca 30-40 cm. Zbytek koše se až po rub zasype strojově drobnějšími frakcemi. Poté se pokračuje ve vyskládání další vrstvy na lícové straně. Takto se pokračuje do doby, než je koš naplněný celý. Na pohledovou lícovou stranu se používají frakce kameniva nebo lomový kámen, u kterého je alespoň jeden rozměr větší než oka lícové sítě. Na vyplnění mezer, které vznikají během skládání se používají kameny, které mají menší frakci, než je velikost ok sítě. Důležité je abychom koš nepřeplnili, naopak je vhodné koš mírně nedoplnit. Koš se následně může zavíkovat, spolu s víkem dolního koše se přišijí i zadní síť. Obdobně se současně přišijí i přední a boční síť. Po zavíkování spodního koše se na síť dosype kamenivo frakce 32-63, menší kamenivo propadne jednotlivými oky víka a doplní tak mírně nedoplněnou spodní řadu košů, čímž se vyloučí nebezpečí následné deformace víka většími kameny. Při deformaci víka většími kameny by došlo i k deformaci lícové strany, lícová strana by se prohnula směrem dovnitř. Po zasypání se doporučuje síť povytáhnou směrem vzhůru, aby menší kamenivo lépe zapadlo do výplně spodního koše. Jakmile je koš dokončený můžeme přistoupit k nasypání a hutnění vhodné zeminy za tento koš. Vzhledem na ochranu gabionové zdi je nutné na rubovou stranu přiložit geotextilii o minimální plošné hmotnosti 200 g/m². Geotextilie zabraňuje zanášení volných mezer v gabionovém koši zeminou. Zeminu vrstvíme s ohledem na hutnění a úpravu vápnem maximálně po 0,30 m. Pro hutnění ve vzdálenosti do 1 m od rubu zdi se smí použít pouze dusací pěchy a vibrační desky nepřesahující hmotnost 1 m. Když dosáhneme okraje koše připevníme tahovou síť. Síť se přišívá stejnou spirálou, kterou se spojovali jednotlivé sítě koše. Pro tento případ se použijí síť s rastrem ok 100/200 s tahovou pevností 40 kN/m, délka sítí je rozdílná dle vrstev (Obr.). Síť je nutné před přikotvením napnout, abychom do nich vnesli alespoň nějaké předpětí. Po natažení se pomocí 30 cm kotvících trnů o průměru 8-12 cm přikotví síť do ztuhlé zemině, četnost kotev je 1-2 ks/m² plochy tahových sítí. Použitím sítě zlepšíme statickou funkci konstrukce, díky čemuž můžeme výrazně zeštíhlit tloušťku konstrukce. Mimo jiné, síť také výrazně vylepší vlastnosti zásypaného materiálu za opěrným prvkem.

V příloze č. 6, je statický výpočet této varianty

3.4. Multikriteriální hodnocení variant

Pro zjištění, který z výše uvedených návrhů násypu je nejvhodnější, byla použita multikriteriální analýza. Analýza je provedena za pomoci Metfesselovi alokace, kdy jednotlivým kritériím jsou přiděleny váhy. Stanovená celková váha (100 bodů) je rozdělena podle důležitosti mezi základní skupiny vlivů. V druhé etapě se váha skupiny vlivů rozdělí mezi jednotlivé kritéria, znovu podle důležitosti.

Do multikriteriálního hodnocení budou zahrnuty všechny navržené varianty násypu, a to původní návrh (sklon svahu 1:1,5), armovaná zemina I (70° + sklon svahu 1:2), armovaná zemina II (45°) a bezúdržbový svah.



Do soustavy hodnotících kritérií budou zařazeny vlivy, které na násyp působí přímo i nepřímo. Mezi tyto vlivy, jsou zařazeny jak vlivy technické, ekonomické, ekologické tak i společenské. Vybranými vlivy jsou:

- Celospolečenské zájmy
 - o Bezpečnost dopravy
 - o Možnost havarijních stavů
- Vliv na životní prostředí a okolí
 - o Vliv na krajinný ráz
 - o Vliv stavby na okolí při realizaci
 - o Vliv stavby na okolí při provozu
 - o Vliv na geologické a hydrogeologické poměry
 - o Vliv na faunu a floru
- Zájmy uživatelů
 - o Bezpečnost uživatele
- Zájmy investora stavby
 - o Investiční náklady
 - o Náklady na provoz a údržbu
 - o Zábory pozemků
 - o Technologická náročnost

Pro stanovení vah kritérií existuje celá řada různých metod, nejjednodušší metodami jsou metody přímé, při kterých se zcela subjektivně určují nenormované váhy jednotlivých kritérií v apriorně dohodnuté bodové stupnici. Mezi tyto metody patří i Metfesselova alokace, kterou zde k určení vah použijeme.

Posledním důležitým krokem před samotným hodnocením jednotlivých variant, je stanovit bodové hodnocení. Tímto bodovým hodnocením je vyjádřen vliv kritéria na celkový výsledek. Bodové hodnocení je rozděleno v rozmezí 1 – 5.

