

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY

Protierozní zabezpečení svahu železničního
koridoru v Benešově

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jana Chlupsová

Bakalant: Robert Lebl

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Robert Lebl

Územní technická a správní služba

Název práce

Protierozní zabezpečení svahu železničního koridoru v Benešově

Název anglicky

Erosion protection of the slope of the railway corridor in Benešov

Cíle práce

Zhodnocení důvodů sesuvu svahu a následné sanace. Zhodnocení vhodnosti zvolené metody protierozní ochrany z hlediska geologické charakteristiky území a s určitým časovým odstupem.

Metodika

Literární rešerše na metody ochrany strmých svahů podél železničních liniových staveb se zaměřením na železniční koridor v úseku Benešova u Prahy. Vlastní zhodnocení příčin havárie sesuvu svahu a následné sanace a vhodnosti zvolené metody nového zabezpečení z hlediska geologického i ekonomického.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

protierozní ochrana, metody, geologie území, svah, liniové dopravní stavby

Doporučené zdroje informací

BLÁHA, P.: Nástin optimálního postupu při geofyzikálním průzkumu svahových deformací, 1999.

časopis GEOTECHNIKA pro zakládání staveb, mechaniku zemin a inženýrskou geologii.

JANEČEK, M. a kol.: Základy erodologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008.

KUČERA, A.: Architektura inženýrských staveb, 2009.

ŘÍHA, M.: Protierozní ochrana zemních těles a svahů, geotechnika, 2007.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Jana Chlupsová

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Protierozní zabezpečení svahu železničního koridoru v Benešově vypracoval samostatně, pod vedením ing. Jany Chlupové. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne: 15. 4. 2015

.....
Robert Lebl

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Chlupové za její pomoc a odborné vedení při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Aleně Pokorné z městského úřadu v Benešově za poskytnutou dokumentaci k opravě svahu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou a možnostmi protierozní ochrany svahů zemních těles, jejich odvodněním a zabezpečením proti sesuvům podél liniových dopravních staveb se zaměřením na železniční liniové stavby. V práci jsou zohledněny tři oblasti používaných metod ochrany s jednotlivými typy zabezpečení podle místní situace a geologie území.

Dále je v práci řešen konkrétní sesuv svahu podél čtvrtého železničního koridoru v Benešově, následuje posouzení příčin, kvůli kterým došlo k sesuvu svahu, ve vztahu k provedenému inženýrskogeologickému průzkumu a geologickou skladbu horninového podloží. A na závěr práce obsahuje zhodnocení použitých metod k sanaci svahu a jejich vhodnosti s časovým odstupem.

Klíčová slova

Protierozní ochrana, metody, geologie území, svah, liniové dopravní stavby

Abstract

This thesis deals with the problems and possibilities of an erosion protection of slopes earthworks, drainage and their security against landslides along the liner traffic construction with a focus on the railway liner constructions. Three areas of methods used for the protection are taken into account in this work together with a few different types of protecting according to the local situation and the area geology.

Further in the work there is also dealt with a problem of a specific landslide along the fourth railway corridor in Benešov, followed by the causes assessing due to which there was the landslide in relation to the engineering geological survey and geological composition of the bedrock. At the conclusion, the thesis includes the evaluation of methods used for a reconstruction of the slope and their opportunities in a time delay.

Key words

Erosion protection, methods, area geology, slope, liner traffic constructions

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	8
1. Úvod	9
2. Cíle práce	10
3. Literární rešerše	11
3.1 Možné metody ochrany svahů zemního tělesa dopravní stavby	11
3.2 Technická opatření	14
3.2.1 Ochrana svahů na kontaktu s vodními toky a díly	14
3.2.2 Ochrana povrchu skalních svahů	20
3.2.3 Zárubní a opěrné zdi.....	23
3.2.4 Odvodňovací zařízení.....	28
3.3 Vegetační opatření.....	32
3.3.1 Zakládání travních ploch.....	34
3.3.2 Výsadba dřevin.....	36
3.4 Kombinovaná opatření	37
4. Charakteristika studijního území	40
4.1 Studijní území.....	40
4.2 Praktický příklad havárie a následné sanace strmého svahu železničního koridoru	41
4.3 Vyhodnocení vhodnosti zvolené metody ochrany svahu s určitým časovým odstupem.....	45
5. Diskuse	46
6. Závěr.....	48
7. Použitá literatura a zdroje	49
8. Seznam obrázků a příloh	52
9. Přílohy	54

Seznam použitých zkratk

- ČD** - České dráhy
- ČSN** - Česká technická norma
- MD** - Ministerstvo dopravy
- PD** - Projektová dokumentace
- SŽDC** - Správa železniční dopravní cesty
- TP** - Technické podmínky

1. Úvod

Protierozní ochrana svahů náspů a zářezů a odvodnění přilehlého území jsou jedny z problémů, se kterými se lze setkat při modernizaci železničních tratí a je nutné se s nimi vypořádat. V případě stavebního zásahu do svahu zářezu je zemině na svahu potřeba zabránit ve splavování nebo po zimním období stečení do příkopu. V době tání jsou náchylné ke stékání jemnozrnné zeminy. V pórech zmrzlá voda přechází do kapalného skupenství, zemina mění konzistenci až na kašovitou a vrstva stékající zeminy může mít tloušťku od 0,3 až 0,5 m. Deformace se nevyhýbá ani starším svahům již porostlých vegetací. Akumulující se usazeniny v odvodňovacích systémech, např. drážních příkopech, jsou živnou půdou pro růst vegetace a následně zabraňují odtoku srážkové vody (Šedivý a Kropáček, 1998).

Erozní vlivy na zemní tělesa, především vody, působí během celé jejich dlouhé životnosti a negativní působení vody se projevuje snížením funkčnosti staveb. Při projektování a realizaci liniových dopravních staveb se protierozní ochrana stává důležitým prvkem, zvláště v místech, kde je potenciaální riziko působení vody opakovanou nebo stálou přítomností zvýšeno. Pro stanovení míry ochrany a následné technologie protierozního zabezpečení, případně dimenzování protierozních materiálů je nutné specifikovat míru erozního rizika (Řejha, 2007).

Obecně změna obsahu vody ve svazích zvyšuje tlak tím, jak voda prochází zeminou a proniká do puklin a pórů. To má za následek pokles soudržnosti a hodnoty vnitřního tření svahu a dochází k sesouvání. V našich klimatických podmínkách k tomuto jevu dochází hlavně v období nadprůměrných atmosférických srážek (Rybář, 2004).

Ve všech případech svahových sesuvů je vedle různých geologických podmínek a dalších mnoha vlivů velmi důležitým faktorem čas, kdy s jeho postupem různě působící vlivy začínají, vyvíjí se, zanikají a začínají působit nové (Mencl, 1966).

2. Cíle práce

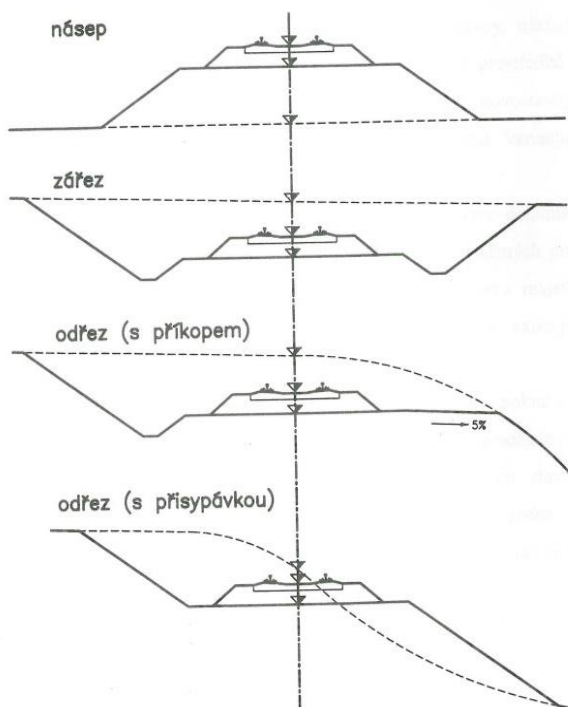
Cílem bakalářské práce je představit různé metody ochrany svahů podél liniových dopravních staveb se zaměřením na železniční tratě. Provést bližší rozbor a popis jednotlivých způsobů, které jsou využívány k zabezpečení stability strmých svahů a k protierozní ochraně svahů.

V praktické části je cílem zhodnotit příčiny sesuvu a následně realizovanou sanaci svahu železničního koridoru v Benešově. Dále zhodnotit vhodnost zvolené metody protierozní ochrany z hlediska geologické charakteristiky území a s určitým časovým odstupem od provedené sanace.

3. Literární rešerše

3.1 Možné metody ochrany svahů zemního tělesa dopravní stavby

Železniční trať je liniovou dopravní stavbou a jako takovou je nutné ji vést krajinou. To sebou nese potřebu vybudovat železniční spodek, který slouží k uložení železničního svršku. Součástí železničního spodku je i zemní těleso, které je základní složkou trati a na jehož stavu závisí hospodárnost a bezpečnost provozu (Klimeš a kol., 1978). Dle § 5 zákona č. 266 / 1994 Sb., o drahách, v platném znění, musí stavba dráhy a stavba na dráze splňovat technické podmínky a požadavky bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy. Návrh zemního tělesa se provádí dle české technické normy ČSN 73 6133, o návrhu a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Zemní těleso může být provedeno v zářezu, násypu nebo odřezu (viz obr. č. 1). Zářez vzniká vytěžením a odstraněním zeminy pod úrovní terénu. Násyp je konstrukce vybudována z nasypaných a hutněných hornin a zemin, zpravidla vytěžených v zářezích. A odřez je tvořen kombinací zářezu a násypu. Veškeré terénní úpravy a zemní práce, jimiž se podstatně mění vzhled prostředí, nebo odtokové poměry se řídí stavebním zákonem dle § 3 zákona č. 183 / 2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, v platném znění.



Obr. č. 1: Typy zemního tělesa železniční trati (Kubát a Týfa, 1998)

K ochraně svahů zemního tělesa před nepříznivými povětrnostními vlivy narušující jejich stabilitu, jsou používána opatření technická, opatření vegetační a opatření kombinující vegetační a technickou ochranu. Důležité je i začlenění do krajiny z estetického hlediska. (Kudrna, 2011).

Jak popisuje Řejha (2007) ve svém článku, před stanovením technologie protierozní ochrany je potřeba analyzovat úroveň a míru erozního rizika. Vhodným řešením protierozního zabezpečení svahů mohou být z ekonomického hlediska geosyntetické produkty společně s vhodně zvolenou technologií. Důležité je dodržování technologických postupů a kvalita provedení zabezpečení, jelikož se kladou vysoké protierozní požadavky na odolnost např. proti dynamickému proudění vody podél vrstevnic svahu.

Brabenec (2007) potvrzuje také, že k dosažení maximální protierozní ochrany před srážkami je nutné její vybudování co nejdříve po dokončení stavby, kdy vrstva zeminy na svahu není schopna v dostatečné míře odolávat povrchové vodě, zejména v období přívalemých dešťů. Předchází se tím ke vzniku mikro sesuvů, erozních rýh, splavování zeminy nebo v horším případě k velkým sesuvům celých svahů.

Jak uvádí Flat (1989), svahy zářezů z nesoudržných zemin jsou stabilní, jen když jsou vytvořené ve sklonech o něco menších, než je přirozený sklon svahu. I u zářezů s odpovídajícími sklony může dojít k sesuvu, jakmile se svah nasytí vodou. Svahy, které jsou složené z různých vrstev, se můžou sesunout po té vrstvě, u které se v důsledku přemokření snížila soudržnost pod hranici stability svahu. K sesuvům může docházet i po mnoha letech působení dlouhotrvajících dešťů. Zvýšení stability se řeší např. zmírněním sklonu svahu, odebráním části svahu, vysušením sesuvné části pomocí žeber nebo zvýšením odporu zeminy injektováním. Důležitým faktorem pro stabilitu zářezu je kvalita zeminy v podloží.

Neméně důležité je i po provedení zemních prací a po následném urovnání svahů tyto svahy plošně ochránit. Zvláště je potřeba věnovat pozornost zabezpečení horní hrany svahů, která je často narušována soustředěným odtokem vody a tak vystavena vzniku rýhové eroze (Kudrna, 2011).

Skalní svahy zemního tělesa navíc vyžadují další zabezpečení, aby neohrožovaly plynulost a bezpečnost železničního provozu. Nebezpečí u skalních svahů může nastat v důsledku zvětrávání hornin (Plášek a kol., 2004).

Ochrana zemních svahů se dělí na tři základní metody (Klimeš a kol., 1978; Kubát a kol., 1998; Plášek a kol., 2004).

- **Technická opatření** – zpevňování svahů před proudící nebo stojatou vodou se provádí za pomoci šterkových koberců, šterkových nebo kamenných pohožů, rovinanin z betonových prefabrikátů nebo z kamene, různých kamenných a betonových dlažeb, obkladů, gabionů, geotextilních a kamenných matrací, geomřížek, geotextilií, sítí, rohoží, hřebíkování, nábrežních zdí, záhozů apod. Pro místně narušené povrchy skalních svahů nebo zajištění stability uvolněných jednotlivých skalních bloků jsou používány místní úpravy např. těsnění spár puklin, plombování dutin, kotvení a podezdění skalních bloků. V případě celého skalního svahu se používají k jeho stabilizaci vedle kotev, ochranných sítí z ocelového nebo syntetického nehořlavého pletiva i ochranné pláště z torketové omítky nebo stříkaného betonu používané na snadno zvětrávající horniny (viz příloha č. 1). Větší souvislé plochy se zabezpečují i pomocí montovaných nebo monolitických obkladních zdí.
- **Vegetační opatření** – je přednostně a nejčastěji používaným opatřením při ochraně svahů před větrnou a vodní erozí. Využívá mělce a hluboko kořenicí vegetace (traviny, keře, stromy) pro zpevnění svahů zemního tělesa jejich kořenovým systémem. Zajišťuje se např. drnováním, hydroosevem, osetím rozprostřené ornice, osetím rozprostřené ornice smísené s jalovou zeminou, mulčováním a osetím, travními rohožemi z geotextilie, plůtky a pleteninami, vysazením dřevin apod. Podle Janečka a kol. (2008) je nejlepší protierozní ochranou optimálně zapojený travní porost v drahách soustředěného povrchového odtoku. U protierozních opatření zejména liniového charakteru jsou upřednostňovány výběžkaté trávy, které tvoří pevné drny.
- **Kombinovaná opatření** – spojuje technickou a vegetační ochranu a dále představuje použití vegetačních tvárnic, travních rohoží, geotextilií ve spojení s hydroosevem a zatravnovacích geotextilií.

