

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL

**METODY PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ
NA STRMÝCH SVAZÍCH
DÁLNIČE D3 V ČESKÉ REPUBLICCE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

Autor: Lucie Solnařová

Praha 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Solnařová

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Metody protierozních opatření na strmých svazích dálnice D3 v České republice

Název anglicky

Erosion Control Measures for Steep Slopes on the Motorway D3 in the Czech Republic

Cíle práce

Cílem práce je nejprve formou rešerše poskytnout teoretický podklad pro proces eroze, konkrétně vodní eroze. Dále práce popíše technologie a metody, které jsou využívány k protierozní ochraně strmých svahů při výstavbě dálnic v České republice. Praktická část práce je věnována popisu a diskuzi konkrétních technologií na úseku dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek.

Metodika

Bakalářská práce bude pojata formou literární rešerše. Na základě odborných konzultací budou shromážděna data k popisu eroze a protierozních opatření na strmých svazích obecně a následně konkrétně na svazích dálnice D3 v úseku 0309/II Ševětín – Borek. Dále budou sebraná data doplněna o komentář odborníků z praxe.

Doporučený rozsah práce

dle Nařízení děkana č. 1/2020 – Metodické pokyny pro zpracování bakalářské práce na FŽP

Klíčová slova

kontrola eroze půdy, povrchový odtok, ztráta půdy, pozemní komunikace

Doporučené zdroje informací

- MINISTERSTVO DOPRAVY, ODBOR POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ, 2003: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Informační portál Politiky jakosti pozemních komunikací (online) [cit. 2020.11.05], dostupné z: <http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_53.pdf>
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 2012: Cost-effective and sustainable road slope stabilization and erosion control. Synthesis 430. Transportation research board, Washington D. C., 71 s.
- SEUTLOALI, K. E., BECKEDAH, H. R., 2015: A review of road-related soil erosion: An assessment of causes, evaluation techniques and available control measures. Earth sciences research journal vol. 19 No. 1.: 73-80
- SHRÖFEL J., 2012: Technicko-biologické způsoby stabilizace terénu. Projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací. Praha, 38 s
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2021

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vědo uci kate dry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Dě kan

V Praze dne 14. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Metody protierozního opatření na strmých svazích dálnice D3 v České republice“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 29. března 2021

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda vyjádřila své poděkování vedoucí práce Ing. Janě Kalibové, Ph.D., za trpělivost, cenné rady a připomínky. Dále zaměstnancům EUROVIA CS, a.s. – závod Praha východ za ochotu a cenné informace. V neposlední řadě bych ráda poděkovala mé rodině, že mi po celou dobu byli oporou.

Abstrakt

Strmé svahy podél silnic a dálnic jsou místem, které je velmi náchylné k erozi. Proto, abychom erozi předcházeli, je nutné zajistit na těchto svazích vhodná protierozní opatření. Hlavním cílem této práce je popsat současné metody protierozního opatření na strmých svazích.

Součástí práce je stručný popis eroze, respektive vodní eroze. Dále jsou nastíněna protierozní opatření na zemědělských a mimoprodukčních pozemcích. Praktická část je zaměřena konkrétně na strmé svahy úseku dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek.

Diskuse se zabývá vybranými protierozními opatřeními na vybraném úseku dálnice. Velká část diskuse je věnována tzv. armovanému svahu a jeho využití. Pro správný výběr protierozního opatření je nejdůležitější hydrogeologický průzkum a technologicky správný postup při aplikaci opatření.

Klíčová slova: kontrola eroze půdy, povrchový odtok, ztráta půdy, pozemní komunikace

Abstract

Steep slopes along roads and motorways are very prone to erosion. Therefore, in order to prevent erosion, it is necessary to ensure appropriate erosion control measures for these slopes. The main goal of this work is to describe current methods of erosion control measures for steep slopes.

Part of the work is a brief description of erosion, respectively water erosion. Furthermore, anti-erosion measures on agricultural and non-productive land are outlined. The practical part is focused specifically on the steep slopes of the section of the motorway D3 0309/II Ševětín – Borek.

The discussion deals with selected erosion control measures on a selected section of the motorway. A large part of the discussion is devoted to the reinforced slope and its use. Hydrogeological research and the technologically correct procedure for applying the measures are most important for the correct selection of the erosion control measure.

Key words: soil erosion control, surface runoff, soil loss, roads

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle	2
3. Metodika	2
4. Eroze	2
5. Protierozní opatření	5
5.1 Organizační protierozní opatření	6
5.2 Agrotechnická protierozní opatření	6
5.3 Technická protierozní opatření	7
6. Protierozní opatření na strmých svazích	7
6.1 Technická protierozní opatření na strmých svazích	8
6.1.1 Geotextilie	8
6.1.2 Geomříže	10
6.1.3 Georohože	11
6.1.4 Geobuňky	12
6.1.5 Gabiony	13
6.2 Vegetační protierozní opatření na strmých svazích	14
7. Protierozní opatření na strmých svazích dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek.....	16
7.1 Popis stavby	16
7.2 Charakteristika území	18
7.3 Protierozní opatření strmých svahů zájmového úseku.....	18
7.3.1 Technická protierozní opatření strmých svahů zájmového úseku.....	18
7.3.2 Vegetační protierozní opatření strmých svahů zájmového úseku.....	34
8. Diskuse.....	39
9. Závěr	42
10. Seznam použité literatury.....	43
11. Seznam obrázků.....	47
12. Seznam rovnic.....	49

13. Seznam tabulek	50
--------------------------	----

1. Úvod

Intenzita výstavby silnic a dálnic se v posledních desetiletích po celém světě významně zvýšila, aby uspokojila požadavky rostoucí lidské populace, což vedlo k vážným problémům s erozí půdy. Pro komplexní rozhodnutí v oblasti obhospodařování půdy je zásadní přezkoumání prací provedených za účelem vyhodnocení eroze půdy v důsledku stavby silnic. Literatura ukazuje, že stavba silnice vede k úpravě profilu svahu, respektive k odstranění vegetačního krytu. Především strmé svahy jsou za těchto podmínek náchylné k silné erozi (SEUTLOALI a BECKEDAHL, 2015).

V rešeršní části práce jsou popsány typy eroze, zejména potom vodní eroze, její možné příčiny a následky, jak popisuje JANEČEK (2008), MORGAN (2005), HOLÝ (1994). Dále následuje popis určení ohroženosti půdy vodní erozí a některé nástroje pro její výpočet.

Další kapitola se věnuje protierozním opatřením. Protierozní opatření jsou rozdělena dle využití na zemědělských pozemcích a mimoprodukčních pozemcích (především strmé svahy podél liniových staveb/komunikací). Na zemědělských pozemcích jsou opatření rozdělena dle JANEČKA (2012) na technická, agrotechnická a opatření organizační. Na mimoprodukčních pozemcích jsou protierozní opatření rozdělena na opatření technická a vegetační.

Práce je zaměřena na protierozní opatření na mimoprodukčních pozemcích, respektive na strmých svazích. Výstavba nových úseku dálnic vede ke změně a úpravě přirozených profilů svahů a tím mění celkový vzhled krajiny. Při úpravě svahů dochází k sejmutí stávající vegetace a ponechání povrchu svahu bez ochrany, což výrazně zvyšuje riziko eroze (NCHRP, 2012).

Konkrétním příkladem, kde byla využita protierozní opatření na strmých svazích, je stavba nového úseku dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek (2017-2019). Pro tuto práci byl vybrán právě tento úsek, jelikož je to jeden z nejnověji dokončených úseků v České republice, kde nedocházelo pouze k modernizaci povrchu silnice, ale k celkové novostavbě jak povrchu, tak okolních objektů. Tento úsek se během výstavby potýkal s problematickými mikrosesuvy půdy způsobenými vodní erozí. Tyto mikrosesuvy byly vyřešeny umístěním lokálních a plošných sanačních žebor (SOLNAŘ, 2020). Zajímavostí daného úseku je armovaný svah, který byl vytvořen za pomoci geomříží a výsadbou popínavých rostlin. Diskuse je věnována právě

konkrétním protierozním opatřením na vybraném území se zaměřením na armovaný svah.

2. Cíle

Cílem práce je nejprve formou rešerše poskytnout teoretický podklad pro proces eroze, konkrétně vodní eroze. Dále práce popíše technologie a metody, které jsou využívány k protierozní ochraně strmých svahů při výstavbě dálnic v České republice. Praktická část práce je věnována popisu a diskusi konkrétních technologií na úseku dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek.

3. Metodika

Bakalářská práce bude pojata formou literární rešerše. Na základě odborných konzultací budou shromážděna data k popisu eroze a protierozních opatření na strmých svazích obecně a následně konkrétně na svazích dálnice D3 v úseku 0309/II Ševětín – Borek. Dále budou sebraná data doplněna o komentář odborníků z praxe.

4. Eroze

Tato kapitola se bude věnovat erozi obecně. Slovo "eroze" pochází z latiny a je odvozené od slova "erodere", což znamená rozhlodávat. Proces eroze je definován třemi dílčími procesy. Nejprve dochází k rozrušení půdního povrchu, dále dochází k transportu a sedimentaci uvolněných půdních částic za působení vody, nebo jiných erozních činitelů (JANEČEK a kol., 2008). Mezi další typy eroze podle erozního činitele patří eroze větrná, sněhová, ledová, gravitační a tektonická.

Erozi rozdělujeme dále na normální a zrychlenou. Normální erozi lze charakterizovat jako proces, při němž je ztráta půdy v rovnováze s půdotvorným procesem, probíhá postupně a pro člověka je skoro nepozorovatelná. Zrychlená eroze způsobuje smyv půdních částic v tak velkém rozsahu, že nemůže být nahrazen během půdotvorného procesu (JANEČEK a kol., 2008).

Dále lze erozi dělit dle formy. HOLÝ (1994) uvádí erozi plošnou, výmолnou a proudovou. V tomto případě se jedná o erozi způsobenou kinetickou energií deště a následně unášením silou povrchového odtoku. Překročí-li intenzita deště intenzitu infiltrace dešťové vody do půdy, nastává povrchový odtok. Nejprve jsou odnášeny nejmenší půdní částice, s rostoucí unášecí silou povrchového odtoku (tangenciálním napětím) jsou unášeny částice větších rozměrů. Proto je tento proces plošné eroze

někdy nazýván selektivní eroze. V důsledku soustředování odtoku se postupně začínají vytvářet mělké rýhy a zářezy, které se v závislosti na délce, sklonu svahu a množství vody postupně prohlubují. Tento stupeň eroze se nazývá výmolná eroze, která se dále dělí na rýžkovou a brázdovou erozi. Následně přechází v erozi rýhovou, s ní jsou spojeny hlubší rýhy. Nejnebezpečnější je eroze stržová, vzniká po koncentraci velkého množství vody, kdy se prohlubují rýhy až na několik metrů. Profil těchto rýh je ve tvaru písmene V nebo U, podle geologického podloží. Proudová vodní eroze probíhá působením vodního proudu ve vodních tocích. Pokud je rozrušováno dno toku, jedná se o erozi dnovou, pokud jsou rozrušovány břehy, jde o erozi břehovou. Nejvíce se proudová eroze projevuje v bystřinách (HOLÝ, 1994).

JANEČEK (2008) uvádí, že vznik, průběh a intenzita eroze je dána kombinací přírodních podmínek a působením člověka. Takovými podmínkami jsou podmínky klimatické a hydrologické (zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství, rozdělení a intenzita srážek, teplota, oslunění, výpar, odtok, výskyt, směr a síla větrů), morfologické (sklon území, délka a tvar svahu, expozice, návětrnost), geologické a půdní (povaha horninového substrátu, půdní druh a typ, textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu), vegetační (hustota a délka trvání pokryvu). Takové podmínky se řadí do land cover. Působením člověka na půdu je například způsob využívání a obhospodařování půdy (poloha a tvar pozemků, směr obdělávání, střídání plodin) neboli land use.