- 1 – přínosný
- 2 – akceptovatelný
- 3 – akceptovatelný s výhradou
- 4 – podmíněně přijatelný
- 5 – nepřijatelný

Ve výsledné tabulce jsou ještě použity symboly a, b.

- a – bodové hodnocení
- b – váha bodového hodnocení

Celkové vyhodnocení je v *tab. 3*, materiálové náklady jsou v *Příloze č. 7*



| Posuzovaný vliv | Váha | Bodové hodnocení variant | | | | | | | | | | | |
|---|------------|--------------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|------------------|------------|----------|------------|----------|------------|
| | | Původní návrh | | Armovaný svah (70°) | | Armovaný svah (45°) | | Bezúdržbový svah | | | | | |
| | | a | b | a | b | a | b | a | b | | | | |
| A Celospolečenské zájmy | 14 | Σ | 28 | Σ | 14 | Σ | 14 | Σ | 14 | Σ | 14 | Σ | 14 |
| 1 Bezpečnost dopravy | 8 | 2 | 16 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 |
| 2 Možnosti havarijních stavů | 6 | 2 | 12 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 |
| B Vliv na životní prostředí a okolí | 25 | Σ | 49 | Σ | 50 | Σ | 46 | Σ | 68 | Σ | 68 | Σ | 68 |
| 1 Vliv na krajinný ráz | 11 | 2 | 22 | 2 | 22 | 2 | 22 | 2 | 22 | 3 | 33 | 3 | 33 |
| 2 Vliv stavby na okolí při realizaci | 3 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 |
| 3 Vliv stavby na okolí při provozu | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 4 Vliv na geologické a hydrogeologické poměry | 3 | 3 | 9 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 |
| 5 Vliv na faunu a floru | 4 | 2 | 8 | 3 | 12 | 2 | 8 | 2 | 8 | 4 | 16 | 4 | 16 |
| C Zájmy uživatelů | 18 | Σ | 36 | Σ | 18 | Σ | 18 | Σ | 18 | Σ | 18 | Σ | 18 |
| 1 Bezpečnost uživatele (svodidla atd.) | 18 | 2 | 36 | 1 | 18 | 1 | 18 | 1 | 18 | 1 | 18 | 1 | 18 |
| D Zájmy investora stavby | 43 | Σ | 80 | Σ | 64 | Σ | 77 | Σ | 77 | Σ | 77 | Σ | 77 |
| 1 Investiční náklady | 13 | 2 | 26 | 2 | 26 | 3 | 39 | 3 | 39 | 3 | 39 | 3 | 39 |
| 2 Náklady na provoz a údržbu | 15 | 2 | 30 | 2 | 30 | 2 | 30 | 2 | 30 | 2 | 30 | 2 | 30 |
| 3 Zábory pozemků | 8 | 3 | 24 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 |
| 4 Technologická náročnost | 7 | 1 | 7 | 2 | 14 | 2 | 14 | 2 | 14 | 3 | 21 | 3 | 21 |
| Celkem | 100 | Σ | 200 | Σ | 160 | Σ | 169 | Σ | 198 | Σ | 198 | Σ | 198 |

Tab. 3 Multikriteriální hodnocení



Z tabulky multikriteriálního hodnocení vyšla jako nejlepší varianta armovaná zemina se sklonem 70° plus sklon ve zbytku svahu 1:2. Druhou nejlepší variantou byla armovaná zemina se sklonem po celé výšce 45° . Rozhodující vliv, který nakonec rozhodl o výsledné variantě, byly zájmy investora stavby. Speciálně investiční náklady, které díky menšímu počtu systémových prvků byly značně menší u vítězné varianty.



Závěr

První část bakalářské práce měla za úkol nám blíže přiblížit možná varianty řešení svahů. Tato část byla zpracována pro uvedení do problematiky návrhu standardních zemních těles, ale i pro teoretické možnosti řešení nestandardních zemních těles. Blíže jsme se seznámily i s materiály pro stavbu zemních těles.

V experimentální části práce už jsme se zabývali řešením daného problému. V rámci této části jsme si přiblížily možné varianty, jak zadaný problém vyřešit. Zadaný problém spočíval ve špatných geologických podmínkách a zároveň v omezené možnosti záboru. Zábor nebylo možné realizovat z důvodu zachování místní komunikace. Pro jednotlivé varianty byly vyhotoveny stabilitní posudky a materiálové náklady. Vítězná varianta se vybrala na základě multikriteriálního hodnocení. Z tohoto hodnocení vyšla jako vítězná varianta armovaný svah se sklonem 70° a provedení zbytku svahu ve sklonu 1:2. s ohledem na to, že tato varianta splnila i stabilitní podmínky. Byla tato varianta nakonec zvolena jako nejvhodnější řešení pro daný problém.