3.2 Technická opatření

3.2.1 Ochrana svahů na kontaktu s vodními toky a díly

Plášek a kol. (2004) ve své publikaci uvádí, že zemní těleso, které je ve styku s vodními díly a toky musí být proti dočasným či trvalým účinkům stojaté nebo proudící vody dostatečně chráněno. Způsoby ochrany svahů zemního tělesa mohou být použity technické nebo kombinované podle toho, zda zemní těleso tvoří vodní hráz nebo je podél vodního toku. Sklon svahu zemního tělesa musí být navržen tak, aby byl chráněn proti působení ledu, vymílání a účinkům kolísání vodní hladiny. Proti účinkům vodního toku se chrání návodní strana svahu tělesa. U náspů v inundační (zátopové) zóně je potřeba chránit oba svahy zemního tělesa. Výška ochrany svahu proti vymílacím účinkům vody závisí na výšce nabíhání postupné vlny a na poloze svahu k proudnici vodního toku. Mezi výškou nabíhání postupné vlny na svah zemního tělesa a pláni železničního spodku u zemního tělesa ve styku s vodními toky a díly musí být zachována bezpečnostní výška minimálně 0,3 m u břehů konvexních a přímých a 0,5 m u břehů konkávních.

Pod opevněním svahu se proti zabránění vyplavování jemných částic z jádra náspu navrhuje jednovrstvé nebo dvouvrstvé filtry.

Zrnitost filtru musí splňovat podmínku:

$$5d_{15} \leq d_{f15} \leq 5d_{85}$$

Kde vyjadřuje:

d_{15} , d_{85} – velikosti zrna chráněné zeminy, odečtené z křivky zrnitosti při propadu 15 % respektive 85 % hmotnosti vzorku [mm]

d_{f15} – velikost zrna filtru při propadu 15 % hmotnosti vzorku [mm]

Dále musí filtr splňovat podmínku:

$$D_{f85} > 2s$$

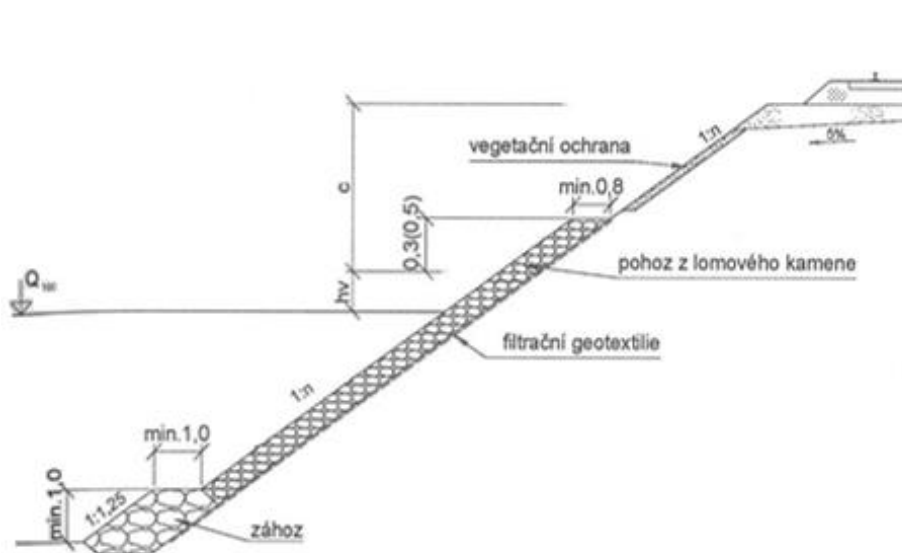
Kde vyjadřuje:

d_{f85} – velikost zrna filtru při propadu 85 % hmotnosti vzorku [mm]

s – velikost mezery ve zvoleném druhu opevnění [mm]

Pakliže je nemožné splnit obě podmínky pro jednu filtrační vrstvu, zřizuje se filtr dvojevrstvý. Dvojevrstvý filtr se zpravidla zřizuje u dlažeb, kde je jádro zemního tělesa ze soudržných zemín. Tloušťka filtrů má být u jednovrstvého nejméně 0,2 m a u

dvouvrstvého celková tloušťka obou vrstev 0,3 m. Ke zřízení filtru pod opevněním svahu je možné použít vhodné geotextilie. V případě vybudování jádra tělesa z namrzavé zeminy, musí mít opevnění svahu včetně filtru tloušťku nejméně 1,2 m.



Obr. č. 2: Zemní těleso ve styku s vodotečí (Plášek a kol., 2004)

- **Pohoz svahu**

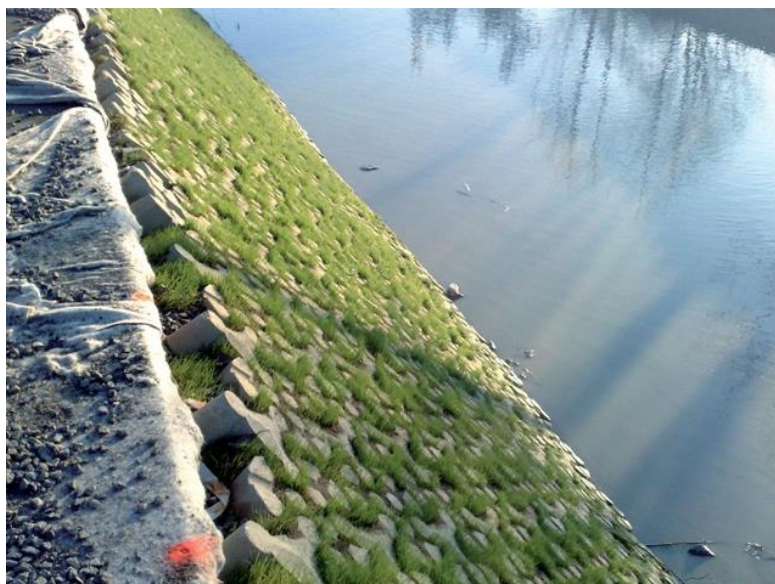
Pohoz svahu se navrhuje ze štěrku nebo z lomového kamene. Oba typy pohozu se od sebe liší zrnitostí použitého kameniva. Štěrkový pohoz je tvořen kamenivem o zrnitosti 0,05 až 0,2 m. Naproti tomu zrnitost pohozu z lomového kamene je 0,05 až 0,5 m. To, jaká se zvolí velikost lomového kamene, záleží na několika faktorech. Přihlíží se ke sklonu svahu, k rychlosti proudící vody, je-li tok vodní cestou, a zda je na toku chod ledu. Štěrkový pohoz se volí v inundační zóně a na tocích bez chodu ledů. Lícni sklon pohozu nemá být větší než 1:2,5. Z křivky zrnitosti použitého kameniva se určuje tloušťka pohozu. Je-li pohoz aplikován na zemním tělese z jemnozrnných zemín, použije se pod pohozem filtrační vrstva, případně se pod pohoz položí geotextilie (Klimeš a kol., 1978).

- **Štěrkový koberec**

Štěrkový koberec je pohoz, který je zhuštěn válcováním. Pohoz se válcuje podél svahu nebo po svahu. Oživený pohoz se získá zhuštěným humusovým pokryvem. Při větší tloušťce pohozu se hutní po vrstvách 0,2 m. Pro zřizování štěrkových koberců je největší sklon svahu 1:2 (Plášek a kol., 2004).

- **Rovnaniny**

Ke stavbě rovnanin se používají neopracované kameny nebo betonové prvky kladené na sucho (viz obr. č 3). Vzniklé dutiny se zaklínují malými kameny, přitom však nejmenší použitý rozměr stavebních kamenů má být velikosti 0,25 m. Sklon lící strany rovnaniny nemá být strmější než 1:1 (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 3: Rovnanina z betonových prvků (URL 1)

- **Textilní matrace**

Základem textilní matrace jsou dvě vzájemně prošívané vrstvy z geotextilie. Matrace se rozvinují na svahu, ke kterému se ukotví a následně naplní čerstvým betonem. V dnešní době se lze setkat i s plněním suchou jílovitou směsí, která na svahu hydratuje a vytvoří tak nepropustnou vrstvu (viz obr. č. 4). Výhoda textilních matrací spočívá v dobrém přizpůsobení se svahu. Lze se setkat i s matracemi uzpůsobenými k prorůstání vegetací. Jednotlivé dílce matrací se spojují špendlením dlouhými ocelovými hřeby nebo sešíváním (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 4: Ochrana železničního náspu pomocí textilních matrací (URL 2)

- **Zához**

Pro zához se běžně používá lomový kámen a zřizuje se na dotyku zemního tělesa s vodním tokem. Nejmenší použitý rozměr kamenů je 0,3 m a objemu 0,006 m³. Vedle dravých vodních toků nebo horských bystřin je používán nejmenší objem kamenů 0,1 m o minimální hmotnosti 250 kg. Nevětší rozměry kamenů nemají přesahovat trojnásobek nejmenšího rozměru. Dutiny u upraveného záhozu podle předepsaného profilu se vyplňují menšími kameny. Sklon lící strany záhozu by neměl přesáhnout 1:1,25. Výška patky záhozu se volí podle výšky hladiny vodního toku. U hladiny do 2 m výšky se volí patka široká nejméně 1,0 m a pro větší výšky hladiny patka široká nejméně 1,5 m. Výška patky musí být nejméně 1,0 m.

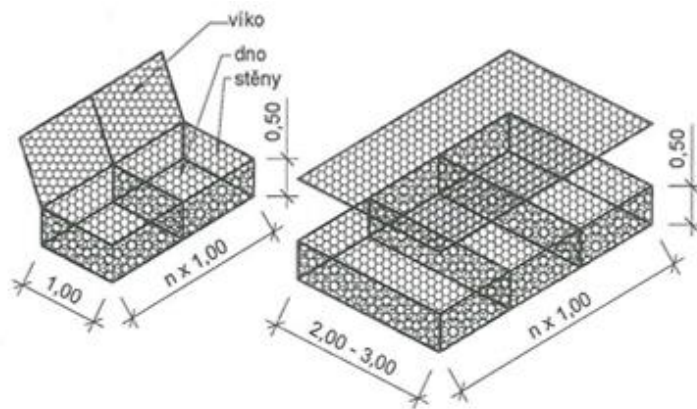
Další možností použitého materiálu pro zához jsou betonové prefabrikáty např. koule, kvádry, jehlany, tetrapody apod. Pro jejich spojování lze používat ocelová lana (Klimeš a kol., 1978).

- **Gabiony**

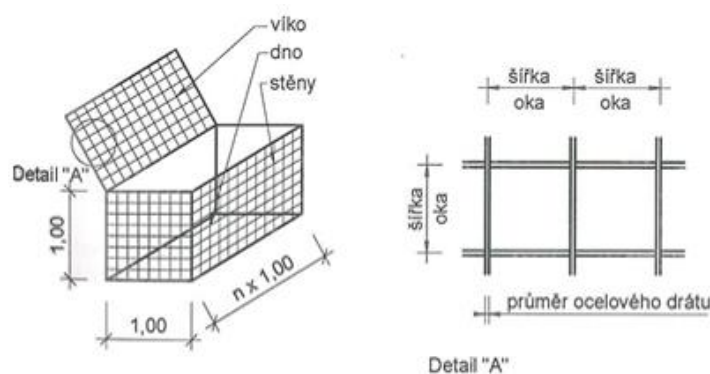
Pojem „gabion“ je užíván pro drátokamenné koše a matrace, k jejichž vyplnění se používá většinou místní materiál – lomový kámen, říční valouny (viz obr. 5 a 6). Koše a matrace jsou vyráběny z nerezivějícího ocelového drátu (pozinkovaný drát nebo potažený drát vrstvou PVC), z kterého se svařují ocelové sítě nebo vytváří pletivo. Pro svařované ocelové sítě se používá drát o průměru min. 3,7 mm a šířkou oka 100 – 120 mm. Pro ocelové pletivo se používá drát o průměru min. 2,0 mm a šířkou oka 50 – 100 mm.

Konstrukce gabionu může být tvořena i geomřížkou z polymeru (polypropylen, polyethylen) s pevností v tahu příčně i podélně 15 kN.n⁻¹, šířkou oka min. 60 mm, odolné proti kolísání teploty a vlhkosti a stabilizované proti působení slunečního záření.

Rozměry konstrukcí jsou u košů standardně výška a šířka 1,0 m, u matrací výška max. 0,5 m, délka je násobkem celých metrů. Matrace a koše se při stavbě podle potřeby kladou do několika vrstev a spojují se drátem ze stejného materiálu. Výhoda gabionů spočívá ve velké odolnosti proti vysokým průtokům vody, delší době, po kterou opevnění odolává velké vodě a proniklá voda za opevnění svahu má možnost prosáknout skrz gabiony zpět (Kubát, 1998; Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 5: Vázaná drátokamenná matrace (Plášek a kol., 2004)



Obr. č. 6: Drátokamenný koš ze svařovaných sítí (Plášek a kol., 2004)

- **Kamenná dlažba**

Kamenná dlažba se navrhuje kvůli vysoké pracnosti pouze výjimečně. Kameny se kladou do vrstvy štěrkopísku o tloušťce 0,1 m a nejmenší použitý rozměr dlažebního kamene má být 0,2 m. Dlažební kameny se kladou tak, aby spáry měly šířku průměrně 2 cm, nejvíce však 4 cm. U pokládání je potřeba dbát na dobrou vazbu a vyvarovat se průběžných spár (Plášek a kol., 2004).