Také MORGAN (2005) uvádí, že míra eroze je dána četností a intenzitou srážek, délkou a sklonem svahu a pokryvem vegetací. Dá se předpokládat, že eroze se bude zvyšovat se zvýšením strmosti a délky svahu. Avšak pokud se zvětšuje délka a snižuje sklon svahu, může být infiltrace vody do půdy větší, čímž se snižuje tvorba povrchového odtoku.

Eroze půdy je jednou z nejzávažnějších forem degradací půd, jelikož ochuzuje půdu o nejdůležitější část, a to ornici. Eroze půdy zvyšuje šterkovitost, způsobuje ztráty živin, humusu, osiva a sadby, a zhoršuje podmínky pro pohyb mechanizace.

Vlivem dřívějších trendů minulého režimu bylo kvůli intenzivnímu zemědělství zorněno mnoho nevhodně položených pozemků. Podstatný úbytek luk a pastvin ve prospěch orné půdy, scelování pozemků do obrovských celků a v řadě zemědělských oblastí i stoprocentní zornění půdního fondu je tak příčinou enormního nárůstu vodní eroze. V současné době je tak vodní erozí ohroženo více než 50 % výměry orné půdy (MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2017). To ve svém důsledku představuje podstatné snížení výnosů, významně pozměněný koloběh živin v půdě, zásadní snížení obsahu organických látek, prunik cizorodých látek a výrazné

ovlivnění kvality podzemních a povrchových vod. Problém eroze zemědělsky využívaných půd je problémem celosvětovým, který má za následek každoroční úbytek tisíců km² zemědělské půdy (JANEČEK a kol., 2008).

Během posledních desetiletí vzniklo několik modelů pro výpočet eroze. V rámci pozemkových úprav je důležité vyhodnotit úroveň erozní ohroženosti, např. za použití rovnice USLE (Univerzální rovnice ztráty půdy). Jedná se o součin šesti faktorů, které nejvíce erozi ovlivňují a vychází z principu přípustné ztráty půdy z jednotkového pozemku, jehož délka je 22,13 m a sklon 9 %. Povrch je bez vegetace a vždy po přívalem dešti kypřen. Vypočtená hodnota z rovnice USLE udává množství půdy, které může být v dlouhodobém měřítku za daných podmínek z pozemku uvolněno vodní erozí (PODHRÁZSKÁ a kol., 2015). Tento model je v literatuře již velmi podrobně popsán, a i když vznikl z dat pořízených v USA, je využíván, tak jako revidovaná RUSLE, po celém světě (HAJIGHOLIZADEH a kol., 2018).

Dle JANEČKA a kol., 2012, je níže uvedena rovnice USLE (Rovnice 1) a popis jednotlivých faktorů:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

Rovnice 1: Rovnice USLE (JANEČEK a kol., 2012)

kde

G je průměrná dlouhodobá ztráta půdy [t·ha⁻¹·rok⁻¹];

R je faktor erozní účinnosti deště, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů [MJ·ha⁻¹·cm·h⁻¹·rok⁻¹];

K je faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a skruktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu [t·h·MJ⁻¹·cm⁻¹];

L je faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí;

S je faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí;

C je faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice;

P je faktor účinnosti protierozních opatření.

Pokud je průměrná dlouhodobá ztráta půdy překročena dlouhodobou přípustnou ztrátou půdy, nedochází ke zrychlené erozi, a tudíž jsou zachovány funkce půdy a její úrodnost. Faktorem rovnice, který lze ovlivnit a snížit riziko vodní eroze, je faktor délky svahu (L), kdy je možné svah přerušit, např. průlehem nebo cestou. Dále je možné ovlivnit faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu (C), např. protierozními osevními postupy. V neposlední řadě je možné ovlivnit faktor

účinnosti protierozních opatření (P), například vrstevnicovým obděláváním, důlkováním. Lze ovlivnit i K a S, ale je to finančně i technologicky příliš náročné (MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2017).

Další možností je využití nástrojů geografických informačních systémů (GIS), díky kterým je možné navrhnout technické protierozní opatření. Příkladem takových metod jsou: USLE s podporou GIS, matematické simulační modely EROSION-3D, SMODERP, WEPP nebo HydroCAD (DOSTÁL a kol., 2014).

Výbornou aplikací rovnice USLE a nástrojů GIS je vytvoření mapy erozní ohroženosti, kterou si lze prohlédnout na <http://geoportal.vumop.cz>. Součástí této webové stránky je také Protierozní kalkulačka, kde je možné sestavit si vlastní vhodný osevní postup nebo analyzovat erozní ohroženost pro daný pozemek (VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, 2021).

Jelikož se tato práce zabývá hlavně svahy a násypy, je důležité dodat i poznatek ze studie od XU a kol. (2009), kde autoři zkoumali účinky intenzity srážek a délky svahu na povrchový odtok a ztrátu půdy. V této studii na konkrétních svazích u dálnice bylo zjištěno, že celkový odtok, ztráta půdy i půdy koncentrace sedimentu klesaly s rostoucí délkou svahu. Dále ARNAU-ROSALÉN a kol. (2008) uvádí, že v jejich výzkumu, se srážky vsakují lépe uprostřed svahu, kde je vegetace než na horním a dolním okraji, kde se vyskytovalo více hornin. U dolního okraje se vlivem gravitace vyskytovaly větší kusy hornin.

5. Protierozní opatření

Tato kapitola bude obecně věnována protierozním opatřením. Tato opatření se liší podle toho, jestli jsou využita na zemědělských produkčních plochách nebo na mimoprodukčních plochách (strmých svazích podél komunikací, stavenišť apod). Nejprve budou popsána protierozní opatření na zemědělských plochách.

Nejúčinnějšími opatřeními jsou ta, která podporují obnovení vegetace, sníží rychlost a množství odtoku vody (SEUTLOALI a BECKEDAHN, 2015). Přehled protierozních opatření dle ČSN 75 4500 protierozní opatření zemědělské půdy najdeme v Tabulce 1.

Typ opatření	Druh opatření	Vliv na faktor USLE
Opatření organizační	Protierozní rozmíst'ování plodin	C
	Pásové střídání plodin	C, P (dodržení náv.. parametrů)
	Delimitace kultur	C
	Tvar a velikost pozemků	L
Opatření agrotechnická	Protierozní agrotechnika, tj. zejména zpracování a příprava půdy, setí, hrázkování, důlkování, mulčování, sklizeň a nakládání s posklizňovými zbytky	C, P
Opatření technická	Terénní urovnávky	S
	Terasy	S, L
	Příkopy	L
	Průlehy	L
	Vsakovací pásy	L
	Sedimentační pásy	L
	Zatravněné údolnice	C (pouze místně)
	Ochranné hrázky	L
	Asanace erozních výmolů a strží	Vyloučí erozi
	Ochranné nádrže	Lokální opatření
	Polní cesty s protierozní funkcí	L

Tabulka 1: Protierozní opatření zemědělské půdy (ČSN 75 4500)

5.1 Organizační protierozní opatření

Ochranná funkce organizačních opatření je dána rozdílnou půdoochrannou funkcí pěstovaných plodin a kultur. Pěstování plodin pro plnění funkce protierozního opatření je definováno speciálními osevními postupy, pásovým střídáním plodin, ochranným zatravněním a dalšími nástroji pozemkových úprav v závislosti na morfologii území (HŮLA a kol., 2003). Pásové střídání plodin znamená, že se střídají různě široké pásy erozně nebezpečných plodin (např. kukuřice, brambory) a plodin s vyšším protierozním účinkem (např. obilniny, pícniny). Tyto pásy je nutné vést ve směru vrstevnice. Zásady ochrany proti vodní erozi pomocí organizačních opatření vycházejí ze znalosti příčin eroze. Je důležité navrhnout vhodné umístění erozně nebezpečných rostlin na erozně neohrožených pozemcích, a naopak silně erozně ohrožené pozemky nejlépe zatravnit a pravidelně sekat. Dalším důležitým krokem je včasný výsev plodin (JANEČEK a kol., 2012).

5.2 Agrotechnická protierozní opatření

Hlavním agrotechnickým opatřením je ochranné obdělávání, které se vyznačuje řadou technologických postupů s ponecháním minimálně 30 % posklizňových zbytků na povrchu půdy, tzv. mulčování. Mezi jednotlivé typy opatření se řadí výsev do ochranné plodiny, výsev do strniště, výsev do hrubé brázdy, důlkování, mulčování a hloubkové kypření místo orby (HŮLA a kol., 2003). Velmi

vhodná je také orba po vrstevnici za pomoci otočných pluhů, které překlápějí půdu proti svahu. To napomáhá také omezit erozi orbou (MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2017).

5.3 Technická protierozní opatření

Technická protierozní opatření se využívají jako doplněk k agrotechnickým a organizačním opatřením. Samostatně je lze využít v erozně méně ohrožených oblastech s intenzivním zemědělským využitím nebo v blízkosti obcí a měst (KOUKALOVÁ a ULÍŘOVÁ, 2008). Typy technických protierozních opatření jsou například průlehy, což jsou mělké široké příkopy s mírným sklonem svahů. Průlehy jsou rozlišeny na záchytné a svodné (JANEČEK a kol., 2012). Mezi další typy opatření patří terénní urovnávky, terasy, příkopy, vsakovací pásy, sedimentační pásy, zatravněné údolnice, ochranné hrázky, sanace erozních výmolů a strží, ochranné nádrže a polní cesty s protierozní funkcí (KADLEC a kol., 2014). Ochrannou funkcí těchto opatření je snížení erozního účinku proudící vody zmenšením sklonu, zkrácením délky povrchového odtoku po pozemku. Dále jeho usměrnění a neškodné odvedení včetně smyté zeminy (HŮLA a kol., 2003).

Tato opatření mají však jen limitovanou funkci – nejsou schopna řešit plošnou erozi. Mohou fungovat jako prvek zkracující délku svahu, což přináší pozvolný smyv půdy, který dále vede k zanášení příkopů a nádrží splaveninami. To znamená častější údržbu, která je finančně nákladná (KOUKALOVÁ a ULÍŘOVÁ, 2008).

Technická protierozní opatření se u nás nejčastěji řeší v rámci pozemkových úprav. Pozemkové úpravy představují šanci, jak z velké části vyřešit problematiku eroze a povodní. Výhodou je, že pozemkové úpravy jsou plně hrazené státem, na rozdíl od okolních států, kde si na ně vlastníci musí přispět z vlastních zdrojů (KADLEC a kol., 2012).