Použitá literatura:

- [1] ZAJÍČEK, Jan. *Technologie stavby vozovek*. 1.vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2014. 392 s. ISBN 978-80-87438-59-6
- [2] TURČEK, Petr a kolektiv. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga group, s.r.o., 2005. ISBN 80-8076-023-3
- [3] *Školení technických norem a předpisů STEPS*. Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2010. Příručka

Internetové zdroje:

- [4] *Algon-gabiony* [online]. Algon, a.s., 2017. [cit. 20. 05. 2017]. Dostupné z: <http://gabiony-protihlukove-steny-ocelove-konstrukce.algon.cz/dokumenty/pdf/TechnologickyPostup2.pdf>
- [5] <http://www.geomat.cz/chci-vyresit-problem/zpevneni-svahu/stabilita-strmeho-svahu/> [online]. *Geomat*, 2017. [cit. 21. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/>
- [6] RADIMSKÝ, Michal. *Projektování pozemních komunikací*. In: Lences. [online]. VUT v Brně, 2007. [22. 05. 2017]. Dostupnost z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/CM01-Projektov%C3%A1n%C3%AD%20pozemn%C3%ADch%20komunikac%C3%AD/M05-Op%C4%9Brn%C3%A9%20z%C3%A1rubn%C3%AD%20zdi.pdf>
- [7] POSPÍŠIL, Jan. *Opěrné zdi*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky.
- [8] <http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geobunky/> [online]. *Geomat*, 2017. [cit. 19. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/>
- [9] *Politika jakosti pozemních komunikací*. [online]. ŘSD ČR, 2017. [15. 05. 2017]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/technicke-podminky-tp/?doFilter=OK&DCA_182=182&DCA_178=178&soFilterBtn=Filtrovat
- [10] http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/multicell-mc/?tx_odgeomat_geomat%5Bcontroller%5D=Vyrobky&cHash=11740656d7f04e3543e9a40c9eb41227. *Geobuňka Multicell*. [online]. 2017 [cit. 23. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/>
- [11] http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_94.pdf. *Úprava zemin* [online]. 2013 [cit. 23. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz>
- [12] <http://www.viafrez.cz/zemni-freza.php>. *Zemní fréza* [online]. 2010 [cit. 23. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.viafrez.cz>
- [13] <https://www.asb.sk/inzinierske-stavby/geotechnika/vystuzovanie-telesa-cestnej-komunikacie-aochrana-svahov.Sklon%20svahu%20n%C3%A1sypu> [online]. 2010 [cit. 26. 05. 2017]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/>
- [14] <http://www.fundos.cz/referencni-akce/silnice-i50-buchlovske-kopceoperne-zdi-2002-2003.html>. *Hřebíkový svah* [online]. 2002 [cit. 26. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.fundos.cz>
- [15] <http://www.skalniriceni.cz/cs/galerie/materialy-technologie-stroje?687>. *Drátění síť* [online]. 2010 [cit. 27. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.skalniriceni.cz>



[16] http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_198.pdf. *Vylehčený násyp* [online]. 2008 [cit. 27. 05.2017]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz>

[17] http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP93_def_2011.pdf. *Násyp z popílků* [online]. 2011 [cit. 27. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz>

[18] <https://cdn.myshoptet.com/usr/www.levne-pletivo.cz/user/shop/big/796.jpg?53a4a156>. *Gabionový koš* [online]. 2011 [cit. 26. 05. 2017].

Použitý software:

GEO5, Fine spol. s. r. o.

AUTOCAD 2016, Autodesk, Inc.

MICROSOFT WORD, Microsoft Corporation

MICROSOFT EXCEL, Microsoft Corporation

Seznam obrázků:

Obr. 1: Geobuňka

Obr. 2: Oblast přípustného obsahu vzduchových pórů

Obr. 3: Vliv vápna na změny maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti

Obr. 4: Zemní fréza

Obr. 5: Sklony svahů násypu

Obr. 6: Práce na hřebíkováném svahu

Obr. 7: Drátěná síť

Obr. 8: Násyp z popílků

Obr. 9: Konstrukční schéma vylehčení LKK.

Obr. 10: Konstrukční uspořádání vylehčení EPS.

Obr. 11: Gabionový koš

Obr. 12: Schéma vyztuženého svahu

Obr. 13: Typy vyztužení svahů



Seznam tabulek:

Tab. 1: zatřídění hornin podle pevnosti horninového masivu

Tab. 2: Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa

Tab. 3: Multikriteriální hodnocení

Přílohy:

Příloha č. 1: Posudek stability – původní návrh

Příloha č. 2: Posudek stability – armovaný svah 45°

Příloha č. 3: Posudek stability – armovaný svah 70°

Příloha č. 4: Posudek stability – armovaný svah 70° (stabilizovaná zeminy)

Příloha č. 5: Posudek stability – armovaný svah 70° (nestabilizovaná zeminy)

Příloha č. 6: Posudek stability – bezúdržbový svah

Příloha č. 7: Materiálové náklady