- **Nábřežní zdi**

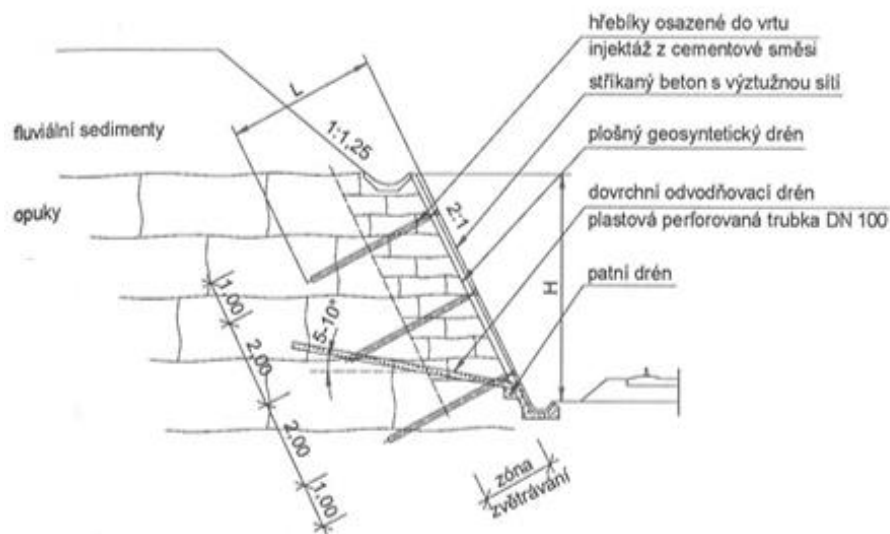
Nábřežní zdi se budují pro svahy ve stísňených poměrech se sklony strmějšími než 1:1 (viz obr. č. 7). Aby nebyla ohrožena konstrukční stabilita opěrné zdi vymíláním koryta, musí být věnována zvýšená pozornost jejímu založení. Základy je možné ochránit štětovou stěnou. Odvodnění za rubem zdi z betonu, železobetonu nebo kamene, je pomocí drenážních otvorů v propustné výplni (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 7: Nábřežní zeď (URL 3)

• Hřebíkování

Půdní hřebíky spolu s řádnou lícovou strukturou můžou snížit deformaci volně výplně svahu způsobenou infiltrací srážek a tím udržet stabilitu svahu (Chenuk a kol., 2005). Metoda se používá k vyztužení svahu zářezu v zeminách či poloskalních horninách (viz obr. 8). Provádí se za pomoci tyčových prvků. Do líce svahu zajištěného stříkaným betonem nebo výztužnou sítí s kombinovanou ochranou se zarážejí, zavibrují nebo vkládají do předvrtaných otvorů s cementovou výplní ocelové prvky – hřebíky. Ocelové prvky mohou tvořit tyče, pruty o průměru min. 8 mm nebo trubky o síle stěny min. 2 mm. Délka hřebíků se stanoví podle vztahu $L = 0,6 - 1,0 \cdot H$ (H je výška zdi). Důležitou součástí konstrukce pomocí hřebíků je odvodnění provedené drenážními vrty (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 8: Hřebíkování svah s obkladem ze stříkaného betonu (Plášek a kol., 2004)

3.2.2 Ochrana povrchu skalních svahů

Jak popsal Klimeš a kol. (1978) ve své publikaci, horniny ve skalních svazích přirozeně stárnou, což se projevuje u skalních svahů změnou stability. Narušování se děje mechanickým a chemickým zvětráváním hornin. Působící povětrnostní vlivy (voda, mráz, oslunění) zapříčiňují vznik puklin a trhlin, podle kterých se uvolňují celé bloky hornin. Poruchám a ohrožení železniční dopravy se předchází pravidelným průzkumem skalních svahů a stěn, na jehož základě se navrhuje a provádějí udržovací a ochranné práce.

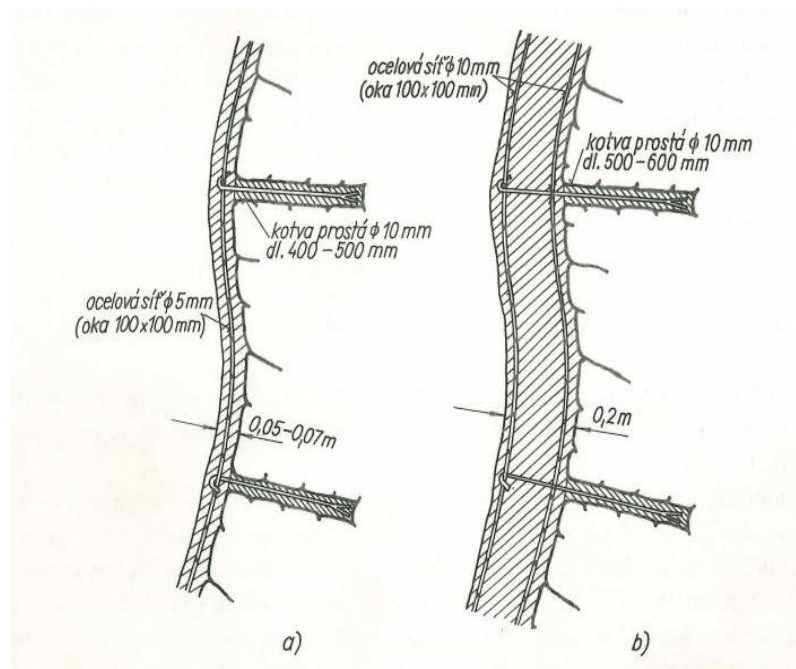
Povrch skalních svahů v zářezech, které jsou náchylné ke zvětrávání, je nutné celoplošně chránit před povětrnostními vlivy. K tomu se využívají torketové omítky, pláště ze stříkaného betonu nebo zřízení obkladních zdí (Plášek a kol., 2004).

- **Torketové omítky**

Torketování se používá jako dočasná ochrana nebo jako podklad pod konečnou vrstvu např. ze stříkaného betonu (viz obr. 9a). Torketová omítka může plnit dvě funkce. Jednak jako ochrana proti zvětrávání, pak je její tloušťka 25 – 50 mm. Nebo má-li být svah omítkou zpevněn, je její tloušťka 50 – 70 mm a je navíc vyztužena drátěnou sítí. Nanášení torketových omítek se provádí strojně směsí písku o velikosti zrna max. 7 mm, cementu a přísady urychlující tuhnutí. Používá se buď suchá, nebo mokrá metoda nanášení. Při suchém způsobu se suché přísady mísí s vodou ve stříkací pistoli, u mokré metody se stlačeným vzduchem stříká na povrch svahu tekutá malta (Klimeš a kol., 1978; Plášek a kol., 2004).

- **Pláště ze stříkaného betonu**

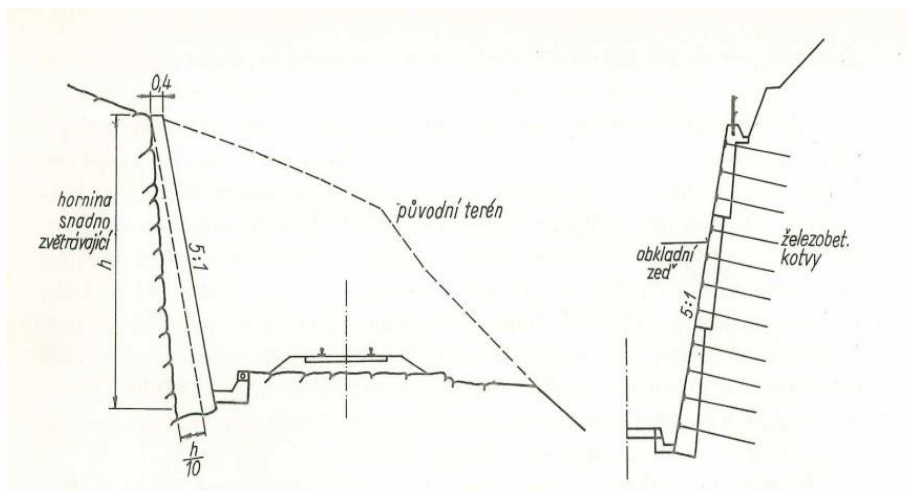
Jde o zpevňující ochranu, která může být použita i jako vrchní vrstva na torketovou omítku (viz obr. 9b). Betonová vrstva se nanáší strojně tzv. suchou technologií, kdy se připravená směs mísí s vodou ve stříkací pistoli a tlakem vody je nanesena na svah na jednoduchou nebo dvojitou ocelovou síť, která je ukotvena ke skalnímu líci. Do směsi pro stříkaný beton je využita šterková drť s velikostí zrn 25 – 30 mm. Vrstva betonového pláště je min. 50 mm, v případě nástřiku více vrstev se celková tloušťka může dostat až na 200 – 300 mm (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 9: Ochrana skalního svahu před zvětráváním (Klimeš a kol., 1978)
 a) torketovou omítkou, b) pláštěm ze stříkaného betonu

- **Obkladní zdi**

Obkladní zdi bývají poměrně tenké, jelikož neplní zvláštní statickou funkci. Staví se většinou po ukončení skalního výlomu, který chrání před zvětráváním a zachycují uvolněné kameny (viz obr. 10). Oproti zárubním a opěrným zdem nemohou být osázeny přírodní zelení (Kučera, 2009).



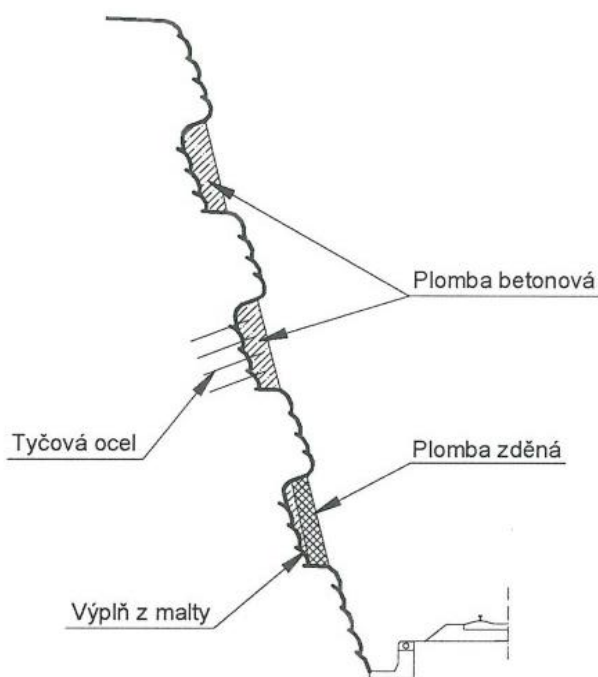
Obr. č. 10: Obkladní zeď ve skalním odřezu a kotvená obkladní zeď (Klimeš a kol., 1978)

Dříve se používalo pro budování obkladních zdí kamenů, v dnešní době se budují především z betonu. Sklon líce betonové zdi je 1:5, tloušťka zdi je 0,4 m v koruně a $0,4 + 0,10 \cdot H$ (H = výška zdi) v patě zdi. Pro správné plnění svého účelu musí obkladní

zed' doléhat těsně ke skalní stěně. Těsným dozděním ke skalní stěně se zabrání pronikání povrchové vody za rub obkladní zdi. V případě výronu pramene puklinové vody se na rubu zdi zřídí drenáž, která svede vodu do příkopu. Obkladní zdi se také často dělají pilířové a u porušených skalních svahů se navíc zdi kotví pomocí železobetonových kotev (Klimeš a kol., 1978).

- **Místní úpravy**

Na lokální ochranu skalních svahů se používají místní metody. Za nejjednodušší je možné považovat ruční očištění svahu od uvolněných kamenů. Mezi další úpravy se řadí např. plombování dutin betonem nebo kamenným zdivem u plošně uvolněných částí skalního líce, těsnění spár a trhlin cementovou maltou nebo řídkým betonem, podezdění skalních bloků či zabudování pilířů (viz obr. č. 11). Budují se též záchytné zídky, ploty a příkopy proti padání kamenů (Klimeš a kol., 1978).

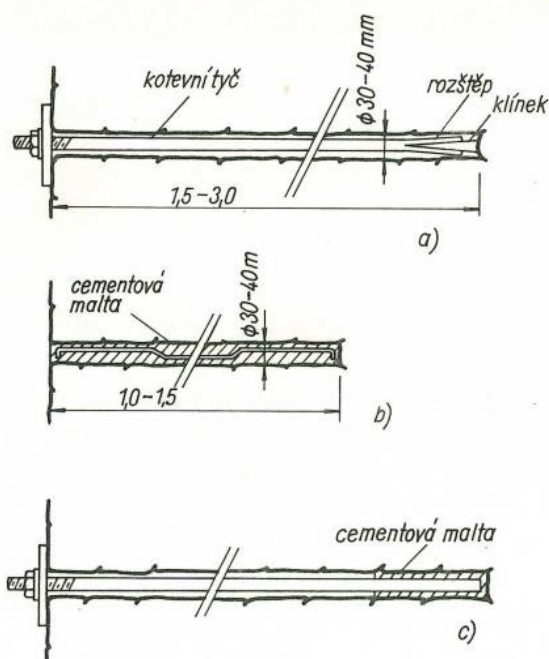


Obr. č. 11: Ochrana skalních svahů plombováním dutin (Plášek a kol., 2004)

- **Kotvení**

Kotvení se provádí pro zvýšení stability zvětralých skalních vrstev nebo velkých uvolněných balvanů nepředpjatými nebo předpjatými kotvami zasahujícími do pevné horniny. U nepředpjatých kotev působí proti pohybu skalního bloku pouze smyková pevnost kotev namáhaných na smyk. U předpjatých kotev se předpětím dosáhne aktivace horniny k zvýšení tření na odlučných plochách.

Kotvy se dělí ještě podle způsobu upnutí na kotvy suché a kotvy železobetonové. Jednoduchá suchá kotva je svorník s rozštěpem a klínem (viz obr. 12a), u které se úkos klínu a délka štěrbiny řídí tvrdostí horniny. Pro tvrdé horniny se volí úkos 1:10. Na vyčnívající konec kotevní tyče se nasazuje matice s podkladní destičkou. Suchý svorník působí jako kotva předpjatá a zakotvuje se údery těžkým kladivem nebo pneumatickou sbíječkou na kotevní tyče. Matice se utahují pneumatickým utahovákem popřípadě ručním klíčem s dlouhým ramenem. Železobetonové kotvy jsou prosté a předpjaté. Prostá kotevní tyč se v celé délce vrtu utěsňuje cementovou maltou z rychle tuhnuoucích nebo rozpínavých cementů (viz obr. 12b). Předpjatá železobetonová kotva se ve vrtu ukotví pouze na konci cementovou maltou. Kotevní tyč se předpíná po zatvrdnutí malty utahováním matice no vyčnívajícím konci tyče (viz obr. 12c), (Klimeš a kol., 1978).