6. Protierozní opatření na strmých svazích

Tato kapitola je věnována hlavnímu tématu této práce. Protierozní opatření na strmých svazích jsou specifická tím, že jde většinou o malou délku svahu s vysokým sklonem. Rozhodujícími faktory pro posouzení vhodnosti použití protierozní ochrany jsou dle KAŠPÁRA (2011) intenzita namáhání (četnost srážek, rychlost proudění povrchového odtoku), druh, struktura a vlastnosti zemin, hustota a typ vegetačního pokryvu, sklon a délka svahu. Dle Technických podmínek 53 (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003) je také nutné zjistit, na jakou světovou stranu

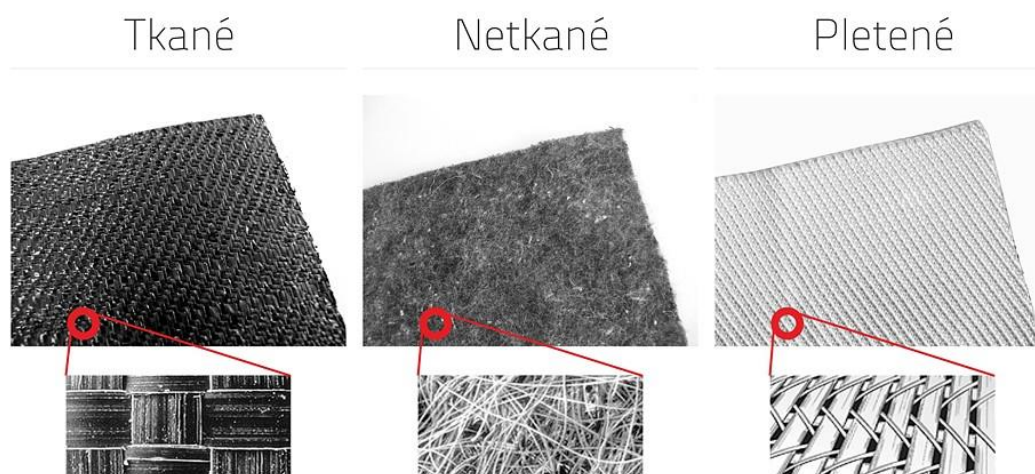
je svah umístěn (expozice). S tím souvisí rozdílné světelné podmínky i teplotní rozdíly. Důležité je nejen vybrat správné opatření, ale také dodržet technologický postup při implementaci. V rámci zjednodušení jsou kombinovaná opatření zahrnuta do podkapitoly 6.1 Technická protierozní opatření na strmých svazích.

6.1 Technická protierozní opatření na strmých svazích

Následující podkapitoly popisují jednotlivá technická protierozní opatření na strmých svazích. Pro tuto práci byla vybrána nejpoužívanější protierozní opatření dle Technických podmínek 53 (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003).

6.1.1 Geotextilie

Geotextilie se ve stavebnictví využívají velmi často. Používají se k oddělení (separaci) vrstev ze sypkých materiálů od zeminy, k ochraně drenáží před zanesením zeminou (filtrace), nebo k ochraně a vyztužování svahů. Plošné geotextilie jsou vyrobeny z nití nebo ze svazků vláken. Podle způsobu výroby dělíme geotextilie na tkané, netkané a pletené (Obrázek 1). Tkaná geotextilie je vhodná pro všechny typy použití. Netkané geotextilie je vhodná především pro filtraci a separaci. Právě tento typ geotextilie se nejčastěji používá ve stavebnictví a dopravní infrastruktuře (GEOMAT, 2021a).



Obrázek 1: Typy geotextilií (GEOMAT, 2020)

Protierozní geotextilie mohou být vyrobené ze syntetických nebo přírodních materiálů. Syntetické geotextilie jsou vyrobeny z polypropylenu nebo polyesteru a používají se k trvalé ochraně folií uložených v zemi při stavbě silnic a železnic (LITHOPLAST, 2021). Nevýhoda syntetických geotextilií spočívá v tom,

že jsou nerozložitelné a mohou zatěžovat půdu (SEUTLOALI a BECKEDAHL, 2015). Mezi nejčastější materiály používané při výrobě přírodních geotextilií jsou jutové (Obrázek 2) a kokosové vlákno (Obrázek 3). Materiál sítě udává životnost opatření. Tyto geotextilie mají dočasnou protierozní funkci a přispívají k úspěšnému vývoji/založení vegetace. Po 1-3 letech v závislosti na materiálu se sítě samovolně rozloží a fungují jako přírodní hnojivo. Čím je svah strmější, tím se využívají hustší sítě (s menšími oky). Výhodou přírodních geotextilií je jejich nižší pořizovací cena a přírodní složení, tudíž nenarušují přírodní rovnováhu. Další výhodou je jejich jednoduchá a rychlá aplikace na svah. Díky jejich méně nákladné výrobě jsou dostupné v mnoha částech světa (SEUTLOALI a BECKEDAHL, 2015). Pro jejich uchycení se používají ocelové kotvy, případně dřevěné kolíky.



Obrázek 2: Geotextilie z juty (GEOMAT, 2020)



Obrázek 3: Geotextilie z kokosového vlákna (GEOMAT, 2020)

Účinnost geotextilie se odvíjí od několika faktorů. Ve studii BHATTACHARYYA a kol. (2010) byla provedena měření v laboratorních i v terénních podmínkách a nelze jasně uvést jen jeden aspekt, který by měl na účinnost největší

vliv. Výzkumem v laboratorních podmínkách se věnuje také KALIBOVÁ a kol. (2016). Veliký význam v účinnosti má délka trvání a intenzita srážek. Geotextilie z juty mají nižší účinnost při krátkých intenzivních deštích než geotextilie z kokosového vlákna. Naopak při dlouhodobějších silných deštích poskytovaly geotextilie z juty vyšší ochranu svahu (KALIBOVÁ a kol., 2016). Dále je účinnost dána půdním typem. Jak uvádí ÁLVAREZ-MOZOS a kol. (2014) z porovnání jutové geotextilie, geotextilie z kokosového vlákna a geomříže na svazích o sklonu 45° a 60°, vyšla jako neúčinnější geomříž. Avšak jen pokud byla položena na povrchu. Pokud byla překryta zeminou, její protierozní ochrana klesla. Při použití kokosové a jutové geotextilie se objem povrchového odtoku zvýšil 2 - 3x oproti kontrolnímu svahu s hydroosevem, což naznačuje, že déšť může procházet vlákny těchto materiálů bez infiltrace do půdy. Dle KALIBOVÉ a kol. (2016) je jutová geotextilie (o plošné hmotnosti 500 g/m²) účinnější při snižování odtoku než geotextilie z kokosového vlákna (o plošné hmotnosti 400 g/m² a 700 g/m²). Nicméně výsledky studií účinnosti jednotlivých typů geotextilií se mezi autory dost různí a jsou silně odvislé od individuálních místních podmínek (morfologie svahu, klimatické podmínky atd.) a technologie aplikace geotextilií na svah. Toto je potřeba brát v potaz při volbě konkrétního výrobku.

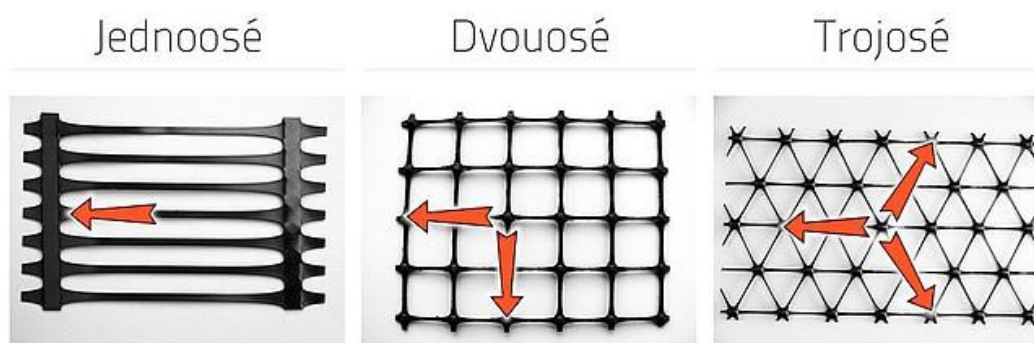
6.1.2 Geomříže

Použití geomříže je v současné době je velmi oblíbeným způsobem, jak bojovat proti sesuvům půdy a deformaci svahů. Geomříž zajišťuje pevnost a stabilitu svahu a chrání před erozí, zpevňuje a stabilizuje půdu, zabraňuje sesuvům půdy směrem dolů. Zpevnění půdy se provádí nahrazením půdy s nízkou únosností půdou s únosností vyšší. Geomříž je v podstatě rámová konstrukce skládající se z pruhů propustného netkaného materiálu geotextilie, jejímž základem jsou polyesterová vlákna. Používá se k ochraně půdy před erozími deformacemi především v roklinatých oblastech. Podle způsobu výroby se geomříže rozlišují na monolitické, extrudované, lepené a tkané (Obrázek 4) (GEOMAT, 2021b).



Obrázek 4: Typy geomříží dle způsobu výroby (GEOMAT, 2020)

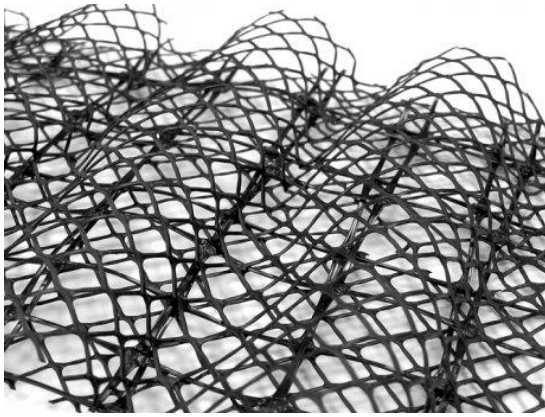
Dále se geomříže dělí podle svých schopností přenášet zatížení v jejich rovině (Obrázek 5). Jednoosé geomříže se nejčastěji využívají při stavbě opěrných zdí, zpevnění strmých svahů nebo sanaci sesuvů. Dvouosé geomříže jsou vhodné pro vytváření pracovních ploch nebo parkovišť. Trojosé geomříže mají ve všech směrech srovnatelnou pevnost, a tak se hodí pro mechanickou stabilizaci konstrukčních vrstev silnic (GEOMAT, 2021b).



Obrázek 5: Typy geomříží dle tvaru (GEOMAT, 2020)

6.1.3 Georochože

V případě georochoží se jedná o prostorovou strukturu vytvořenou z plošné sítě, ke které je připojena prostorově uspořádaná síť (Obrázek 6). Jelikož je tento prvek finančně náročnější, používá se jen v místech, kde je vyšší ohrožení vodní erozí (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003). Georochož může být složena ze syntetických nebo přírodních vláken. Výhodou je vysoká tažná síla, pružnost a nulová nasákavost vody (GEOMAT, 2021c).



Obrázek 6: Georhož (GEOMAT, 2020)

6.1.4 Geobuňky

Geobuňky jsou buněčný zpevňovací materiál, který připomíná plástev medu (Obrázek 7). Jsou tvořeny soustavou hladkých, povrchově vzorovaných nebo perforovaných polyethylenových pásů. Tyto buňky se následně naplní výplňovým materiálem (Obrázek 8), což může být původní odtěžený materiál z místa realizace (GEOMAT, 2021d).



Obrázek 7: Geobuňka (GEOMALL, 2020)



Obrázek 8: Aplikace geobuněk (GEOMALL, 2020)

6.1.5 Gabiony

Gabiony jsou drátěné prvky vyplněné přírodním nebo lomovým kamenem, případně recyklátem. Nejčastěji se využívají jako opěrné zdi nebo protierozní opatření (NCHRP, 2012). Gabiony jsou konstrukce, které propouští vodu, a tak se využívají u paty svahu. Z důvodu zamezení vyplavování jemnozrnné frakce pod gabionem se používá mezi gabion a podloží separační geotextilie (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2020). Pro výplň drátěné konstrukce musí být použité pevné úlomky hornin, které nepodléhají povětrnostním vlivům, neobsahují vodou rozpustné soli, neobtnají a nejsou křehké. Výhodami gabionů oproti betonovým zdem je jejich propustnost (uvedena výše), mezerovitost, možnost využití místního kamene a možnost výstavby na těžce přístupném místě (SHRÖFEL, 2012).