Obr. č. 12: Druhy kotev ke kotvení hornin (Klimeš a kol., 1978)
a) suchá kotva, b) železobetonová kotva, c) železobetonová kotva předpjatá

3.2.3 Zárubní a opěrné zdi

Jak se zmiňuje Kučera (2009) zárubní zdi se budují nad úrovní pláně železničního spodku k zachycování tlaku okolního rostlého terénu, snížení objemu vykopané zeminy nebo k zachování staveb v blízkosti železniční trati.

Opěrné zdi se budují pro zachytávání tlaku násypových svahů. Oproti zárubním zdem mají výhodu např. v dokonalé ochraně izolací proti působení podzemní vody. Naproti tomu nevýhoda spočívá v zavlažování rostlinného pokryvu, které je možné jen při dešti.

Zárubní a opěrné zdi se dělí z hlediska použitých materiálů na gabionové, masivní, z krabicových dílů, srubové a zdi z pilot. Opěrné zdi se dělí navíc dle konstrukčního uspořádání na zdi z úhlových dílců, kotvené do vyztužené zeminy, členěné a lehké opěrné zdi. Zárubní i opěrné zdi se dělí také z hlediska technologie na zdi montované z prefabrikátů a zdi budované na místě.

Plášek a kol. (2004) navíc uvádí, že tvar a rozměry zárubních a opěrných zdí se musí stanovit statickým výpočtem a rozhodující jsou také geologické a místní podmínky. Součástí projektové dokumentace pro zárubní a opěrné zdi musí být i jejich odvodnění a u betonových či železobetonových zdí i povrchová ochrana líce zdi před atmosférickými vlivy a ochrana rubu zdi před vlhkem, agresivními vodami apod.

- **Zárubní a opěrné zdi masivní**

Masivní zdi působí hlavně svou hmotností a zachycují tlak zeminy v zářezu v případě zárubních zdí nebo tlak zeminy násypu u opěrných zdí (viz obr. č. 13). Rozměry zdí se odvozují z výšky svahu nebo nadnásypu nad korunou zdi podle různých dimenzačních tabulek, z vlastností zeminy a vlastností materiálu, ze kterého je zeď navržena. Konečné posouzení stability zdi je třeba provést na základě skutečně zjištěných hodnot zeminy po geotechnickém průzkumu. Masivní zárubní a opěrné zdi se budují zpravidla s lícním sklonem 5:1. Na rubové straně se prostor mezi zdí a zeminou vyplňuje propustným nesoudržným materiálem, mezerovitým nebo pórovitým betonem nebo ukládají vertikální drény z geosyntetických materiálů (Kubát a kol., 1998).



Obr. č. 13: Zárubní zeď ve Zbirohu (URL 4)

- **Zárubní a opěrné zdi z pilot**

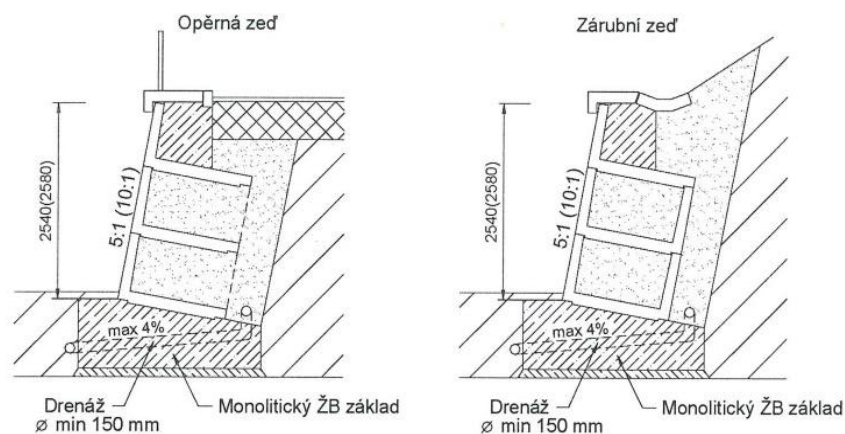
K budování zárubních a opěrných zdí se používají pilotové stěny z vrtaných pilot velkých průměrů, které se betonují na místě, nebo prefabrikované železobetonové piloty. Hlavy pilot jsou spojeny železobetonovou římsou, zhotovenou na místě (viz obr. č. 14). Účinnost pilotové zdi se podle potřeby zvýší kotvením (Kubát a kol., 1998).



Obr. č. 14: Zárubní zeď z pilot (URL 5)

- **Zárubní a opěrné zdi z krabicových dílů**

Prvky k budování zdí z krabicových dílů jsou tvořeny prefabrikáty ve tvaru otevřených krabic pro větší hmotnost vyplněny zpravidla místní zeminou. Krabicové díly se kladou na monolitickou základovou betonovou desku a rubové plochy prvků se opatřují izolačním nátěrem. Za rubem zdi se zpravidla buduje odvodnění z vrstvy



Obr. č. 15: Příklad použití prefabrikátů pro opěrné a zárubní zdi (Plášek a kol., 2004)

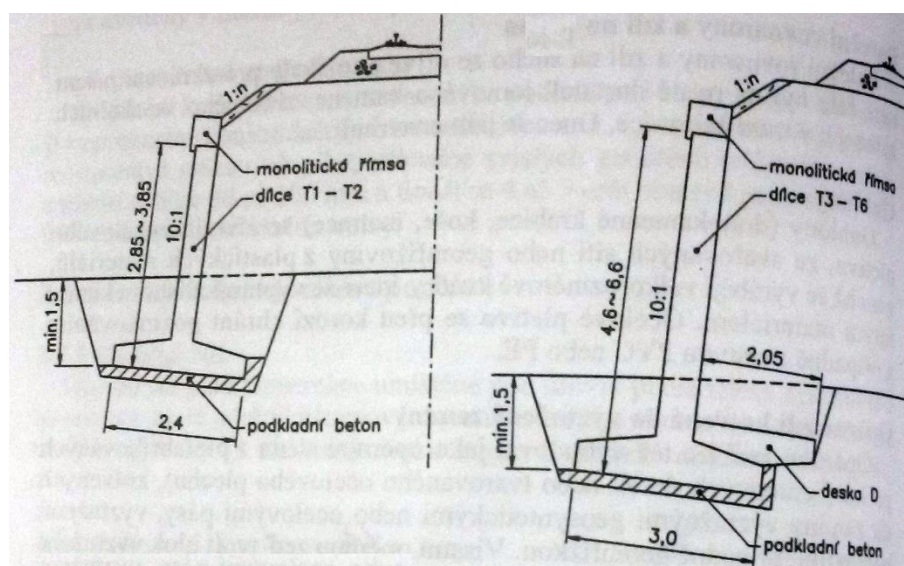
štěrkopísku a ukládá zemina ve vrstvách, které se zhutňují. Z prefabrikovaných prvků se mohou sestavit zdi až do výšky 6,5 m (viz obr. 15), (Klimeš a kol., 1978).

- **Zárubní a opěrné zdi srubové**

Srubové zdi jsou tvořeny zpravidla dvěma prvky – železobetonovými trávci (běhouny, vazáky). Líc zdi je členěný vyčnívajícími ozuby vazných trámců a mezi podélnými trávci je mezera na výšku příčného trámce. Vnitřek srubové zdi se vyplňuje propustným materiálem. Výhodou srubových zdí je dobré vyrovnávání rozdílů v sedajícím podloží (Klimeš a kol., 1978).

- **Opěrné zdi z úhlových dílců**

Opěrné zdi sestavené z úhlových dílců se řadí do kategorie montovaných zdí. Pro vybudování se používají prefabrikované dílce na plnou výšku zdi. U Českých drah (ČD) se používají dvě výškově rozdílné varianty dílců. Pro opěrné zdi do výšky 3,85 m se používají dílce T1 a T2 a pro vyšší zdi do výšky 6,6 m se používají dílce T3 až T6, ke kterým se ukládá na rubovou stranu základu dílce deska. Na sestavené zdi z úhlových dílců se na místě dobetonuje monolitická římsa (viz obr. č. 16), (Kubát a kol., 1998).



Obr. č. 16: Opěrné zdi z úhlových dílců (Klimeš a kol., 1978)

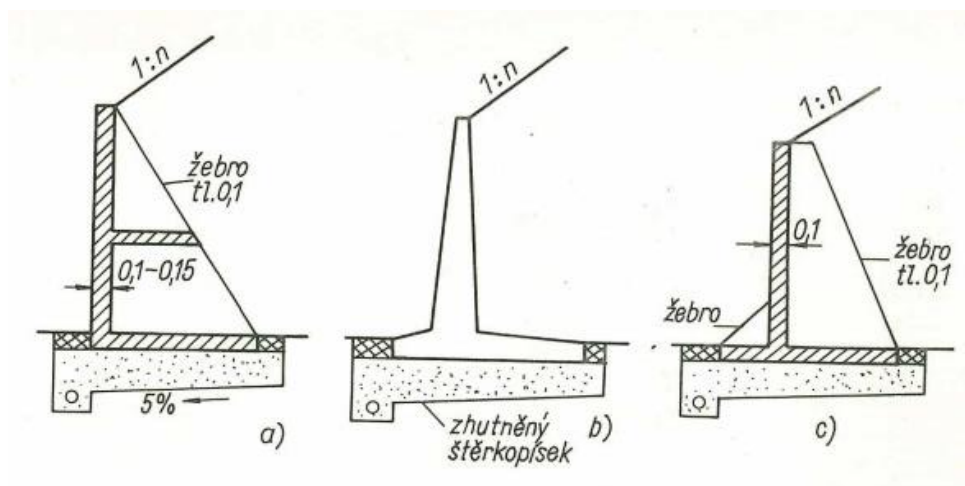
- **Opěrné zdi členěné**

Opěrné zdi členěné jsou klenby nebo desky vetknuté do pilířů, které jsou zpravidla na líci zdi. Za rubovou stranou zdi se ukládá vrstva udusaného štěrkopísku nebo

rovnanina. Oproti budovaným zdem na místě v minulých letech se dnes nahrazují konstrukcemi montovanými z betonových nebo ocelových prefabrikátů (Klimeš a kol., 1978).

- **Opěrné zdi lehké**

Pro konstrukci opěrných lehkých zdí se využívá železobeton, kdy se vytvořením staticky výhodných tvarů zdí dosáhne úspory betonu s poměrně malým stupněm vyztužení. Lehké opěrné zdi se vyrábí také jako prefabrikované. Tvary lehkých zdí se dělí na typ úhelníkový, stěnový a vyztužený žebry (viz obr. 17). Za rubem zdi se zřizuje kamenná rovnanina, zásyp štěrkokopískem nebo se použije tvárnic z porézního betonu. Prosáklá voda se odvádí drenáží podél základu z dusaného štěrkokopísku (Klimeš a kol., 1978).



Obr. č. 17: Opěrné zdi lehké (Klimeš a kol., 1978)

a) úhelníkový typ se žebry, b) stěnový typ, c) stěnový typ se žebry

- **Opěrné zdi z vyztužené zeminy**

Jedná se zpravidla o opěrnou stěnu z prefabrikovaných betonových desek nebo ocelových tvarovaných plechů kotvených do zeminy výztužnými geosyntetickými nebo ocelovými pásy, výztužnou geotextilií, případně geomřížkou. Vlastní opěrná zeď je tvořena blokem vyztužené zeminy (Kubát a kol., 1998).

Hubík (2007) připisuje ve svém článku k největším přednostem opěrných zdí z vyztužené zeminy nízkou cenu a estetický vzhled. Oproti klasickým zdem mají výhodu v minimálních nárocích na založení, necitlivost vůči sedání a rychlou dobu výstavby. Statické působení zdí z vyztužené zeminy je ukryto uvnitř konstrukce a líc zdi se tak může vytvořit z různých materiálů s ohledem na estetickou stránku (viz obr.

č. 18). Těchto výhod, se využívá především ve špatných základových podmínkách a v kombinaci s výstavbou liniových dopravních staveb.

Naproti tomu Řejha (2010) uvádí, že nejsou vhodné pro realizaci vyztužených zeminových konstrukcí všechny typy zemin. Především se jedná o extrémně jílovité, extrémně namrzavé a příliš humózní zeminy. Nevhodné zeminy lze vylepšit domícháním s vhodnou zeminou či vápennou nebo cementovou stabilizací.



Obr. č. 18: Opěrná zeď s lícem z betonových panelů kotvená do vyztužené zeminy – zářez u Mlčechvost (Plášek a kol., 2004)

3.2.4 Odvodňovací zařízení

V posledních letech je většina objektů hydrotechnického charakteru budovaných jako součást železničního spodku typizovaná a využívá prefabrikovaných prvků (Jurda, 1989).

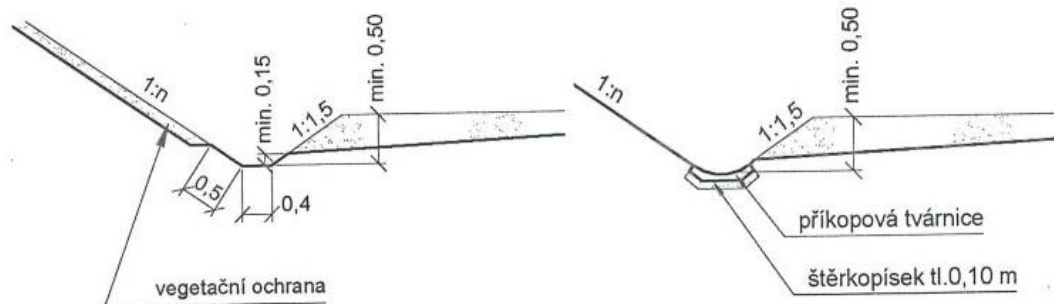
I Kudrna (2011) považuje za nejdůležitější technickou protierozní ochranu svahů především správně navržené a udržované odvodňovací zařízení pro bezpečný odvod povrchových, případně i podzemních vod. Na svazích svažujících se do zářezu tělesa komunikace je nutné pomocí technických opatření zabránit unášení materiálu s povrchovými vodami do prostoru železničního tělesa a předcházet tak škodám. Pro plnění určené funkce je potřeba odvodňovací zařízení a všechny jeho části uvést do provozu co nejdříve.

Odvodňovací zařízení se dělí:

1. Otevřená – prahy, kaskády, stupně, skluzy, rigoly, drážní příkopy, náhorní příkopy, příkopové zídky apod.
2. Krytá – odvodňovací vrty a štolky, svodná potrubí, trativody, svahová odvodňovací žebra, vsakovací jámky apod.
3. Kombinovaná – kombinace otevřených a krytých zařízení

• Příkopy

Plášek a kol. (2004) popisuje ve své publikaci, že k odvedení povrchové vody z přilehlých svahů zářezů, náspů a zemní pláně se budují drážní příkopy. Parametry příkopů mají splňovat umístění dna minimálně 0,5 m pod úrovní pláně tělesa železničního spodku, z toho nejméně 0,15 m pod okrajem zemní pláně, šířky dna alespoň 0,4 m a ve vzdálenosti od paty svahu náspu nejméně 1,0 m. Sklony svahů příkopů u nejčastějšího lichoběžníkového tvaru se zpravidla navrhují 1:1,5. Drážní příkopy mohou být nezpevněné nebo zpevněné (viz obr. 19). U nezpevněného příkopu nemá být podélný sklon dna menší 4 ‰ a nesmí být větší 25 ‰, jinak je nutné zpevnění příkopu. Příkopy se zpevňují proti vymílání dlažbou nebo tvárnici, které se kladou do lože z betonu či štěrkopísku tloušťky 0,10 m. Spáry mezi jednotlivými prvky se vyplňují cementovou maltou. Příkopy vedené ve skální hornině se zásadně zpevňují a z ochranného a udržovacího prostoru v zářezu slouží k odvedení povrchových vod rigoly.



Obr. č. 19: Nezpevněný a zpevněný příkop (Plášek a kol., 2004)

V hlubokých zářezech v soudržných zeminách se místo běžných příkopů zřizují monolitické příkopové zídky z betonu nebo prefabrikátů, které se v celé délce zakrývají krycími deskami (viz příloha č. 2). Příkopové zídky musí být opatřeny odvodňovacími otvory, které se doporučuje chránit na rubové straně zídky geotextilií.

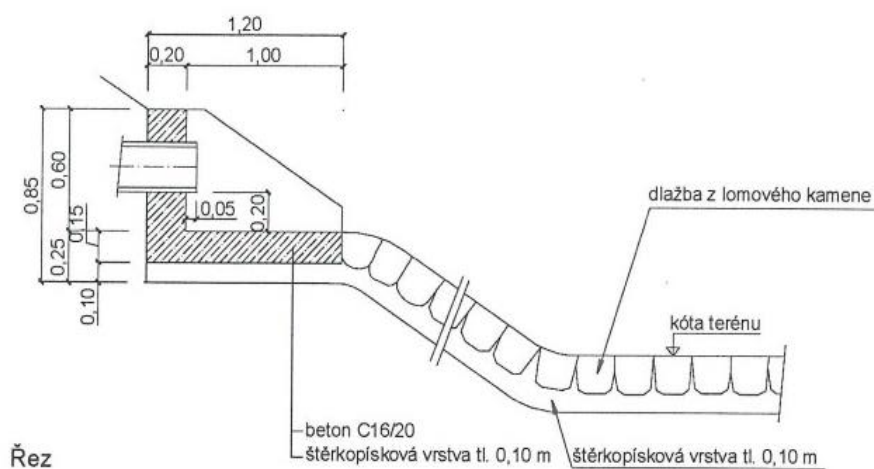
Prostor přiléhající ke svahu za rubem zídky se vyplňuje propustným materiálem. Do příkopových zídek se odvodňuje pražcové podloží i přilehlý svah (Kubát, 2003).

K odvedení povrchové tekoucí vody nad svahem zářezu se zřizují náhorní příkopy. Ty se dimenzují na stoletou vodu a konstrukčně musí být uspořádány tak, aby byla zabezpečena stabilita zářezového svahu. Náhorní příkopy jsou vždy zpevněné a nepropustné a ve vzdálenosti min. 1,0 m od svahu.

V případě, že je sklon příkopu větší, než 10 % je takový příkop nazýván skluzem. Ve skluzu se zřizují příčné objekty tzv. stupně, které vytváří výškový skok v niveletě dna. Řada zpevněných stupňů pak tvoří kaskádu. Výška stupně bez vývaru se navrhuje 0,3 – 0,5 m, s vývarem vyšší než 0,5 m. Stupeň s vývarem se zřizuje před zaústěním skluzu a kaskády do příkopu nebo vodoteče (Plášek a kol., 2004).

- **Trativody**

K odvedení podzemní vody z vodonosné vrstvy nad zářezem se zřizuje náhorní trativod. Při návrhu náhorního trativodu je potřeba posoudit stabilitu svahu výpočtem. Vzdálenost umístění trativodu od hrany zářezu se stanoví výpočtem $1,5 \cdot h_z$ (h_z = hloubka zářezu), přičemž nejmenší vzdálenost je 15 m. Hloubka vodonosné vrstvy nesmí být větší jak 2,0 m a dno trativodní rýhy je min. 0,4 m pod vodonosnou vrstvou. Potrubí trativodu se vyústí do drážního příkopu, vodoteče nebo volně na terén trativodní výustí. Svahy kolem výusti se zpevňují pomocí dlažby a výust' čelní zídkou z monolitického betonu. Při vyústění více jak 1,5 m nad terénem je potřeba vybudovat skluz (viz obr. č. 20), (Kubát, 1998).

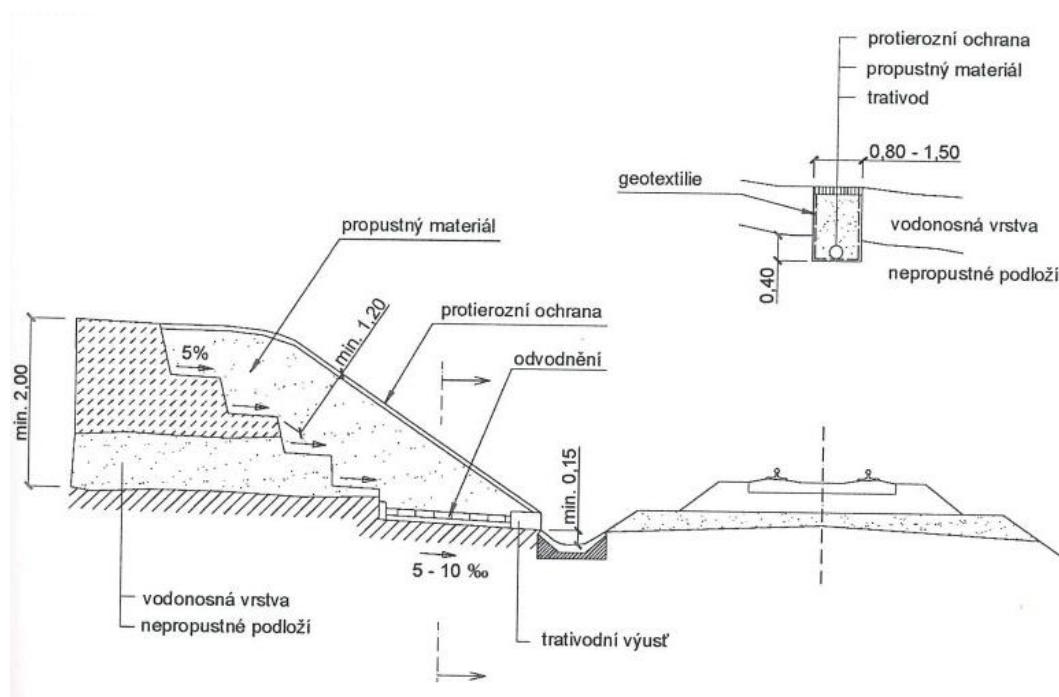


Obr. č. 20: Trativodní výust' (Plášek a kol., 2004)

• Odvodňovací žebra

V místech, kde na svahu dochází k vývěru podzemní vody a vodonosná vrstva je v hloubce více jak 2 m pod úrovní terénu se zřizují svahová odvodňovací žebra. Vzdálenost žeber mezi sebou je 5 – 10 m a šířka žeber se navrhuje 0,8 – 1,5 m. Pro zachování funkce žebra i v zimním období se žebra umísťují do hloubky min. 1,2 m kolmo ke svahu zářezu. Do spodního žebra je možné navrhnout trativod. Vyústění svahových žeber je do drážního příkopu (viz obr. 21).

Místo svahových žeber se mohou ve svahu zřídit odvodňovací vrty, které se provádějí jako horizontální nebo se sklonem 10 – 15° vzhůru. Počet a umístění odvodňovacích vrtů se stanovuje hydrogeologickým průzkumem (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 21: Svahové odvodňovací žebro zaústěné do zpevněného drážního příkopu (Plášek a kol., 2004)

• Vsakovací a odpařovací objekty

Vsakovací a odpařovací objekty se budují v případě, že není možné nebo ekonomické, vodu, svedenou do drážních příkopů nebo trativodů, odvést do vodoteče nebo jiné vodohospodářské stavby. Vybudováním těchto objektů nesmí být ohroženy vodní zdroje. Vsakovací objekty mohou být příkopy, potrubí, žebra nebo jímky a zřizují se v propustné zemině. Pro zřízení vsakovacích jímek se používají studniční skruže o průměru 1,5 m zapuštěné do propustné vrstvy min. 0,5 m. Na dno vsakovací jímky ukládá filtrační vrstva. Vsakovací žebra jsou tvořena podélnými nebo příčnými

rýhami s výplní propustným nenamrzavým materiálem. Vsakovací příkopy mají pod dnem příkopu vybudovány vsakovací žebra, která zasahují do propustné zeminy.

Odpařovací objekty se budují na nepropustném podloží nebo v území s vysokou hladinou podzemní vody a rozeznáváme odpařovací příkopy a recipienty. Odpařovací příkopy musí být navrženy tak, aby voda vystoupila max. 0,1 m pod úroveň zemní pláně (Plášek a kol., 2004).

3.3 Vegetační opatření

Jak popisuje Kudrna (2011) za základ vegetačních protierozních úprav je považována vegetace a humusování. Vegetační úpravy plní například funkce biotechnické, kdy vegetace zpevňuje svahy a zabezpečuje je proti sesouvání. Byliny a dřeviny s vysokou spotřebou vody půdu odvodňují a ochraňují tak půdu na svazích před vodní erozí. Vegetační pokrvy omezují vliv nežádoucích klimatických jevů i tím, že chrání před větrem a zachycují sníh. Biologické a ekologické funkce spočívají ve vytvoření optimálního objemu aktivní hmoty, zvyšují ekologickou stabilitu a pomáhají k začlenění dotčené krajiny do územního systému ekologické stability. V neposlední řadě estetická nebo také krajinnotvorná funkce začleňuje technické dílo do krajiny, spoluurčuje podobu z architektonického hlediska a krajinného rázu části dotčeného území.

Při vegetačních opatřeních se využívají biologické úpravy zatravňováním, osetím bylinami a vysazováním dřevin ze semen, dřevitých řízků a sadovnických výpěstků. Samotný biologický materiál se dělí do tří skupin:

- živý materiál – patří sem dřeviny a rostliny
- neživý materiál – zahrnuje dřevité řízky a pruty o různorodých délkách od 0,25 m až 1,2 m, dále odnože a části kořenů
- osivo

Vegetace hraje extrémně důležitou roli při řízení vodní eroze. Prospěšné účinky bylinné vegetace a travin v prevenci vodních srážek jsou především jímací, zádržný, zpomalující a infiltrační. Zeleň a rostlinné zbytky absorbují dešťovou energii a zabráňují oddělování půdy stříkajícími dešťovými kapkami. Kořenový systém fyzicky váže nebo omezuje půdní částice, zatímco nadzemní části filtrují sedimenty z odtoku. Stonky a listy zvyšují drsnost povrchu a zpomalují rychlost odtoku. Rostliny a jejich

zbytky pomáhají udržovat pórovitost a propustnost půdy, což oddaluje nástup odtoku (Gray a Sotir, 1996).

Klimeš a kol. (1978) ve své publikaci uvádí, že vegetační ochrana zabraňuje vodě tekoucí po svahu a vodě z tajícího sněhu ve vymílání povrchu svahu a též přímý vsak vody ze srážek do zeminy je zmenšen. Voda je z okolní zeminy odnímána kořenovým systémem vegetačního krytu, který spojuje humus se zeminou a zpevňuje svah do hloubky. Další ochranné vlastnosti vegetačního krytu jsou také zmenšení nepříznivého vysychání zeminy, eliminace tvorby trhlin, zmírnění promrzání svahu a zpomalení odtávání sněhové pokrývky. Nejvhodnější traviny a porosty pro vegetační ochranu se mají volit podobné rostoucím v blízkém okolí. Travní směsi běžně používané na zahradních plochách nejsou pro méně příznivé podmínky na svazích zemního tělesa k osevu příliš vhodné. V travních směsích mají být zásadně zastoupena semena různých druhů mělce a hluboce kořenicích travin a travní směs má být volena i s ohledem na druh půdy, hladinu podzemní vody a klimatické poměry v daném místě. Více druhů je lépe volit i v případě keřů a stromů a pro dosažení co největší odparné plochy se sází střídavě a řídce. Vzrostlé stromy na svahu se musí, jako prevence proti větrným vývrátům a tím narušení svahu, kácet. Pařezy se na svahu ponechávají. Naproti tomu se ale Hyrman (2009) ve své práci zmiňuje, že nešetrným odstraněním vegetačního pokryvu dochází k narušení vodního režimu a tím ke snížení stability svahu. Dle Cazzuffi a kol. (2014) krátkodobé dočasné výhody odstraněním stromů (např. snížení přetížení, snížení smykové síly přenášeného na svah při větru, snížení kotevní funkce kořenů) jsou přebity snížením stability svahu v důsledku rozpadu kořenů a tak vzniku dutin.

V technických podmínkách (TP) TP 53, o protierozních opatřeních na svazích pozemních komunikací, jsou uvedeny detailní návrhy vegetačních úprav, sestav a jména jednotlivých travin, bylin i dřevin vhodných pro úpravy (MD, 2003).