Gabiony se rozdělují na gabionové matrace a koše. Gabionové matrace (Obrázek 9) se využívají především jako opevnění u vodních toků. Gabionové koše mají širší spektrum využití od zahrad po stavebnictví. V současné době mají gabiony nejen funkční a bezpečnostní složku, ale také estetickou (Obrázek 10). Zároveň lze konstrukci nechat prorůst vegetací.



Obrázek 9: Gabionové matrace (GABIONY, 2021)



Obrázek 10: Gabionová zeď (EUROVIA FR, 2017)

6.2 Vegetační protierozní opatření na strmých svazích

Vegetační úpravy nemají jen funkci protierozního opatření, ale i dopravně-bezpečnostní, hygienickou (tlumení hluku, zachytávání prachu), estetickou a migrační. Vegetační úpravy mají velmi důležitou roli i na násypech. Dle CERDÁ (2007) je prokazatelně vyšší míra eroze na svazích, které nebyly pokryty vegetací nebo kde není vegetace ještě dostatečně vzrostlá. Dále uvádí, že je mnohem vyšší

míra eroze během zimního období než letního, ačkoliv byla vegetace vzrostlejší. To je dáno nasyceností aktivní zóny vodou, která se již hůře vsakuje. Také to bude tím, že zelená biomasa je v zimě mnohem chudší než v létě.

Jak u technických, tak u vegetačních protierozních opatření je důležité zhodnotit konkrétní místo (svah) a dle jeho sklonu, půdy, mikroklimatu a sluneční expozice vybrat vhodnou technologii osevu (BLOEMER, 2003). Základním protierozním opatřením je humusování neboli rozprostření ornice (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003).

Pro dosažení nejefektivnějšího výsledku se doporučuje využít mix plazivých a shlukujících se typů rostlin. Dále také typy travin, které rychle vyrostou, a tak poskytnou okamžitou krátkodobou ochranu s pomaleji rostoucími vytrvalými typy travin, které poskytnou dlouhodobou ochranu. Rostliny mohou být sázeny ručně nebo mechanizovaně – hydroosevem (NCHRP, 2012). Výhodou ručního setí jsou nižší náklady. Nevýhodou je nerovnoměrné rozhození osiva, možnost narušení povrchu pocházením osob po svahu a do vytvoření souvislého porostu chybí protierozní ochrana (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003). Hydroosev je způsob sadby, kdy se vysokým tlakem stříká směs vody, osiva, umělého hnojiva, organické hmoty a protierozních přísad na danou plochu (Obrázek 11). Výhodami hydroosevu jsou okamžitá ochrana proti erozi, malá spotřeba ornice, ochrana osiva před ptactvem a velká produktivita práce. Nevýhodou je vyšší cena než při ručním setí (SCHRÖFEL, 2012). Hydroosev je kombinací biologické a chemické ochrany svahů.

V Technických podmínkách 53 (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003) jsou uvedeny doporučené druhy a travní směsi pro co nejlepší ochranu svahů.

U vegetačních úprav je důležitá následná údržba a péče. Doporučuje se minimálně 2x ročně sečení trávníku, zálivka dřevin v době sucha, odplevelení výsadeb, prořezávání stromků a přihnojování (SCHRÖFEL, 2012).



Obrázek 11: Aplikace hydroosevu (HYDROOSEV, 2021)

Dobře vyvinutá a zakořeněná vegetace je klíčovou při snižování odtoku vody z pozemku a infiltraci vody do půdy.

7. Protierozní opatření na strmých svazích dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek

7.1 Popis stavby

Vybrané zájmové území úseku dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek se nachází v jihočeském kraji v České republice. Celková délka úseku je 10,7 km. Stavba je umístěna v katastrálním území Ševětín, Drahotěšice, Vitín, Kolný, Chotýčany, Lhotice u Českých Budějovic, Hosín, Červený Újezdec, Borek. Přesnou lokalizaci zobrazuje Obrázek 12.



Obrázek 12: Lokalizace úseku Ševětín – Borek (ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC, 2017)

Jedná se o rekonstrukci původní silnice I/3, která vedla současnou pravou částí dálnice ve směru Praha – České Budějovice, a novostavbou levé části (Obrázek 13). Tento úsek je pokračováním úseku dálnice D3 0309/I Bošilec – Ševětín a dále na něj navazuje úsek 0309/III Borek – Úsilné. Celá trasa dálnice D3 by po dokončení měla propojit Prahu – České Budějovice – hranice s Rakouskem. Dálnice je střídavě vedena na násypch a v zářezích. Celková doba výstavby vybraného úseku trvala od slavnostního zahájení dne 15. 3. 2017 do celkového otevření dne 10. 12. 2019. Zhotovitelem této stavby byla společnost EUROVIA CS, a.s. – závod Praha východ a závod České Budějovice.



Obrázek 13: Novostavba úseku dálnice D3 Ševětín – Borek (EUROVIA CS, 2020)

7.2 Charakteristika území

Zájmové území se nachází v mírném pásmu ve výšce mezi 400-550 m. n. m. Začátek trasy dálnice D3 prochází pseudogleji s hnědými půdami oglejenými, střed trasy hnědými kyselými půdami a konec trasy vstupuje opět do pseudoglejů s hnědými půdami oglejenými, případně až do nivních půd vltavského údolí. Glejová půda je taková, která je občas zcela prosycená vodou, nastává v ní redukce sloučenin železa, což vyvolává charakteristickou skvrnitost půdy. Střídá-li se zamokření se silným vysušením, vzniká pseudoglej (GEOLOGICKÁ ENCYKLOPEDIÉ, 2007).

7.3 Protierozní opatření strmých svahů zájmového úseku

7.3.1 Technická protierozní opatření strmých svahů zájmového úseku

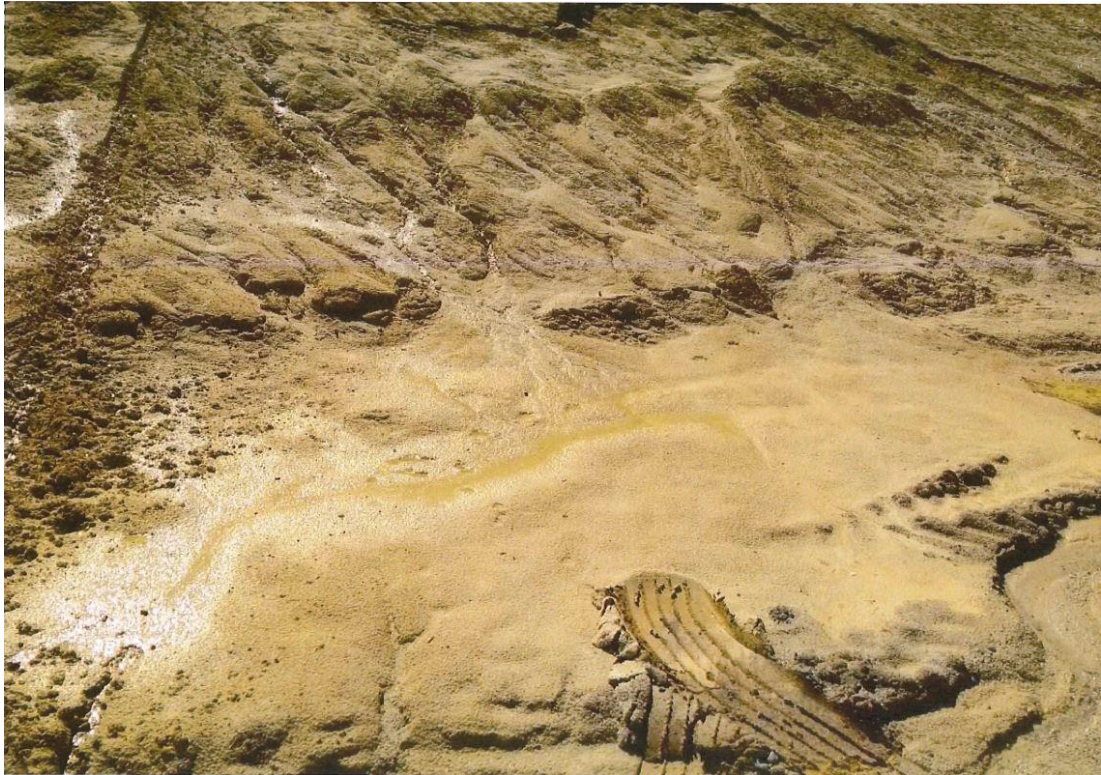
Jelikož úsek prochází složitým geologickým terénem, muselo být provedeno několik změn od původní projektové dokumentace. Na mnoha místech se objevily tzv. mikrosesuvy (Obrázek 14) z důvodu průsaku podzemních vod při tvorbě rozšíření stávajícího zářezu dálničního tělesa a při rozšiřování násypových těles. Z tohoto důvodu byl ke zpevnění svahů použit systém drenážních šterkových žeber a koberců. Na dalších místech bylo k odvodnění použito drcené kamenivo a obousměrně výztužné geotextilie (SG GEOTECHNIKA, 2019).

Stávající násypy musely být rozšířeny a musela být upravena nevhodná zemina do aktivní zóny. Aktivní zóna je poslední vrstva násypu, která musí splňovat

kritéria daná technickým předpisem (např. zeminy v aktivní zóně nesmí být namrzavé, musí být zhutnitelné). Pokud je tato zemina nevhodná musí dojít k náhradě nebo ke zlepšení zeminy hydraulickým pojivem. Metoda zlepšování zemin je ekonomičtější a časově méně náročná než náhrada této aktivní zóny vhodnou zeminou (SOLNAŘ, 2020). V částech, kde se předpokládal výskyt mělké podzemní vody, bylo nutné provést dokonalé odvodnění drenáží. Ze svahů násypu bylo nutné sejmut humózní vrstvu a svahy stupňovitě upravit, tzv. zazubit. Bylo potřeba zamezit nerovnoměrným deformacím mezi starým násypem a novými vrstvami. Tomu lze předcházet konstrukčními úpravami přísypů, např. vyztužením.

Po zimě v zemině, která je tvořena převážně prachovito-písečnými až písečnými jíly, došlo k odhalení mělkých výronů podzemní vody v místě zazubení mezi nově vybudovaným armovaným násypem a původním tělesem silnice. V místě zazubení bylo vybudováno svahové příčné žebro ze štěrkodrti s vyústěním mimo těleso násypu. Kvůli mikrosesuvům (Obrázek 14) v zářezech byla svahová žebra zřízena i na dalších úsecích, kde byl problém s nasycením zemního tělesa vodou.

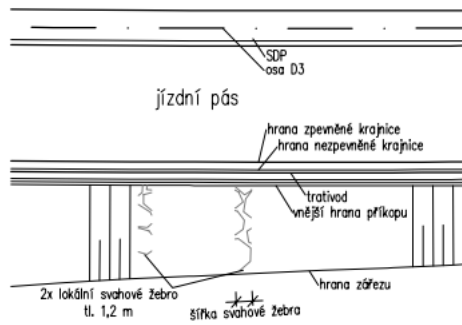
Zvláštností bylo, že se voda lokálně nacházela v násypovém tělese i v pětimetrové výšce a v období slabém na dešťové srážky. Proto musela být voda odvedena pomocí příčných sanačních žeber mimo těleso dálnice (SOLNAŘ, 2020). Projektant úseku vycházel z inženýrsko-geologického průzkumu, který zvodnění nezachytil.