Užití školkařských výpěstků I. třídy jakosti pro vegetační úpravy, kategorie výpěstků (v nádobách, v kontejnerech, prostokořenné, s baly), definice tříd výpěstků, velikosti výpěstků jakož i technologický postup vysazování výpěstků stanovují TP 99, o vysazování a ošetřování silniční vegetace (MD, 1997).

Kudrna (2011) dále popisuje využití chemických úprav pomocí stabilizátorů přidávané jako protierozní přísady používané zejména při hydroosevu. Úpravy provádí

odborná firma na základě dokumentace, ve které jsou stanoveny použité materiály a druhy úprav.

3.3.1 Zakládání travních ploch

Osetí svahů proti erozi vyžaduje oproti jiným sadovnickým úpravám odlišný přístup, jelikož se jedná o extrémní podmínky. Dle TP 53, o protierozních opatřeních na svazích pozemních komunikací, je podstatné posoudit půdní a klimatické faktory a vybírat do těchto podmínek vhodné druhy travin, případně podmínky zlepšit. Výsev se provádí na menších plochách ručně nebo na větších mechanizovaně (MD, 2003).

- **Osetí travního semene do ornice**

Na upravené svahy zemního tělesa se rozprostírá vrstva ornice, které se jinak označuje jako humusování svahů. V případě zářezu začíná humusování nejdříve 0,5 m nade dnem příkopu. Svahy náspů se většinou pokrývají ornici celé. Pokud jsou konstrukční vrstvy tvořeny z propustných materiálů tak se humusování neaplikuje z důvodu umožnění odtoku srážkových vod na svah tělesa. Vrstva ornice má tloušťku 100 – 150 mm a do této vrstvy se osévá travní semeno.

Pro osev je používána směs travního semene v množství 30 – 60 g.m⁻². Menší plochy svahů s malým sklonem se osévají ručně. U větších ploch svahů se může využívat osévání pomocí speciálních secích strojů. Povrch osetých vrstev je nutné po osetí ztuhnout. Pro zajištění růstu travin za suchého období je potřeba svahy zavlažovat kropením vodou, především na slunečných svazích, případně se povrchy opatří nástřikem asfaltovou nebo latexovou emulzí, které na povrchu vytvoří ochranný film. Nástřik emulzí se používá jako ochrana před erozivními účinky srážkových vod do doby vzrůstu trávy (Plášek a kol., 2004).

- **Osetí travního semene do směsi ornice a jalové zeminy**

Jak uvádí ve své publikaci Plášek a kol. (2004) je také možné travní semeno osévat při nedostatku ornice do směsi ornice s jalovou zeminou obvykle v poměru 1:1. Směs se může vylepšit rašelinou nebo hnojivem.

- **Hydroosev**

Hydroosev je speciální technika vyvinutá pro rychlé a levné osetí svahů. Jde o kombinovanou biologickou a chemickou protierozní techniku zatravnění svahu tělesa

směsí vody, travního semene, hnojiva, mulče a speciální pojivé emulze pomocí silného čerpadla. Dosah čerpadla je 15 – 20 m, a za příznivých podmínek až 25 m. Mulč sestává z látek organického původu, např. rašelina, lesní stelivo, řezanky ze slámy či sena, hobliny apod. Mulč zajišťuje vhodné podmínky pro lepší klíčivost zasetých rostlin a emulze zabezpečí dobré přilnutí osiva a mulče ke svahu a ochrání směs před vysycháním do doby zakořenění travin. Ve vegetační době lze hydroosev aplikovat za každého počasí (Morgan a Rickson, 1995).



Obr. č. 22: Hydroosev - aplikace (URL 6)

- **Drnování**

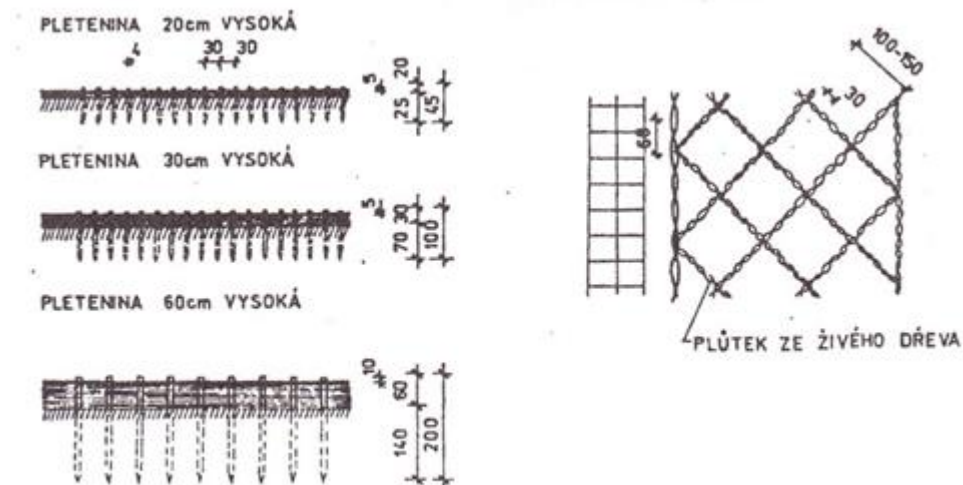
Podstatou drnování je pokládka srýpnutých drnových tabulí nebo drnových pásů celoplošně nebo diagonálně šachovnicově na vlhký svah. Travní koberce se dopravují na stavbu srolované. U drnových pásů je důležité zajištění na svahu sponami nebo kolíky. Po pokládce je nutné drny utužit a zavlažovat. Při kvalitním zavlažování je možné provádět pokládku po celou dobu vegetačního období. Technologie drnování vyžaduje velkou míru ruční práce, a proto je tento způsob ochrany vhodný pouze pro menší plochy svahů a využívá se spíše výjimečně. Drnové dlaždice lze využít i při zpevňování svahů terasováním tzv. čelní drnování. Výška u těchto čelních drnových stěn nemá překročit 1,3 m a sklon 3 : 1 až 8 :1 (Kudrna, 2011).

3.3.2 Výsadba dřevin

Jak je uvedeno v TP 53, o protierozních opatřeních na svazích pozemních komunikací, výsadba keřů a stromů podél liniových staveb může vhodně doplnit základ z travních porostů. Kořeny dřevin přispívají s kořeny travin ke zpevnění svahu a nadzemní části dřevin zmírňují kinetickou energii deště (MD, 2003). Kořeny působí v půdě jako kotvy, které mechanicky posilují nestabilní půdy, a pro výběr vhodných dřevin je třeba pochopit mechanické interakce mezi kořeny a půdou (Mickovski a kol., 2007).

- **Plůtky a pleteniny**

Pro rychlou sanaci erozivních míst a malých ploch na vlhkých svazích se používají pleteniny a plůtky. Pro tvorbu pletenin se používá vrbové proutí a tvoří na svahu čtverce nebo šikmé plůtky. Při sanování míst zasažených erozí se vrbová pletenina vytváří kolmo na směr rýhy. Pro budování pletenin je nejvhodnější podzim a předjaří v období vegetačního klidu (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 23: Zpevnění svahu plůtky (TP 53)

- **Pultová výsadba**

Princip pultové výsadby spočívá ve vytvoření pultů z kvalitní zeminy na tělese svahu, do kterého se vysadí mladé dřeviny do výšky 0,5 m. V prostoru pultu dochází ke zpomalování toku vody po svahu, tím se sníží erozivní riziko a následný sesuv svahu a zvýší naopak prosakování vody ke kořenům dřevin (Kudrna, 2011).

- **Rigolová výsadba (brázdová, jamková)**

Jedná se o obdobu pultové výsadby, při které se však dřeviny výšky 0,8 – 1 m sází do vyoraných brázd ve svahu. Vysazené dřeviny musí mít kořeny v kvalitní zemině, a proto je vhodné používat mulč (Kudrna, 2011).

3.4 Kombinovaná opatření

Kombinují vhodná technická opatření s vegetační ochranou. Kombinovaná opatření tak mohou i více plnit funkci estetickou, kterou zajišťuje právě vegetace.

- **Geotextilie, travní rohože z geotextilie a suché travní rohože**

Jednou z možných vegetačních ochran, které se používají k ochraně zemních svahů s jalovými zeminami, jsou speciální rohože z geotextilie, do kterých je uloženo travní semeno v množství 15 – 20 g.m⁻² (viz obr. 24). Travní rohože jsou tvořeny dvěma mezi sebou prošívanými vrstvami geotextilie. V době prokořeňování porostu v běžných klimatických podmínkách by měl být nosný materiál travních rohoží humifikován, a proto musí být rozložitelný.



Obr. č. 24: Detail prorůstání vegetace protierozní georohoží (Hubík, 2007)

Vedle geotextilií lze použít jako nosný materiál u suchých travních rohoží pro travní semeno, případně semena bylin a dřevin také buničinu, kokosová vlákna, savý papír apod. (viz obr. č. 25). Travní semeno je do suchých rohoží zapraveno lisováním

nebo pomocí pojiv na bázi organických lepidel. Rohože z biologicky odbouratelných materiálů jsou vhodnější pro dočasnou protierozní ochranu.

Travní rohože se kladou na vlhký svah s přidáním hnojiv a upevňují se na zemním svahu tělesa pomocí ocelových skob nebo spon. Zajištění skobami či sponami zabrání sesunutí travních rohoží ze svahu. Položené travní rohože je v suchém období potřeba kropit vodou, aby nedošlo k jejich zaschnutí. Výhodou travních rohoží je malá pracovní náročnost a rychlé pokrytí ploch svahů. Nevýhodou jsou vyšší náklady na pokládku (Plášek a kol., 2004; Hubík, 2007; Kudrna, 2011).

Další možností dle TP 53, o protierozních opatřeních na svazích pozemních komunikací, je pokládka geotextilí na již osetý svah. Tato metoda vyžaduje dobré a husté připevnění, aby perfektně přilnula ke svahu. Podmínkou také je, aby geotextilie umožňovala prorůstání mladých travních porostů (MD, 2003).



Obr. č. 25: Rohože z kokosových vláken (Řejha, 2007)

- **Děrované betonové tvárnice**

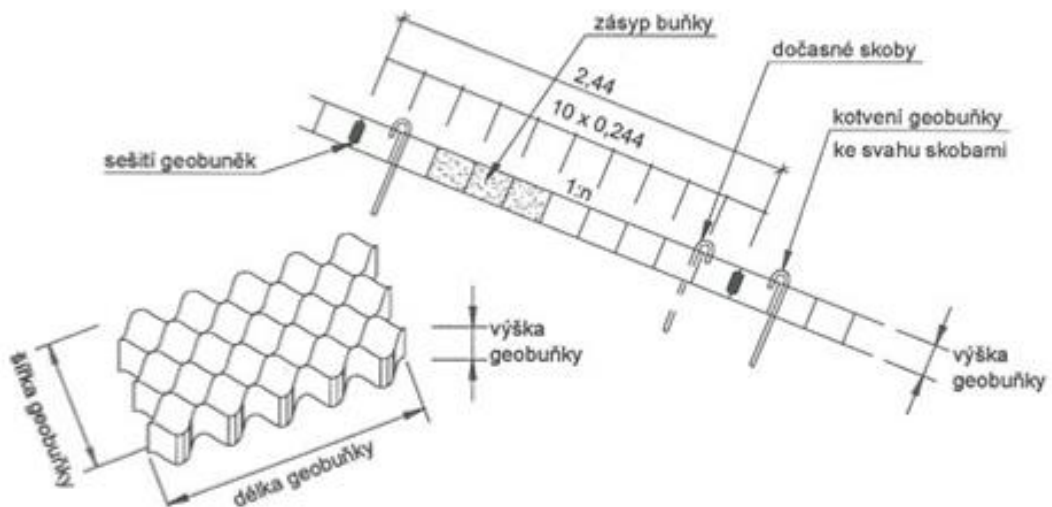
Betonové prefabrikáty (tvárnice) se používají na menších strmých svazích tzv. vertikálních, mezi které patří např. svahové kužely přiléhající k propustkům nebo opěrám mostů. Tvárnice se na povrch svahu kladou na sebe a otvory v nich se vyplňují humusem a osazují rostlinným materiálem např. osetí travním semenem, výsadbou vrbových řízků, osázením pnoucích výpěstků pokryvného charakteru (viz obr. č. 26), (Plášek a kol., 2004; Kudrna, 2011).



Obr. č. 26: Příklady cementobetonových zatravnovacích dílců (TP 53)

- **Celulární systémy**

Základem celulárního systému je prostorová struktura podobná včelí plástvi, která se obvykle vyrábí z polyetylenu tzv. geobuňka. Pokladené buňky na povrchu svahu jsou kotveny skobami ve tvaru J a vyplněny zrnitým materiálem. Předpokládá se ozelenění vegetací (viz obr. č. 27), (Plášek a kol., 2004).



Obr. č. 27: Geobuňka uložená na svahu (Plášek a kol., 2004)

4. Charakteristika studijního území

4.1 Studijní území

Studijní území se nachází 40 km jihovýchodně od Prahy ve Středočeském kraji v okresním městě Benešov uvnitř městského intravilánu na IV. tranzitním železničním koridoru, který protíná Českou Republiku od severní hranice s Německem až po jižní hranici s Rakouskem (viz obr. č. 28). Železniční trať zde byla vybudována a je využívána již od roku 1871 (www.koridory.cz).