Obrázek 14: Mikrosesuvy (EUROVIA CS, 2018)

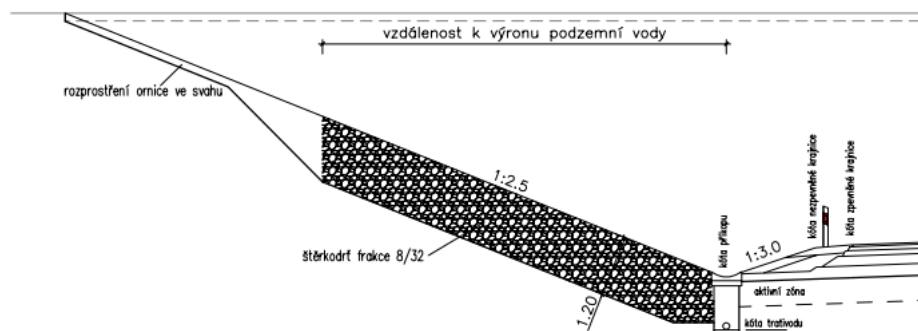
Bylo nutné plošné založení násypu formou lomového kamene. Díky tomu se základová spára stala stabilní a voda dále nenasycovala prováděné vrstvy násypu. Voda dále nevzlíná (nedostává se do dalších vrstev násypu) a zůstává ve stávající úrovni. Většinou se vyhloubený profil vystele separační geotextilií, aby jemnozrnné částice dalších vrstev násypu nezanášely lomový kámen, který zároveň slouží jako sanační vrstva. Pokud by se zanesla vrstva z lomového kamene, mohlo by dojít k sedání násypu. Ale v tomto případě byla využita frakce 8/32, která splnila filtrační kritérium (při laboratorní zkoušce), a tak nebyla geotextilie použita. V místech s výronem vody byla lokálně využita lokální svahová žebra (Obrázek 15-16). Tam, kde byla plocha výronů vody větší, byla použita plošná svahová žebra (Obrázek 17-18). Oba typy žeber jsou zaústěny do drenážního systému dálnice.

LOKÁLNÍ SVAHOVÉ ŽEBRO – M 1:500
 – šířka svahové žebra < 5m



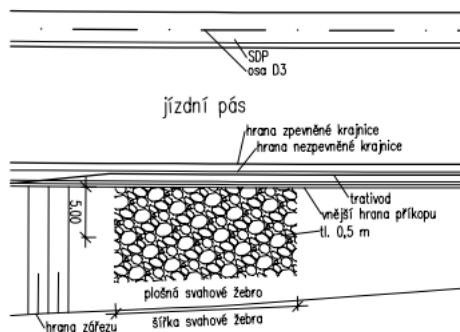
Obrázek 15: Podélný řez lokálního svahového žebra (EUROVIA CS, 2020)

LOKÁLNÍ SVAHOVÉ ŽEBRO – M 1:100



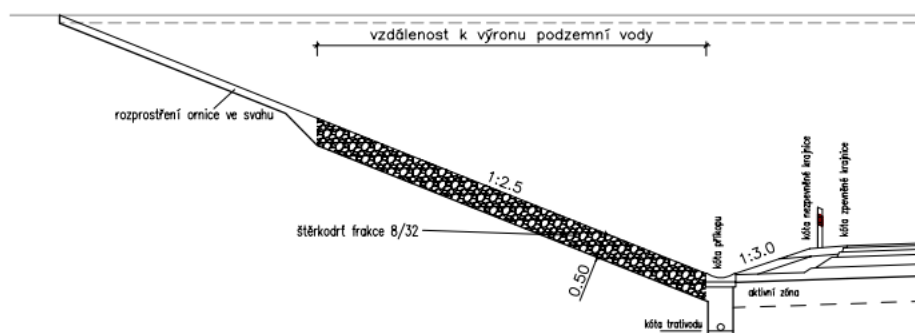
Obrázek 16: Příčný řez lokálního svahového žebra (EUROVIA CS, 2020)

PLOŠNÉ SVAHOVÉ ŽEBRO – M 1:500
 – šířka svahové žebra > 5m



Obrázek 17: Podélný řez plošného svahového žebra (EUROVIA CS, 2020)

PLOŠNÉ SVAHOVÉ ŽEBRO – M 1:100

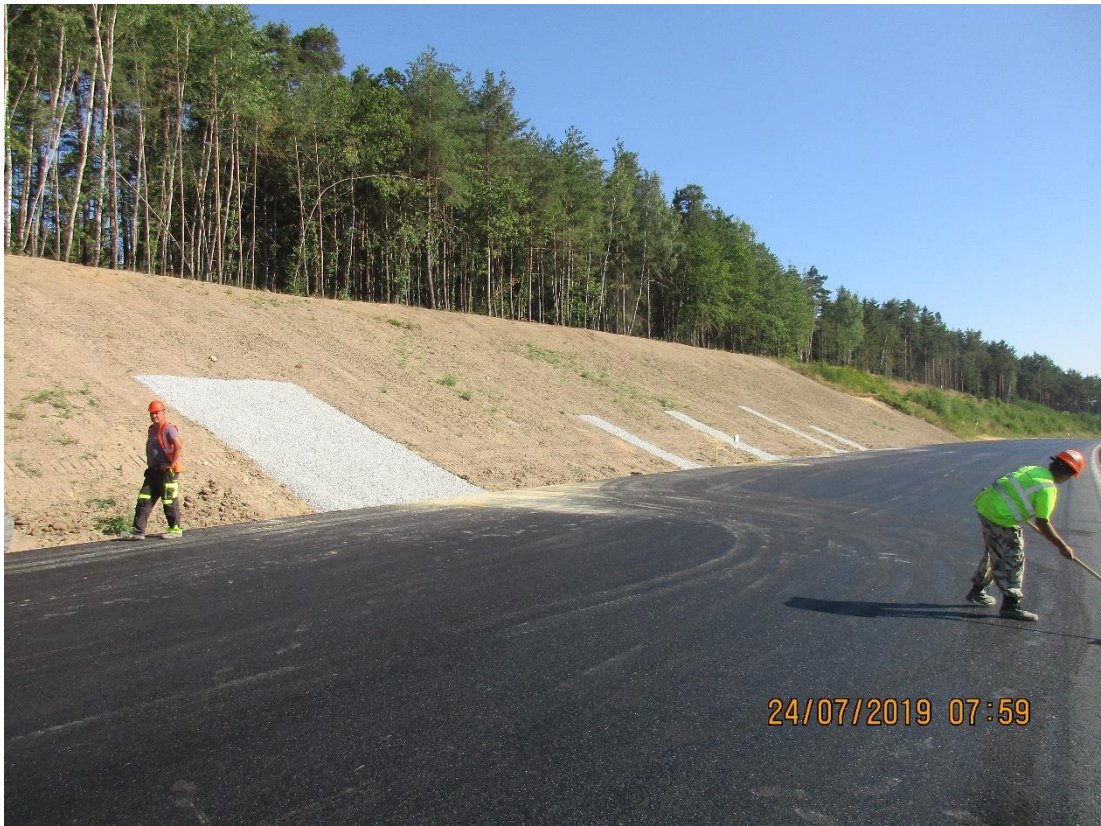


Obrázek 18: Příčný řez plošného svahového žebra (EUROVIA CS, 2020)

Následující obrázky 19-23 ukazují průběh výstavby lokálních a plošných žeber.



Obrázek 19: Lokální svahové žebra (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 20: Plošné a lokální svahová žebra (zleva) (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 21: Plošná svahová žebra (EUROVIA CS, 2018)

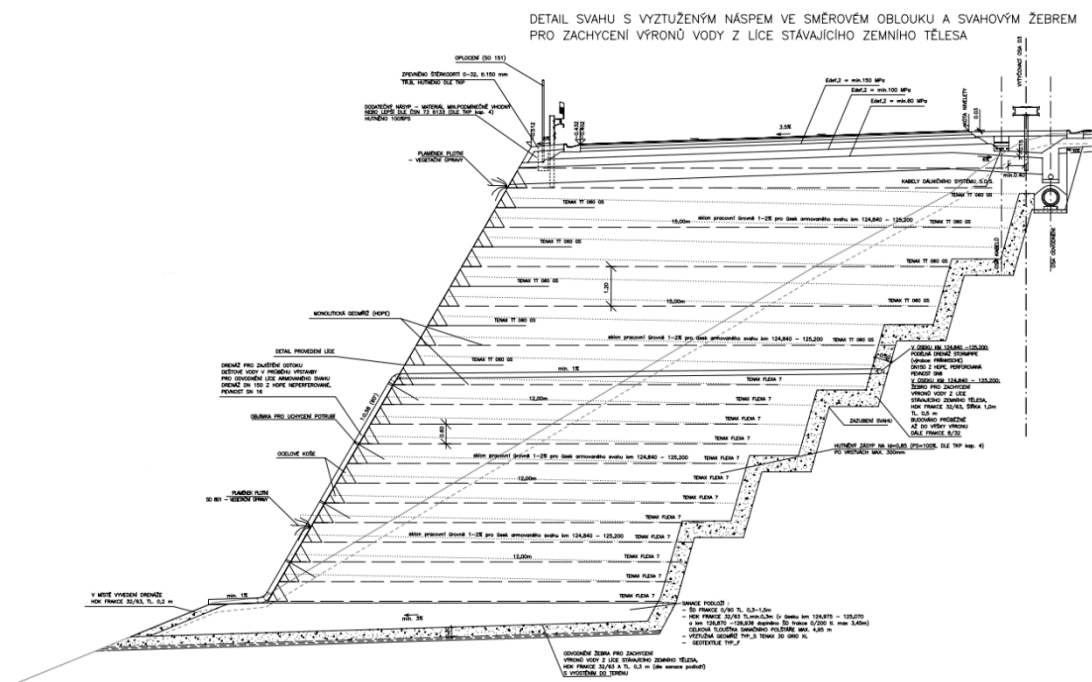


Obrázek 22: Stavba plošného svahového žebra (EUROVIA CS, 2018)



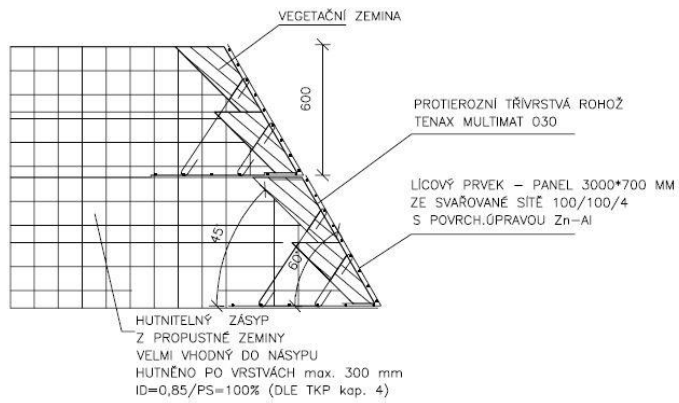
Obrázek 23: Příprava plošného svahového žebra (EUROVIA CS, 2018)

Tento úsek dálnice je v rámci protierozních opatření strmých svahů průlomový tím, že zde bylo použito specifické konstrukční uspořádání armovaných svahů pomocí geomíříží. Tento svah má výšku až 17 metrů, délku 450 metrů a sklon 60° (1:0,58). Životnost tohoto řešení je závislá na průběžné údržbě (ŘSD, 2019). Životnost armovaného svahu je počítána na cca 100 let jako všechny objekty (mosty, gabiony, propustky). Důležité je nezanedbat údržbu odvodnění povrchu v prvních 5-10 letech z důvodu možnosti narušení konstrukce armovaného svahu. Jelikož je toto nová technologie zpevnění svahu, nelze přesně určit, jak dlouho bude fungovat. Po uplynutí doby cca 2 let, by měl být svah již zpevněn zakořeněnou vegetací (HONC, 2021). Při tvorbě armovaného násypu bylo třeba zřídit pomocnou pracovní drenáž v patě stávajícího násypu proto, aby nedocházelo ke stékání vody k hraně budovaného armovaného násypu, a tak ke splavování pohledové části armovaného násypu. Navržené odvodňovací žebro sloužilo pro odvedení dešťových vod z pracovních úrovní armovaného svahu v průběhu výstavby (EUROVIA CS, 2017a). Detail zazubení armovaného svahu znázorňuje Obrázek 24 a detail líce Obrázek 25. Na líci svahu byla použita protierozní rohož TENAX Multimat 030. Tato trojrozměrná polypropylenová trvalá georochož byla speciálně navržena pro ochranu svahů před povrchovým odtokem a erozí. Tato struktura kompletně zamezuje vodní rýhové erozi, redukuje plošnou erozi, omezuje hloubku eroze, snižuje rychlost odtoku vody po svahu a po zatravnění vyztužují kořenový systém travního porostu (TENAX, ©2021).



Obrázek 24: Detail armovaného svahu (EUROVIA CS, 2019)

DETAIL PROVEDENÍ LÍCE 1:20



Obrázek 25: Detail provedení líce armovaného svahu (EUROVIA CS, 2019)

Průběh výstavby armovaného svahu je na obrázcích 26-34.



Obrázek 26: Před zahájením výstavby armovaného svahu (EUROVIA CS, březen 2017)



Obrázek 27: Odstranění vegetace a humózní vrstvy stávajícího svahu (EUROVIA CS, květen 2017)



Obrázek 28: Zazubování stávajícího násypového tělesa dálnice (EUROVIA CS, červen 2017)



Obrázek 29: Přípravné práce na výstavbu armovaného svahu (EUROVIA CS, srpen 2017)



Obrázek 30: Výstavba armovaného svahu (EUROVIA CS, srpen 2018)



Obrázek 31: Výstavba armovaného svahu (EUROVIA CS, září 2017)



Obrázek 32: Armovaný svah (EUROVIA CS, srpen 2018)



Obrázek 33: Armovaný svah (EUROVIA CS, únor 2019)



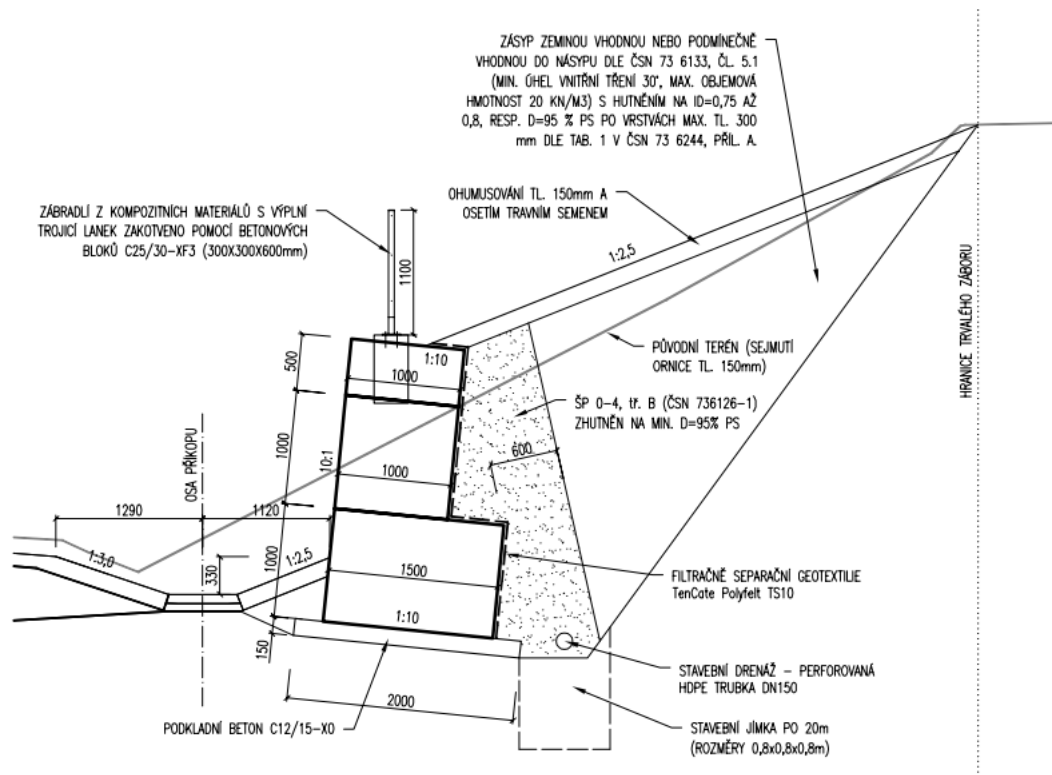
Obrázek 34: Armovaný svah (EUROVIA CS, listopad 2019)

Tato technologie byla využita z důvodu nedostatečného trvalého záboru pozemků pro výstavbu klasického násypového tělesa. Úspora místa je velkou výhodou, jen v případech, kdy nelze získat pozemky k realizaci. Na druhou stranu je tato technologie velmi finančně náročná a zvyšují se náklady výstavby. Následná údržba je v tomto případě velice komplikovaná, jelikož je svah vysoký a téměř kolmý, a proto je nutná údržba za pomoci specializované firmy pro výškové práce (Obrázek 35). Tato údržba je také finančně nákladná. Kovové desky viditelné na Obrázku 35, slouží k vyhodnocování sedání armovaného svahu.



Obrázek 35: Údržba armovaného svahu (EUROVIA CS, 2019)

Ve dvou částech km 117,472-117,539 a km 120,940-121,017 byla navržena gabionová zeď, která zajišťuje svah. Gabionová zeď je založena na podkladním betonu, který je ve spádu 1:10 proti stávajícímu násypu, aby se eliminoval tlak proti zdi. V prvním případě byla pod podkladním betonem stávající zemina nahrazena štěrkopískem frakce 0-32, třídy A (ČSN 736126-1). V druhém případě se na svahu nenacházela zemina ale skála. Rub gabionové zdi byl opatřen separační geotextilií o hmotnosti 300 kg/m², aby nedocházelo k vyplavování jemných částí zeminy násypového tělesa (EUROVIA CS, 2017a). Tato gabionová zeď je zachycena na následujících obrázcích 36-39.



Obrázek 36: Příčný řez gabionové zdi (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 37: Stavba gabionové zdi (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 38: Gabionová zeď (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 39: Dokončená gabionová zeď (EUROVIA CS, 2019)

7.3.2 Vegetační protierozní opatření strmých svahů zájmového úseku

Na Obrázku 40 dochází k ohumusování svahu. To probíhá tak, že svah musí být před ohumusováním upraven dle požadovaného sklonu v projektové dokumentaci. Nejlepší úpravou povrchu je dle SOLNAŘE (2020) před ohumusováním použití zemního buldozeru, který povrch svahu jemně naruší, a tak může dojít k lepšímu spojení humózní vrstvy s podkladem. Na Obrázku 40 je vidět buldozer, který natahuje na svah humózní vrstvu a zároveň ji svou vahou hutní, tímto způsobem se předchází možné erozi humózní vrstvy. Dále tuto vrstvu zemní bagr s dlouhým ramenem dohlazuje do konečné podoby. Po rozprostření ornice (ohumusování) je nutné, co nejdříve založit trávník. Pokud není možné založit trávník ihned, např. z důvodu nevhodného vegetačního období (před zimou), je nutné před samotným založením trávníku plochy svahu chemicky odplevelit.



Obrázek 40: Ohumusování (EUROVIA CS, květen 2019)

Na strmých svazích byl trávník založen metodou hydroosevu. Výběr travní směsi se liší dle umístění svahu vůči slunci. Navržená travní směs pro jižní svahy je 25 % kostřava červená trsnatá (*Festuca rubra commutata*), 10 % kostřava červená krátce výběžkatá (*Festuca rubra trichophylla*), 15 % kostřava červená výběžkatá (*Festuca rubra rubra*), 20 % lipnice luční (*Poa pratensis*), 10 % psineček tenký

(*Agrostis capillaris*), 10 % jílek vytrvalý (*Lolium perenne*), 10 % bojínek cibulkatý (*Phleum bertolonii*), doporučený výsevek 15 g/m². Navržená travní směs pro severní svahy je 10 % kostřava červená trsnatá (*Festuca rubra commutata*), 10 % kostřava červená krátce výběžkatá (*Festuca rubra trichophylla*), 10 % kostřava červená výběžkatá (*Festuca rubra rubra*), 40 % lipnice hajní (*Poa nemoralis*), 10 % psineček tenký (*Agrostis capillaris*), 10 % jílek vytrvalý (*Lolium perenne*), 10 % pohánka hřebenitá (*Cynosurus cristatus*), doporučený výsevek 15 g/m² (EUROVIA CS, 2017b). Na plochách, kde byl využit hydroosev, není nutná zálivka. Po nanesení hydroosevu je plocha zelené barvy (Obrázek 41-42).



Obrázek 41: Hydroosev (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 42: Hydroosev (EUROVIA CS, 2019)

Delší násypové svahy bylo nutné osadit dřevinami, aby došlo ke zpevnění svahů a zabránilo se vodní a větrné erozi. Při výběru dřevin se kladl důraz na to, aby dřeviny byly geograficky původní, aby odpovídaly podmínkám stanovišť (podmáčená půda, exponovaná stanoviště) a aby dokázaly odolávat znečištění ovzduší a dalším negativním vlivům dopravy. Nejvíce bylo vysazeno listnatých stromů jako je javor babyka (*Acer campestre*), javor mléč (*Acer platanoides*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), dub letní (*Quercus robur*) a dub zimní (*Quercus petraea*). Bylo vysazeno i pár jehličnanů borovic lesních (*Pinus sylvestris*). Dále byly svahy osazeny různými typy keřů, např. brslen evropský (*Euonymus europaeus*), trnka obecná (*Prunus spinosa*), rybíz alpský (*Ribes alpinum*). Konkrétně armovaný svah, který je zmíněn v předchozí kapitole, byl osazen pnoucími keři plaménku plotního (*Clematis vitalba*). Tento keř je schopen růst i na velmi strmých svazích a díky schopnosti vytvořit hustý porost dokáže ochránit svah před invazivními rostlinami, které by mohly svah narušit. Pro podporu pnoucích rostlin bylo nutné pokrýt svahy tkanou geotextilií, která je součástí výztužného systému. Do textilie byly lokálně vyříznuté díry pro popínavé rostliny (EUROVIA CS, 2017b).

Násypové svahy nebyly osazeny celoplošně, ale keře byly osazeny do dvou nebo čtyř řad a jedné řady stromů (Obrázek 43-46). Mezi nimi jsou třímetrové travnaté plochy.



Obrázek 43: Zasazené stromy (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 44: Osazená vegetace (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 45: Proces sázení stromů (EUROVIA CS, 2019)



Obrázek 46: Proces osázení stromů (EUROVIA CS, 2019)

Po vysazení dřevin je nutné provést mulčování, závluku a případné odplevelení ve výsadbách.

8. Diskuse

V České republice probíhalo v posledních letech mnoho výzkumů, které měly zaměření na technická opatření pro stabilizaci a ochranu svahů před erozí. Takovými výzkumy se zabývala KALIBOVÁ a kol. (2016, 2017) a 16 dílčích výzkumů proběhlo mezi lety 2017-2020 ve spolupráci společnosti STRIX Chomutov, a.s., Fakulty stavební na Českém vysokém učení technickém a společnosti GEOSYNTETIKA, s.r.o. (INFORMAČNÍ SYSTÉM VÝZKUMU, VÝVOJE A INOVACÍ, 2021).