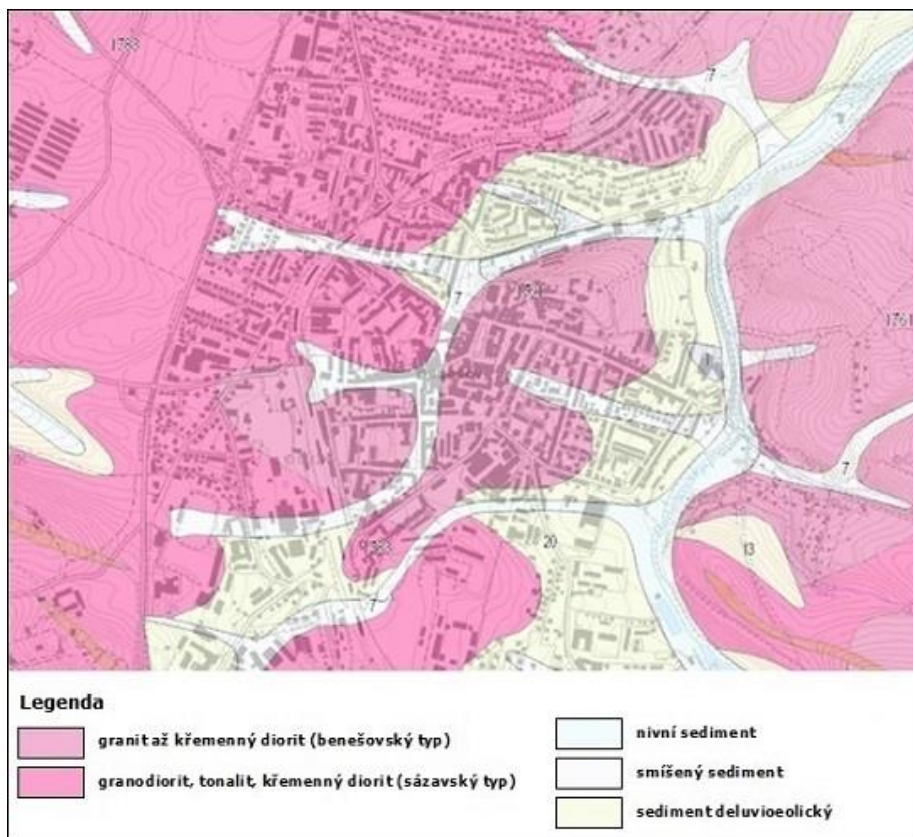
Dvojkolejná železniční trať je vedena zastavěným územím Benešova převážně v zářezech. Konkrétně sledovaný svah se nalézá v zářezu dlouhém zhruba 400 m v táhlé zatáčce před vjezdem do prostoru vlakového nádraží. Na koruně svahu se nachází místní komunikace s chodníkem, která je poměrně dopravně vytížená.



Obr. č. 28: Mapa čtvrtého železničního koridoru (URL 7)

Geologické podloží města Benešova a přilehlého okolí je součástí soustavy českého masivu a sestává převážně z prvohorních hornin karbonu a permu a kvartérních sedimentů kenozoika. Horniny jsou typu hlubinných magmatitů jako drobnozrný až středně zrnitý granit až křemenný diorit benešovského typu a granodiorit, tonalit a křemenný diorit sázavského typu. Sedimenty jsou nezpevněných typů jako nivní hlíny, písky a šterky, dále převážně jemnozrné smíšené sedimenty a

jemnozrnné až hrubozrnné hlíny a písky deluvioeolických sedimentů (viz obr. č. 29), (www.geology.cz).



Obr. č. 29: Benešov - geologická mapa (URL 8)

4.2 Praktický příklad havárie a následné sanace strmého svahu železničního koridoru

Vytrvalé červnové dešťové srážky po poměrně deštivém jaru v roce 2013 měly za následek na velké části České Republiky nasycení půdy vodou a rozvodnění toků s následným vznikem povodní, které způsobily mnohamilionové škody. Ačkoliv se v místě sledovaného území ani v blízkém okolí nenalézá vodní tok, červnové přívalové deště způsobily podmáčení a sesunutí svahu zářezu s částí chodníku v délce asi 30 m do prostoru zemního tělesa kolejiště (viz obr. č. 30). Příčina sesuvu však nebyla pouze v nadměrných srážkách, ale svůj podíl měly z dlouhodobého hlediska i další faktory. Významným faktorem bylo špatné respektive zcela nevyhovující odvedení srážkové vody z tělesa pozemní komunikace na koruně svahu do nezpevněného drážního příkopu na dně zářezu a dlouhodobé opakované působení vody na vnitřní strukturu zeminy způsobilo nestabilitu svahu. K částečnému zajištění sesouvajícího se svahu

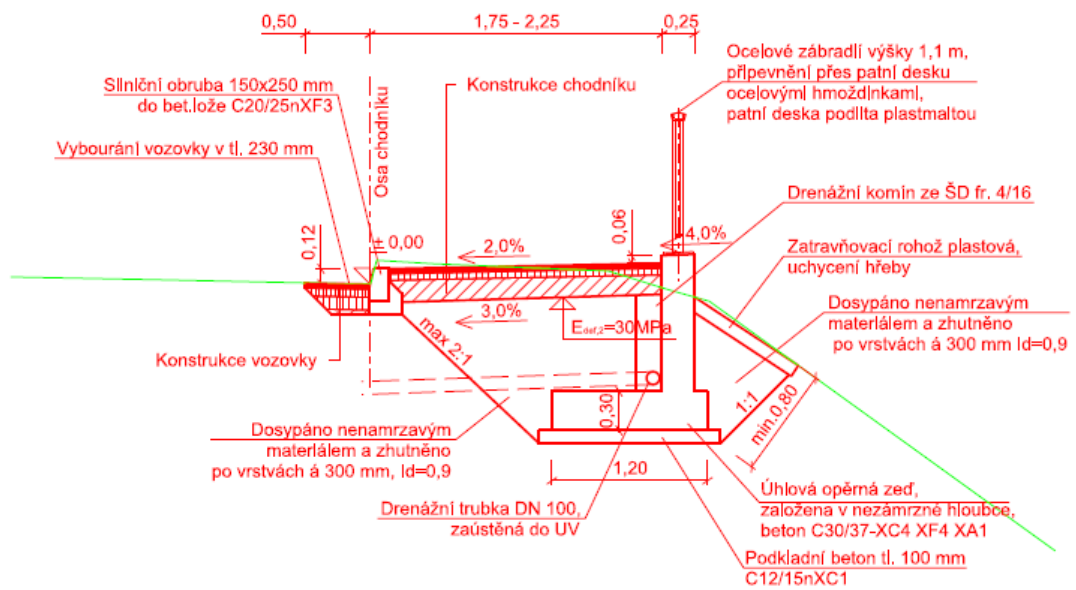
pomocí gabionových zídek vybudovaných u paty svahu se sice přistoupilo v rámci modernizace kolejového spodku při výstavbě IV. železničního koridoru již v roce 2007, ovšem v místě sledovaného svahu se jednalo pouze o částečné řešení (viz příloha č. 3), (www.koridory.cz).



Obr. č. 30: Benešov. Sesunutý svah s chodníkem. U paty svahu viditelná zídka z gabionů (URL 9)

K sesuvu došlo sice na relativně malé části zářezu v místě uliční vpusti svedené do zářezu, přesto bylo přistoupeno k sanaci celého svahu. Před samotnou opravou svahu byl proveden inženýrskogeologický průzkum, z něhož vyplynulo, že skalní podloží tvořené granodiority sázavského typu je při svém povrchu rozložené, mající charakter hrubozrnného hlinitého písku a mocnost intenzivně zvětralého reziduálního pláště kolísá podle mineralogického složení horniny a jejího rozpukání od 1,0 do 6,0 m. Podzemní voda je vázána na puklinový systém podloží s očekávanou hladinou v hloubce okolo 10 m pod povrchem. Na základě inženýrskogeologického průzkumu, statického výpočtu pro opěrnou zeď a s ohledem na ekonomickou stránku sanace, kde se přihlíželo především k co nejnižší ceně díla, byla vypracována projektová dokumentace (PD), podle které byla vybudována železobetonová opěrná úhlová zeď se zábradlím o délce 317 m k zajištění stability nově vybudovaného chodníku přilehlého k místní komunikaci (viz obr. č. 31 a 32). Dále byla k odvedení srážkových vod z části komunikace v místě sesuvu, vybudována podle PD nová uliční vpust'

s drenáží svedenou do nové vývarové jímký u paty svahu z kamene uloženého do betonového lože a z vývarišťe dále po skluzu z příkopových tvárnic do nezpevněného drážního příkopu na dně zářezu (viz obr. č. 33). Svah podél zdi a vývarové jímký byl zpevněn zatravňovacími rohožemi ukotvenými ke svahu hřeby (viz příloha č. 4 a 5). Jako základ zemní pláňe opěrné zdi tvoří zemina reziduálního pláště z ulehých hrubozrnných hlinitých písků dle normy ČSN 73 6133, o návrhu a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Míra zhutnění zeminy násypu je provedena dle normy ČSN 72 1006, o míře zhutnění zemin v tělese silničních komunikací (AF-CityPlan, 2013).



Obr. č. 31: Příčný řez opěrnou zdí dle PD (AF-CityPlan, 2013)



Obr. č. 32: Benešov. Nově budovaná opěrná úhlová zeď na koruně svahu (vlastní foto, březen 2014)



Obr. č. 33: Nově budovaná uliční vpust' (URL 10)

4.3 Vyhodnocení vhodnosti zvolené metody ochrany svahu s určitým časovým odstupem

Koruna zářezu nad tratí slouží zároveň jako zemní těleso pro komunikaci a použitá metoda sanace svahu v zajištění zemního tělesa opěrnou zdí byla v daném případě ideálním řešením. Po šesti měsících od ukončení sanace svahu zářezu jsou již obnažené plochy zemního tělesa přilehlé k opěrné zdi a pokryté travními rohožemi, porostlé zapojeným travním porostem a místy i nízkými křovinami (viz obr. č 34). Na první pohled provedený zásah do svahu již není patrný a při bližším zkoumání svah nevykazuje žádné známky narušení povrchových částí erozivním působením povětrnostních vlivů. Opěrná úhlová zeď zajistila dostatečnou stabilitu a bezpečnost pro chodce a pozemní dopravu na chodníku a přilehlé komunikaci. Odvodnění přes vývarovou jímku do drážního příkopu je plně funkční a povrchové vody z části chodníku a komunikace odtékají na dno zářezu. Jednotlivé prvky zabezpečení svahu se tak doplňují a jako celek tvoří nyní vyhovující ochranu svahu zářezu.



Obr. č. 34: Benešov. Sanovaný svah po šesti měsících (vlastní foto, říjen 2014)

5. Diskuse

Klimatické podmínky nebo geologický podklad ovlivnit nelze, naproti tomu lze vhodnými opatřeními upravit reliéf terénu, odolnost půdy proti vodě a vegetační pokryv. Opatřeními technického nebo biologického charakteru, zvláště pak jejich kombinacemi je možné vodní erozi omezit případně úplně zastavit (MD, 2003). Při celkovém srovnání jednotlivých metod ochrany svahů lze pozorovat, že řada autorů popisuje v odborných publikacích zabezpečení svahů obdobně. U většiny popisovaných postupů jsou tyto metody v praxi aplikovány po desetiletí v základu stejně. Spíše dochází k implementaci nových materiálů, postupně tak jak jsou vyvíjeny a ověřovány v praxi, a tím k vylepšování existujících metod.

Při sanaci havárie svahu vznikla paradoxní situace. Ačkoliv svah podél trati spravují Správa dopravní železniční cesty (SŽDC), vlastníkem komunikace, chodníku a pod ním ležícího pozemku je město Benešov a tíha oprav i se sanací svahu tedy ležela na městu. Otázkou je, mohlo-li se havárii předejít. O nestabilitě svahu narušovaného vodou z komunikace, kvůli špatnému odvodnění se vědělo již při budování železničního koridoru a SŽDC na havarijní stav upozorňovalo tehdejší vedení města, které však situaci neřešilo (Roman Tichovský, VII. 2013, in verb.).

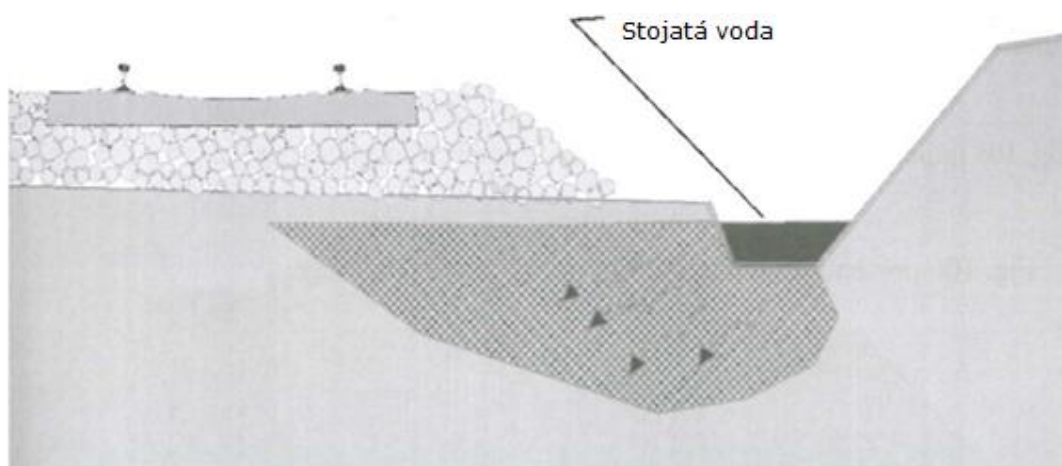
Z vyjádření Tichovského lze usuzovat, že sanace se prováděla pouze v takové míře, kterou dovolovaly finanční prostředky města. Dle mého názoru je to patrné v použití travních rohoží pouze v omezeném rozsahu podél zdi a vývarové jímky. Považuji to za ne úplně dostatečné a vhodnější by bylo pokrýt travními rohožemi celý svah a tím jej ochránit proti erozi celoplošně. Jak uvádí Fox (2011), nepředvídatelné přívalové deště mohou představovat větší riziko eroze půdy na nově vzniklých nechráněných plochách zemního tělesa. Bioinženýrský přístup v zatravnění může být účinným nástrojem pro řízení půdní eroze.

Další hledisko je i estetické. Svah v městském intravilánu by si zasloužil takovou úpravu, která by jej nejen ochránila, ale i začlenila z estetického pohledu do bytové zástavby, v které se nalézá.