Ačkoliv je využívání geosyntetik na strmých svazích dnes již běžným postupem, stále není obvyklé užívání geomříží pro velmi vysoké a strmé svahy. V takových případech se v minulosti využívaly hlavně opěrné stěny z betonu nebo kamene. Samozřejmě čím méně betonu do přírody vložíme, tím lépe. Svah prorostlý vegetací je citlivějším řešením dané situace. V konkrétní situaci úseku Ševětín – Borek dálnice D3 nešlo využít jiné řešení než vysoký a strmý armovaný svah, protože zde nebyl dostatečný prostor pro prodloužení a zmenšení sklonu

svahu. V případě, že by byla možnost a finance odkoupit okolní pozemky, preferovala bych variantu odkoupení a úpravu svahu. Nejedná se jen o finanční prostředky, ale dochází zde ke sporu mezi vlastníkem požadovaných pozemků a státem, který je zastoupen Ředitelstvím silnic a dálnic. Tyto spory o vykoupení pozemků se mohou protáhnout na několik let, a tak je vždy nutné zvážit, zda jít cestou složitějšího výkupu nebo zvolit jiné řešení, které spočívá v úspoře času, ale s technologicky složitějším řešením. Na odkupu (vyvlastnění) a vytvoření trvalého záboru pozemků jako neoptimálnějším řešením se jednohlasně JUNA (2021), KREJČÍK (2021) i SOLNAŘ (2020) shodli. Tento problém se získáním pozemků by mohla pomoci vyřešit nová novela zákona 416/2009 Sb. o urychlení výstavby dopravní, vodní a energetické infrastruktury.

Jelikož je tento svah špatně přístupný, je a bude složitá i jeho pravidelná údržba. Ačkoliv projektant stavby provedl výpočty životnosti tohoto svahu, nelze s určitostí stanovit, jak se armovaný svah bude chovat v budoucnosti. V roce 1994 byl proveden jeden z prvních armovaných svahů v Evropě, když vznikl sesuv půdy na horské silnici B114 v Rakousku. Po 20 letech provedl ALEXIEW a kol. (2016) průzkum tohoto svahu a došli k závěru, že ačkoliv bylo opatření vybudováno narychlo a bez dnešních vědomostí, opatření z geomříží funguje a nemuselo být během této doby opravováno. Není zde však zmíněno, jaká a jak častá byla údržba svahu.

V současné době se ustupuje od stavění klasických betonových zdí a projektanti se snaží o přiblížení se přírodnímu a estetickému vzhledu svahu. Na tomto konkrétním místě, ale nevidím důvod, aby byl svah řešen z estetického důvodu, jelikož na něj není z dálnice vidět a dole pod svahem není žádný veřejný prostor, odkud by bylo na svah vidět. Naopak, jak tvrdí KREJČÍK (2021), zde byl problém s usídlením drobných hlodavců, kteří začali do svahu hloubit díry, a tím tak narušovat vegetaci a stabilitu svahu. Problém s hlodavci je v řešení údržby správy silnic. Dalším důvodem, proč bych volila přednostně odkup pozemků, aby se svah prodloužil a snížila se strmost svahu, je bezpečnost. Pokud v tomto místě dálnice dojde k dopravní nehodě a nákladní auto prorazí svodidla (ačkoliv jsou v tomto místě vyztužená), nákladní auto ze svahu spadne přímo dolů a zároveň naruší síť geomříží. Pokud by byl svah pozvolný, nákladní auto by po svahu sjelo a pravděpodobně by došlo k menšímu poškození, jak svahu, tak auta a v neposlední řadě ztráty na lidských životech. Další problém může nastat tehdy, pokud se na dálnici v tomto úseku stane dopravní nehoda a dojde k úniku nafty nebo jiných nebezpečných látek. Pokud se tyto látky nasáknou do zeminy svahu, je nutné tuto

zeminu odtěžit a postavit svah nový, což není jednoduché (KREJČÍK, 2021). KREJČÍK (2021) dodal, že by v tomto případě upřednostňoval stavbu železobetonové zdi namísto armovaného svahu. Naopak JUNA (2021) tvrdí, že by železobetonová zeď měla vysokou hmotnost a na daném podloží by docházelo k posunům zdi a narušení vozovky nad svahem. Jedním z důvodů, proč se ve stavebnictví upřednostňuje armovaný svah před betonovou zdí, jsou také nižší pořizovací náklady. Avšak údržba armovaného svahu je poté několikanásobně dražší než údržba betonové zdi (KREJČÍK, 2021).

Budoucnost využití armovaného svahu vidím tam, kde se již také využívá, a to u portálů tunelů. Pěkným využitím armovaného svahu je Komořanský a Lochkovský tunel, kde jsou pohledové strmé svahy u portálů zatravněné (HOLÝ, 2011). Určitě je také vhodné opatření pomocí geomříží navrhnout tam, kde jde jen o kratší délku svahu (max. 5 metrů), aby údržba svahu nebyla tak komplikovaná. Takovým místem je například modernizace dálnice D1 úsek 02. Zajímavým řešením by mohla být také kombinace opěrné betonové zdi ve spodní části svahu a armovaný svah v horní části svahu. Snížila by se tak plocha, kterou je nutné více udržovat a zároveň by svah byl pohledově estetický.

V dostupné literatuře se nevyskytuje zmínka o svahových (drenážních) žebrech, uvedených v kapitole 7.3.1 jako o protierozním řešení, ačkoliv dle SOLNAŘE (2020) jsou tato žebra při stavbě silnic a dálnic velmi často využívána. Použití svahových žeberek je chápáno pouze jako sanační metoda (NEMETON2015, 2021). Například gabionová stěna uvedena v kapitole 6.1.4 může sloužit jako protierozní opatření, tak jako metoda sanace sesuvu svahu. Velmi důležité je, aby projektant správně v projektové dokumentaci nadefinoval velikost gabionové stěny, aby nedošlo k pádu stěny jako například na silnici I/11 u Hrabyně, kde měla stěna v poměru k výšce příliš úzkou základnu, která v kombinaci se špatně zvoleným materiálem a nahromaděním vody neunesla enormní zátěž (MOTLOVÁ, 2018).

Shodují se s BLOEMER (2003), CERDÁ (2007), že nejdůležitější prvek ochrany svahů před erozí je osazení vegetací nebo hydroosev. Vegetace dokáže přirozeně zpevnit svah a je zároveň jedním z prvků, který dokáže okolí silnice nebo dálnice esteticky vylepšit. Úprava svahu pomocí vegetace je na vybraném území v souladu s Technickými podmínkami 53 Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací (MINISTERSTVO DOPRAVY, 2003) a s Technickými podmínkami 99 Vysazování a ošetřování silniční vegetace (MINISTERSTVO

DOPRAVY, 1997). Avšak důležitá je opět údržba zeleně – pravidelné odstraňování náletových dřevin, které svými kořeny mohou narušit již prorostlou vegetaci, která na místě byla osazena.

9. Závěr

Základem pro tuto práci byla rešeršní část, která je zaměřena na popis eroze, respektive vodní eroze. Vodní eroze byla vybrána z toho důvodu, protože právě tou jsou strmé svahy nejvíce ohroženy. Okrajově jsou popsána protierozní opatření na zemědělských plochách, které jsou rozděleny na organizační, agrotechnická a technická. Práce měla stanovený jako hlavní cíl popsání protierozních opatření na strmých svazích na mimoprodukčních plochách a dále na svazích vybraného území. Jak moc bude svah ohrožený erozí je dáno hlavně intenzitou namáhání (četnost srážek, rychlost proudění), druhem, strukturou a vlastnostmi zemin, hustotou a typem vegetačního pokryvu, sklonem a délkou svahu (KAŠPAR, 2011).

V druhé polovině se práce věnuje detailnějšímu popisu vybraného zájmového území, a to strmých svahů úseku dálnice D3 0309/II Ševětín – Borek. Tento úsek byl zvolen proto, že je posledním dokončeným úsekem, který je částečnou novostavbou dálnice (rozšíření) na území České republiky. Dále také proto, že zde bylo zvoleno řešení pro strmý, 17 metrů vysoký svah, a to opatření pomocí geomříží se zeleným lícem, tzv. armovaný svah. Armovaný svah se běžně v České republice na takto vysoké svahy nepoužívá, a proto byl na toto řešení v práci kladen důraz. Jak je diskutováno výše, každé řešení má své pro a proti. V současné době je svah sledován údržbou silnic a uvidíme do budoucna, jak se toto řešení na tak vysokém svahu osvědčí.

Tato práce by mohla být dále rozšířena o další protierozní opatření na mimoprodukčních plochách. Dále je možné práci rozpracovat z pohledu ohrožení erozí jinými erozními činiteli, než je voda (vítr, sníh, gravitace). Shrnutí metod protierozních opatření v této práci mohou být použitelným zdrojem pro projektanty svahů podél silnic a dálnic a stavaře.

Na závěr je třeba opět zopakovat, že při přípravě erozního zabezpečení svahů se nelze zaměřit pouze na ochranu povrchu svahů, ale je třeba nepodcenit hydrogeologický a pedologický průzkum a navrhnout tak optimální řešení pro konkrétní stavbu.

10. Seznam použité literatury

ALEXIEW D., PLANKEL A., THOMSON G. (2016): A geogrid-reinforced landslide stabilization: 20 years passed. J-STAGE: 1094-1098.

ARNAU-ROSALÉN E., CALVO-CASES A., BOIX-FAYOS C., LAVÉE H., SARAH P., 2008: Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain). *Geomorphology* 101: 595-606.

ÁLVAREZ-MOZOS J., ABAD E., GIMENÉZ R., CAMPO M. A., GONI M., ARIVE M., CASALÍ J., DÍEZ J., DIEGO I., 2014: Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects of runoff and soil loss. *Catena*: 118: 168-178.

BHATTACHARYYA R., SMETS T., FULLEN M. A., POESEN J., BOOTH C. A., 2010: Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena*: 184-195.

BLOEMER, S. 2003: Erosionsschutz und Begrünung von Böschungen im Verkehrswegebau: Optimierung durch Rohbodenbegrünung statt Oberbodenandekung. *Straßenverkehrstechnik* 2: 90-95.

CERDÁ A., 2007: Soil water erosion on road embankments in eastern Spain, *Science of the Total Environment* 378: 151-155.

ČSN 75 4500: Protierozní ochrana zemědělské půdy, 1996, 16 s.

DOSTÁL T., KRÁSA J., KAVKA P., VRÁNA K., DEVÁTÝ J., KADLEC V., NOVOTNÝ I., KULÍŘOVÁ P., HEŘMANOVSKÁ D., PAPAJ V., KAPIČKA J., VÁŇOVÁ V., 2014: Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO: metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v. v. i., Praha.

EUROVIA CS, a. s., 2017a): Technická zpráva SO 101, D3 0309/II Ševětín – Borek.

EUROVIA CS, a. s., 2017b): Technická zpráva SO 801, D3 0309/II Ševětín – Borek.

GEOLOGICKÁ ENCYKLOPEDIÉ, ©2007: Glejová půda (online) [cit.2020.11.30], dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?glejova_puda>.

GEOMATa): Geotextilie (online) [cit.2021.01.15], dostupné z: <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geotextilie/>>.

GEOMATb): Geomříže (online) [cit.2021.01.15], dostupné z: <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geomrize/>>.

GEOMATc): Georohože (online) [cit.2021.01.15], dostupné z: <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/georohoze/>>.

GEOMATd): Geobuňky (online) [cit.2021.01.15], dostupné z: <<https://www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geobunky/>>.

HAJIGHOLIZADEH M., MELESSE A. M., FUENTES H. R., 2018: Erosion and sediment transport modelling in shallow waters: A review on Approaches models and applications. International journal of environmental research and public health, 24 s.

HOLÝ M., 1994: Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha. 383 s.

HOLÝ M., 2011: Příklady použití geosyntetik na inženýrských stavbách (online) [cit.2021.03.11], dostupné z: <<https://asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrskestavby/geotechnika/priklady-pouziti-geosyntetik-na-inzenyrskych-stavbach>>.

HONC T., projektant PUDIS, a. s. [ústní sdělení]. Praha, 29. 1. 2021.

HŮLA J., JANEČEK M., KOVAŘÍČEK P., BOHUSLÁVEK J., 2003: Agrotechnická protierozní opatření. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.

INFORMAČNÍ SYSTÉM VÝZKUMU, VÝVOJE A INOVACÍ, 2021: Navrhování technických opatření pro stabilizaci a ochranu svahu před erozí (2017-2020) (online) [cit.2021.03.15], dostupné z: <<https://isvavai.cz/cep?s=jednoduche-vyhledavani&ss=detail&n=0&h=TH02030428>>.

JANEČEK, M. a kol., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, 164 s.

JANEČEK, M. a kol., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita v Praze, 113 s.

JUNA T., ředitel závodu Praha východ, EUROVIA CS, a.s. [ústní sdělení]. Praha, 15. 3. 2021.

KADLEC V., PROCHÁZKOVÁ E., TIPPL M., PETERA M., 2012: Inventarizace technických protierozních opatření v rámci KPÚ a jejich účinnost na dlouhodobou ztrátu půdy vodní erozí. AgriTech Science 2012, Praha, 8 s.

KADLEC V., DOSTÁL T., VRÁNA K., KAVKA P., KRÁSA J., DEVÁTÝ J., PODHRÁZSKÁ J., POCHOP M., KULÍŘOVÁ P., HEŘMANOVSKÁ D., NOVOTNÝ I., PAPAJ V., 2014: Navrhování technických protierozních opatření: metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v. v. i., Praha, 101 s.

KALIBOVÁ J., PETRŮ L., JAČKA J. 2016: The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. *Solid Earth*, roč. 7, č. 2, s. 469-479.

KALIBOVÁ J., PETRŮ L., JAČKA J. 2017: Impact of rainfall intensity on the hydrological performance of erosion control geotextiles. *Environ. Earth Science* 76, č. 12, 42.

KAŠPAR M., 2011: Protierozní ochrana zemních těles a skalních stěn. *GEOmail magazín* 8, 1-6.

KOUKALOVÁ M., ULÍŘOVÁ J., 2008: Optimalizace protierozních a protipovodňových opatření s ohledem na mimoprodukční funkce krajiny v k.ú. Zátor. *Pozemkové úpravy* č. 65: 18-20.

KREJČÍK Z., hlavní stavbyvedoucí, EUROVIA CS, a.s. [ústní sdělení]. Praha, 15. 3. 2021.

LITHOPLAST: Geobuňky (online) [cit.2021.01.15], dostupné z: <www.lithoplast.cz/geotextilie>.

MINISTERSTVO DOPRAVY, ODBOR POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ, 1997: Vysazování a ošetřování silniční vegetace (online) [cit.2021.2.27], dostupné z: <http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_99.pdf>.

MINISTERSTVO DOPRAVY, ODBOR POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ, 2003: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Informační portál Politiky jakosti pozemních komunikací (online) [cit.2020.11.05], dostupné z: <http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_53.pdf>.

MINISTERSTVO DOPRAVY, ODBOR POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ, 2008: Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací (online) [cit.2020.11.30], dostupné z: <http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_97.pdf>.

MINISTERSTVO DOPRAVY, ODBOR SILNIČNÍ INFRASTRUKTURY, 2020: Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací (online) [cit.2021.01.25], dostupné z: <http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_30_2020.pdf>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2017: Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství, Praha, 86 s.

MORGAN R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation. Third edition, Blackwell Publishing Ltd, 304 s.

MOTLOVÁ Ž., 2018: Pád opěrné zdi u hlavního tahu způsobila chyba projektantů, hrozí další (online) [cit.2021.03.11], dostupné z: <https://idnes.cz/ostrava/zpravy/gabiony-zed-zriceni-operna-stena-silnice-i-11-projekt-eurovia.A180704_134429_ostrava-zpravy_woj>.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 2012: Cost-effective and sustainable road slope stabilization and erosion control. Synthesis 430. Transportation research board, Washington D. C., 71 s.

NEMETON2015, 2021: Drenážní žebra (online) [cit.2021.03.15], dostupné z: <www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?48>.

PODHRÁZSKÁ J., KUČERA J., KARÁSEK P., KONEČNÁ J., POCHOP M., 2015: Degradace půdy vodní erozí a její ekonomické aspekty. Studia Oecologica č. 1: 3-12.

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR, 2019: Sborník Silniční konference 2019 (online) [cit.2020.11.06], dostupné z: <https://www.silnicnikonference.cz/sbornik/SK2019_sbornik.pdf>.

ŘEJHA, M., 2007: Protierozní ochrana zemních těles a svahů. Geotechnika 2007/1: 38-40.

SEUTLOALI, K. E., BECKEDAHL, H. R., 2015: A review of road-related soil erosion: An assessment of causes, evaluation techniques and available control measures. Earth sciences research journal vol. 19 No. 1.: 73-80.

SG GEOTECHNIKA, 2019: Stavba úseku dálnice D3, Ševětín – Borek. Inženýrské stavby č. 4 (online) [cit.2020.11.06], dostupné

z: <<https://www.jagamedia.cz/portfolio/inzinierske-stavby-inzenyrske-stavby-04-2019/>>.

SHRÖFEL J., 2012: Technicko-biologické způsoby stabilizace terénu. Projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací. Praha, 38 s.

SOLNAŘ J., stavbyvedoucí, EUROVIA CS, a. s. [ústní sdělení]. Praha, 20. 11. 2020.

TENAX, ©2021: Multimat (online) [cit.2021.03.14], dostupné z: <<https://tenax.net/en/geosynthetics/systems-products/multimat>>.

VLÁŠEK M., 2017: Horninové prostředí a geologie. Územně analytické podklady Jihočeského kraje (online) [cit.2020.11.06], dostupné z: <https://geoportal.kraj-jihocesky.gov.cz/gs/data/uploads/uap_kraj/2017/ruru_a_2017_final_150dpi.pdf>.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i., 2021: Protierozní kalkulačka (online) [cit.2021.03.25], dostupné z: <<http://kalkulacka.vumop.cz>>.

XU X., LIU W., ZHANG K., KONG Y., CHEN J., YU B., 2009: Runoff and water erosion on road side-slopes: Effects of rainfall characteristics and slope length. Transportation Research Part D: Transport and Environment 14: 497-501.

11. Seznam obrázků

Obrázek 1: Typy geotextilií (www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geotextilie).....	8
Obrázek 2: Geotextilie z juty (www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geosite).....	9
Obrázek 3: Geotextilie z kokosového vlákna (www.geomat.cz/kokosova-geotextilie-geomanet-k-eko).....	9
Obrázek 4: Typy geomříží dle způsobu výroby (www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geomrize)	11
Obrázek 5: Typy geomříží dle tvaru (www.geomat.cz/vyrobky-katalog/geomrize)...	11
Obrázek 6: Georohož (www.geomat.cz/cs/georohoze)	12
Obrázek 7: Geobuňka (www.geomall.cz/stavba/geobunky)	12
Obrázek 8: Aplikace geobuněk (www.geomall.cz/stavba/geobunky).....	13

Obrázek 9: Gabionové matrace (www.gabiony.cz/fotogalerie/dle-typu-gabionove-konstrukce/gabionove-matrace/).....	14
Obrázek 10: Gabionová zeď (www.eurovia.fr/agences/4011-val-de-loire-granulats-vlg/actualites/gabions-sur-averdon)	14
Obrázek 11: Aplikace hydroosevu (www.hydroosev.eu/foto/hydroosev)	16
Obrázek 12: Lokalizace úseku Ševětín – Borek (https://mapapp.rsd.cz/Upload/Stavby/37/infoletak_d3-sevetin-borek.pdf)	17
Obrázek 13: Novostavba úseku dálnice D3 Ševětín – Borek (https://eurovia.cz/cs/projekty/vanocni-darek-pro-ridice-novy-usek-dalnice-d3-byl-zprovoznen).....	18
Obrázek 14: Mikrosesuvy (archiv EUROVIA CS, 2018)	20
Obrázek 15: Podélný řez lokálního svahového žebra (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2020)	21
Obrázek 16: Příčný řez lokálního svahového žebra (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2020)	21
Obrázek 17: Podélný řez plošného svahového žebra (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2020)	21
Obrázek 18: Příčný řez plošného svahového žebra (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2020)	22
Obrázek 19: Lokální svahová žebra (archiv EUROVIA CS, 2019)	22
Obrázek 20: Plošné a lokální svahová žebra (zleva) (archiv EUROVIA CS, 2019)	23
Obrázek 21: Plošná svahová žebra (archiv EUROVIA CS, 2018)	23
Obrázek 22: Stavba plošného svahového žebra (archiv EUROVIA CS, 2018).....	24
Obrázek 23: Příprava plošného svahového žebra (archiv EUROVIA CS, 2018)	24
Obrázek 24: Detail armovaného svahu (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2019).....	25
Obrázek 25: Detail provedení líce armovaného svahu (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2019)	26
Obrázek 26: Před zahájením výstavby armovaného svahu (archiv EUROVIA CS, březen 2017)	26

Obrázek 27: Odstranění vegetace a humózní vrstvy stávajícího svahu (archiv EUROVIA CS, květen 2017)	27
Obrázek 28: Zazubování stávajícího násypového tělesa dálnice (archiv EUROVIA CS, červen 2017).....	27
Obrázek 29: Přípravné práce na výstavbu armovaného svahu (archiv EUROVIA CS, srpen 2017)	28
Obrázek 30: Výstavba armovaného svahu (archiv EUROVIA CS, srpen 2018)	28
Obrázek 31: Výstavba armovaného svahu (archiv EUROVIA CS, září 2017)	29
Obrázek 32: Armovaný svah (archiv EUROVIA CS, srpen 2018).....	29
Obrázek 33: Armovaný svah (archiv EUROVIA CS, únor 2019)	30
Obrázek 34: Armovaný svah (archiv EUROVIA CS, listopad 2019)	30
Obrázek 35: Údržba armovaného svahu (archiv EUROVIA CS, 2019)	31
Obrázek 36: Příčný řez gabionové zdi (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2019)	32
Obrázek 37: Stavba gabionové zdi (Projektová dokumentace EUROVIA CS, 2019)	32
Obrázek 38: Gabionová zeď (archiv EUROVIA CS, 2019).....	33
Obrázek 39: Dokončená gabionová zeď (archiv EUROVIA CS, 2019).....	33
Obrázek 40: Ohumusování (archiv EUROVIA CS, květen 2019)	34
Obrázek 41: Hydroosev (archiv EUROVIA CS, 2019)	35
Obrázek 42: Hydroosev (archiv EUROVIA CS, 2019)	36
Obrázek 43: Zasazené stromy (archiv EUROVIA CS, 2019).....	37
Obrázek 44: Osazená vegetace (archiv EUROVIA CS, 2019)	38
Obrázek 45: Proces sázení stromů (archiv EUROVIA CS, 2019).....	38
Obrázek 46: Proces osázení stromů (archiv EUROVIA CS, 2019).....	39

12. Seznam rovnic

Rovnice 1: Rovnice USLE (JANEČEK a kol., 2012).....	4
---	---

13. Seznam tabulek

Tabulka 1: Protierozní opatření zemědělské půdy (ČSN 75 4500).....	6
--	---