Odvodnění části komunikace na dno zářezu nevidím také jako ideální. Svah je sice chráněn před srážkovou vodou z komunikace, ale naproti tomu se zase větší množství vody dostává a vsakuje do podloží zemního tělesa železniční trati, kde může ve spojení s faktorem času působit erozivně až destruktivně. Optimálnější by bylo ještě

u paty svahu zářezu vybudovat zpevněný drážní příkop nebo trativod a srážkové vody odvést mimo liniovou stavbu do recipientu. Tzanakakis (2013) ve své publikaci popisuje příklad pronikání stojaté vody z drážního příkopu do zemního tělesa trati. Pronikající voda způsobuje v podloží lokální změny tuhosti, které vedou v daném místě ke změkčení zeminy a deformacím kolejového svršku (viz obr. č. 35). Tlak vody v pórech a její únik v rámci náspu mohou zhoršit poruchy svahu. Změny ve stavu těchto materiálů s časem a rychlostí deformace mají zásadní vliv na bezpečný a efektivní provoz dopravního systému (Norris a kol., 2008).

Dalším možným řešením je vybudování kanalizačního řadu pod komunikací v zemním tělese, který dle starosty města Jaroslava Hlavničky (VII. 2013, in verb.) je plánován.



Obr. č. 35: Lokální pronikání stojaté vody z drážního příkopu do podloží trati (Tzanakakis, 2013)

6. Závěr

V závěru mé bakalářské práce lze shrnout, že způsoby protierozního zabezpečení svahů a odvodnění podél železničních liniových staveb vychází z dlouholetých a praxí ověřených metod. Nicméně rozvoj nových, především geosyntetických materiálů otevírá i nové možnosti na poli ochrany svahů, které vhodným způsobem doplňují nebo i nahrazují některé metody stávající. Používání nových materiálů je mnohdy levnější, provedená ochrana efektivnější a z estetického hlediska praktičtější při začlenění stavby do okolní krajiny. Samozřejmě neodmyslitelnou součástí protierozní ochrany je a vždy bude správně zapojený vegetační pokryv, který je na pomyslné příčce nejvýše.

Zabezpečování svahů zemních těles železničních tratí v České republice se v minulosti nevěnovala taková pozornost, jak by si zasloužily. Určitou zásluhu na tom měl v posledním čtvrtstoletí i příklon k silniční dopravě a tedy rozvoj a investice spíše směřovaly do budování dálniční sítě a rychlostních komunikací a železniční tratě byly tak trochu stranou. Význam železnice se ovšem dostává opět do popředí, zvláště s potřebou propojení železniční dopravy s okolními zeměmi a tím k zvyšování rychlostí a související výstavbou železničních koridorů na našem území.

Závěr ze zhodnocení důvodů sesuvu svahu je takový, že zde hrál vedle dlouhodobých nepříznivých povětrnostních podmínek roli i lidský faktor. Následně provedená sanace pomocí opěrné zdi byla v daném místě volena určitě správně. Koruna zářezu slouží zároveň jako zemní těleso pro komunikaci a opěrná zeď mu dodává potřebnou stabilitu. Vegetační ochrana svahu však mohla být řešena lépe.

Přínos mé bakalářské práce vidím ve dvou směrech. V případě konkrétně sledovaného svahu v Benešově, bych se zaměřil ještě na vhodné řešení odvodnění zemního tělesa železničního spodku a případně dodatečnou vegetační úpravu. A obecně v tom, že je třeba v případě jasných příznaků hrozícího nebezpečí sesunutí nestabilního svahu provádět včas nezbytné kroky k jeho stabilizaci. Zvláště, pokud je zde hrozba ohrožení lidských životů.

Problematiku řešení protierozní ochrany nelze v rozsahu této práce celkově obsáhnout, a proto navrhuji samostatné řešení tématu konkrétní protierozní ochrany svahu od zadání až po konečnou realizaci v diplomové práci dalšího vysokoškolského studia.

7. Použitá literatura a zdroje

Tuzemské

- **AF-CityPlan, 2013:** PD chodník ulice Hodějovského. *Benešov, online: https://ezak.benesov-city.cz/contract_display_137.html, cit. 12.2.2015.*
- **Brabenec P., 2007:** Protierozní ochrana strmých svahů, dálnice D11, Praha – Hradec Králové. *Geotechnika 1/2007: 41 – 42.*
- **Česká technická norma ČSN 72 1006,** o míře zhutnění zemin v tělese silničních komunikací.
- **Česká technická norma ČSN 73 6133,** o návrhu a provádění zemního tělesa pozemních komunikací.
- **Hubík P., 2007:** Realizace konstrukcí z vyztužené zeminy v České Republice. *Geotechnika 1/2007: 20 – 26.*
- **Hyrman J., 2009:** Posouzení stability svahu jílovitých zemin. *Bakalářská práce „nepublikováno“.* Dep.: Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno.
- **Janeček M. a kol., 2008:** Základy erodologie. *Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 180 s.*
- **Klimeš F., Vaverka J., Tyc P., Marek J., 1978:** Železniční stavitelství I. *SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 484 s.*
- **Koridory, 2015:** 4. koridor. *Železniční koridory. Web nejen o koridorech a vysokorychlostních tratích, online: <http://www.koridory.cz/archives/683/>, cit. 24.3.2015.*
- **Kubát B., Hřebačka M., Krejčířiková H., Šabach L., Tyc P., 1998:** Železniční stavby – projektování. *Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 176 s.*
- **Kubát B., Týfa L., 2003:** Železniční tratě a stanice. *ČVUT, Praha, 208 s.*
- **Kučera V., 2009:** Architektura inženýrských staveb. *Grada Publishing, Praha, 320 s.*
- **Kudrna J., 2011:** Zemní práce. *Brno, online: http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/Zemni_prace.pdf, cit. 3.12.2014.*
- **MD, 1997:** Vysazování a ošetřování silniční vegetace. Technické podmínky. TP 99. *Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno, 146 s.*
- **MD, 2003:** Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky. TP 53. *Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno, 52s.*

- **Mencl V., 1966:** Mechanika zemin a skalních hornin. *Academia, Praha*, 329 s.
- **Plášek O., Zvěřina P., Svoboda R., Mockovčiak M., 2004:** Železniční stavby – železniční spodek a svršek. *Akademické nakladatelství CERM, Brno*, 291 s.
- **Rybář J., 2004:** Sesuvy a jiné nebezpečné svahové pohyby na území České Republiky. *Československý časopis pro fyziku 4/2004*: 254 – 257.
- **Řejha M., 2007:** Protierozní ochrana zemních těles a svahů. *Geotechnika 1/2007*: 38 – 41.
- **Řejha M., 2010:** Vyztužené zeminové konstrukce. *Pardubice, online: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2010/20pr.pdf>*, cit. 23.3.2015.
- **Šedivý M., Kropáček A., 1998:** Nástin geotechnických problémů při modernizaci železničních koridorů. *Geotechnika 2/98*: 3 – 6.
- **Zákon č. 266 / 1994 Sb.,** o drahách, v platném znění.
- **Zákon č. 183 / 2006 Sb.,** o územním plánování a stavebním řádu, v platném znění.

Zahraníční

- **Cazzuffi D., Cardile G., Giofrè D., 2014:** Geosynthetic engineering and vegetation growth in soil reinforcement applications. *transportation infrastructure geotechnology 3/2014*: 262 – 300.
- **Flat Z., Kačo I., Hýbal L., 1989:** Dopravné staviteľstvo II. *Alfa, Bratislava*, 277s.
- **Fox J L., 2011:** Evaluation of different seed mixtures for grass establishment to mitigate soil erosion on steep slopes of railway batters. *Journal of irrigation and drainage engineering 9*: 624 - 631.
- **Gray D. H., Sotir R. B., 1996:** Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. *John Wiley & Sons, New York* 378 s.
- **Chenuk C. Y., Ng C. W. W., Sun H. W., 2005:** Numerical experiments of soil nails in loose fill slopes subjected to rainfall infiltration effects. *Comuters and Geotechnics 32/2005*: 290 – 303.
- **Jurda K., Drahoš M., 1989:** Železničný spodek a svršok II. *Nakladatelství dopravy a spojů, Praha*, 264 s.
- **Mickovski S. B., Bengough A. G., Bransby M. F., Davies M. C. R., Hallett P. D., Sonnenberg R., 2007:** Material stiffness, branching pattern and soil matric

potential affect the pullout resistance of model root systems. *European Journal of Soil Science* 58/2007: 1471 – 1481.

- **Morgan R. P. C., Rickson R. J., 1995:** Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. *E & FN Spon, London, 274 s.*
- **Norris J. E., Greenwood J. R., 2008:** An introduction to types of vegetated slopes. In: Norris J. E., Stokes A., Mickovski S. B., Cammeraat E., van Beek R., Nicoll B. C., Achim A. [eds]: Slope stability and erosion control: Ecotechnological solutions. *Springer, Dordrecht, 9 – 15.*
- **Tzanakakis K., 2013:** The railway track and its long term behaviour: a handbook for a railway track of high quality. *Springer, Berlin, 414 s.*

8. Seznam obrázků a příloh

Obrázky

Obr. č. 1: Typy zemního tělesa železniční trati.....	11
Obr. č. 2: Zemní těleso ve styku s vodotečí	15
Obr. č. 3: URL 1: Rovnanina z betonových prvků (online) [cit. 2015.04.04], dostupné z < http://tvstav.cz/clanek/409-tri-lock-jedinecne-reseni-pro-zpevneni-brehu-potoku-a-rek >	16
Obr. č. 4: URL 2: Ochrana železničního náspu pomocí textilních matrací (online) [cit. 2015.04.04], dostupné z < http://www.geosyntetika.cz/new/nabizene-materialy.php?p=14&p2=58&p3=62 >.....	16
Obr. č. 5: Vázaná drátokamenná matrace	18
Obr. č. 6: Drátokamenný koš ze svařovaných sítí.....	18
Obr. č. 7: URL 3: Nábřežní zeď (online) [cit. 2015.04.04], dostupné z < http://www.cht-pce.cz/mostni-stavby/realizace-protipovodnovych-opatreni-a-odstraneni-povodnovych-skod/odstraneni-povodnovych-skod-na-trati-040-chlumec-nad-cidlinou-trutnov/ >	19
Obr. č. 8: Hřebíkový svah s obkladem ze stříkaného betonu.....	19
Obr. č. 9: Ochrana skalního svahu před zvětráváním	21
Obr. č. 10: Obkladní zeď ve skalním odřezu a kotvená obkladní zeď.....	21
Obr. č. 11: Ochrana skalních svahů plombováním dutin.....	22
Obr. č. 12: Druhy kotev ke kotvení hornin	23
Obr. č. 13: URL 4: Zárubní zeď ve Zbirohu (online) [cit. 2015.04.04], dostupné z < http://www.cdvuz.cz/model/ >.....	24
Obr. č. 14: URL 5: Zárubní zeď z pilot (online) [cit. 2015.04.04], dostupné z < http://www.vrtanepiloty.cz/?author=1 >.....	25
Obr. č. 15: Příklady použití prefabrikátů pro opěrné a zárubní zdi	25
Obr. č. 16: Opěrné zdi z úhlových dílců	26
Obr. č. 17: Opěrné zdi lehké	27
Obr. č. 18: Opěrná zeď s lícem z betonových panelů kotvená do vyztužené zeminy – zářez u Mlčechvost.....	28
Obr. č. 19: Nezpevněný a zpevněný příkop	29
Obr. č. 20: Trativodní výust'	30
Obr. č. 21: Svahové odvodňovací žebro zaústěné do zpevněného drážního příkopu	31
Obr. č. 22: URL 6: Hydroosev - aplikace (online) [cit. 2015.04.05], dostupné z < http://hydro.nana.sk/ >	35
Obr. č. 23: Zpevnění svahu plůtky.....	36
Obr. č. 24: Detail prorůstání vegetace protierozní georochozí	37
Obr. č. 25: Rohože z kokosových vláken.....	38
Obr. č. 26: Příklady cementobetonových zatravňovacích dílců.....	39
Obr. č. 27: Geobuňka uložená na svahu.....	39

Obr. č. 28: URL 7: Mapa čtvrtého železničního koridoru (online) [cit. 2015.03.25], dostupné z < http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Ctvrty%C3%BD_%C5%BEelezni%C4%8Dn%C3%AD_koridor#/media/File:Ctvrty_zeleznicni_koridor.svg >.....	40
Obr. č. 29: URL 8: Benešov - geologická mapa (online) [cit. 2015.03.25], dostupné z< http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=728500&x=1079300&r=2000&s=1&legselect=0 >	41
Obr. č. 30: URL 9: Benešov. Sesunutý svah s chodníkem. U paty svahu viditelná zídka z gabionů (online) [cit. 2014.12.07] < http://www.denik.cz/galerie/hodsesuv.html?mm=4607508 >	42
Obr. č. 31: Příčný řez opěrnou zdí dle PD	43
Obr. č. 32: Benešov. Nově budovaná opěrná úhlová zeď na koruně svahu	44
Obr. č. 33: URL 10: Nově budovaná uliční vpust' (online) [cit. 2014.12.07], dostupné z < http://www.jiskra-benesov.cz/clanek/oprava-chodniku-v-hodejovskeho-ulici-4257 >	44
Obr. č. 34: Benešov. Sanovaný svah po šesti měsících	45
Obr. č. 35: Lokální pronikání stojaté vody z drážního příkopu do podloží trati.....	47

Přílohy

Příloha č. 1: Ochrana skalního svahu pomocí kotev a sítí	544
Příloha č. 2: Drážní příkop z prefabrikátů u paty svahu chráněného geotextilií	544
Příloha č. 3: URL 4: Benešov 2007. Budované zídky z gabionů podél nového železničního koridoru (online) [cit. 2015.03.24], dostupné z < http://www.koridory.cz/storage/Alba_BN-Bedrc/22_08_2007/slides/P1000604.html >.....	555
Příloha č. 4: Benešov. Vyústění drenážní trubky do vývarové jímky u paty svahu	555
Příloha č. 5: Benešov. Zpevněný svah u opěrné zdi travními georohožemi.....	566

9. Přílohy



Příloha č. 2: Ochrana skalního svahu pomocí kotev a sítí (Plášek a kol., 2004)



Příloha č. 1: Drážní příkop z prefabrikátů u paty svahu chráněného geotextilií (Plášek a kol., 2004)



Příloha č. 3: Benešov 2007. Budované zídky z gabionů podél nového železničního koridoru (URL 3)



Příloha č. 4: Benešov. Vyústění drenážní trubky do vývarové jímky u paty svahu (vlastní foto, březen 2014)



Příloha č. 5: Benešov. Zpevněný svah u opěrné zdi travními georožemi (vlastní foto, březen 2014)