

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

ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ
GUIDELINES FOR DESIGNING EROSION CONTROL MEASURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Filip Hauzer

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Hauzer

Územní plánování

Název práce

Zásady navrhování protierozních opatření

Název anglicky

Guidelines for designing erosion control measures

Cíle práce

Cílem práce je shrnout zásady navrhování protierozních opatření na strmých svazích v souladu s aktuální praxí a potřebami protierozního zabezpečení svahů přilehlých k pozemním komunikacím.

Metodika

Rešerše dostupné literatury na téma eroze a ochrany strmých, nezemědělských svahů, zpracování poznatků získaných ze setkání s dodavateli protierozních opatření působících na území ČR a zástupci Ředitelství silnic a dálnic ČR. Setkání proběhne formou odborného semináře pořádaného v Kostelci nad Černými Lesy, pod záštitou projektu revize Technických podmínek TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací".

Doporučený rozsah práce

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

Klíčová slova

eroze, svah, povrchový odtok, geotextilie, sítě

Doporučené zdroje informací

- ALBALADEJO MONTORO, J., et al. Three hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes. *Land degradation & development*, 2000, 11.4: 315-325.
- J. ÁLVAREZ-MOZOS, E. ABAD, R. GIMÉNEZ, M. A. CAMPO, M. GOÑI, M. ARIVE, J. CASALÍ, J. DÍEZ, I. DIEGO, Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss, *CATENA*, 10.1016/j.catena.2013.05.018, 118, (168-178), (2014).
- MEYER, L. D.; WISCHMEIER, W. H.; FOSTER, G. R. Mulch rates required for erosion control on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 1970, 34.6: 928-931.
- SIDLE, Roy C., et al. Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest ecology and management*, 2006, 224.1-2: 199-225.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Kalibová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 16. 9. 2022

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 10. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 13. 12. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Zásady navrhování protierozních opatření“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, 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 vědom, 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 2023

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí práce Ing. Janě Kalibové, Ph.D., za trpělivost, odborné vedení a poskytnutí cenných a užitečných informací. Dále všem účastníkům odborného semináře pořádaného v Kostelci nad Černými Lesy, za ochotu a cenné informace. V neposlední řadě mé rodině a přítelkyni, kteří mi byla po celou dobu oporou.

Abstrakt

Práce je zaměřena na zásady navrhování protierozní ochrany povrchu strmých svahů přiléhajících k pozemním komunikacím s důrazem na využívání vegetace. První část, která vychází z rešerše, popisuje příčiny vzniku eroze, její jednotlivé druhy, způsoby projevu, ochranu před vznikem eroze a výpočty erozního ohrožení. Část druhá popisuje zásady, které je třeba dodržovat, aby byl návrh protierozní ochrany úspěšný. Tyto zásady vychází z odborného semináře pořádaného v Kostelci nad Černými Lesy pod záštitou projektu revize Technických podmínek TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". Během setkání probíhala diskuse mezi pracovníky z vědeckých institucí a odborníky z praxe. V diskusi je předložen názor autora na důležitost dodržování zásad navrhování protierozních opatření a na fakt, že ochrana erozně ohrožených nezemědělských svahů není nijak uzákoněna.

Klíčová slova: eroze, svah, povrchový odtok, geotextilie, síť

Abstract

The work is focused on the principles of designing erosion protection of the surface of steep slopes adjacent to roads with an emphasis on the use of vegetation. The first part, based on research, describes the causes of erosion, its various types, manifestation methods, prevention, and erosion risk calculations. The second part describes the principles that need to be followed for a successful design of erosion control. These principles are based on a professional seminar held in Kostelec nad Černými Lesy under the auspices of the revision project of Technical Conditions TP 53 "Erosion Control of Slopes Adjacent to Roads". There was a discussion among professionals from scientific institutions and experts from practice during the meeting. The author's opinion on the importance of following the principles of designing erosion control measures and the fact that the protection of erosion protection of non-agricultural slopes is not legislated in any way is presented in the discussion.

Keywords: erosion, slope, surface runoff, geotextiles, nets

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce	2
3. Metodika.....	2
4. Teoretická východiska	3
4.1 Eroze	3
4.1.1 Pojem eroze.....	3
4.1.2 Rozdělení eroze.....	4
4.1.2.1 Vodní eroze.....	4
4.1.2.2 Větrná eroze	6
4.1.2.3 Sněhová eroze.....	7
4.1.3 Následky eroze.....	8
4.2 Povrchový odtok.....	8
4.3 Protierozní opatření	9
4.4 Výpočty erozního smyvu.....	11
4.4.1 USLE	11
4.4.2 RUSLE	12
4.4.3 MUSLE	12
5. Zásady navrhování protierozních opatření	12
5.1 Obecné zásady.....	13
5.1.1 Výchozí podmínky úspěšného návrhu.....	13
5.1.2 Požadavky investora	14
5.1.2.1 Požadovaný finální stav svahu.....	14
5.1.2.2 Požadovaný způsob údržby svahu	14
5.1.3 Podklady a výsledky průzkumů.....	15
5.1.4 Vlastní návrh protierozních opatření.....	15
5.1.5 Kontrola kvality protierozních opatření.....	16
5.2 Protierozní opatření na svahu PK	16
5.2.1 Plošná ochrana svahu výsevem travních společenstev	16
5.2.2 Plošná ochrana geosyntetikou s osemem.....	17
5.2.3 Svah chráněný plošnou ochranou geosyntetiky s výsadbou dřevin	18
5.2.4 Svah chráněný hydroosevem za podpory geotextilie	20
5.2.5 Svah chráněný geobuňkami	22
5.2.6 Svah chráněný zatravnovacími dílci ze syntetických hmot.....	23
5.2.7 Ochrana svahu pokrytím pohozelem, záhozem nebo rovnaninou ...	25

5.2.8	Ochrana svahu za pomoci povázek, haťových válců a plůtků.....	25
5.2.9	Svah chráněný 3D ocelovými panely	25
6.	Výsledky práce.....	27
7.	Diskuse.....	29
8.	Závěr	31
9.	Seznam použitých zdrojů.....	33
10.	Seznam obrázků.....	35
11.	Seznam rovnic.....	35
12.	Seznam zkratek.....	35

1. Úvod

Eroze je přírodní proces, který působením vody, větru a ledu narušuje půdní povrch a odnáší půdní částice. První poznatky o erozi jsou starší více než 7000 let. Avšak zjištění, že působení člověka má za vinu zrychlenou erozi, která jej může ohrozit, se začalo objevovat až na přelomu 19. a 20. stol. (Janeček, 2002). Erozi je nutné v zájmu zachování úrodnosti půdy a omezení jejích negativních dopadů (např. zanášení odvodňovacích systémů, zhoršování kvality povrchových vod atp.) minimalizovat nebo zcela eliminovat všemi dostupnými prostředky. Za účelem úspěšného boje s erozí probíhá celá řada výzkumů jejího působení a protierozní ochrany. Ochrana půdy se stala nedílnou součástí zemědělských, lesnických i inženýrských prací (Jůva a Cablík, 1963).

Následky eroze nejsou jen zhoršení kvality, fyzikálně-chemických vlastností nebo nasákavosti půdy na zemědělských plochách. Eroze je velkým problémem také na nechráněných svazích liniových dopravních staveb, jako jsou např. železnice nebo pozemní komunikace.

Zemědělská půda je v České republice chráněna proti nadměrné erozi legislativně. Například dle § 3 odst. 1 písm. b) zákona č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu je zakázáno: „způsobovat ohrožení zemědělské půdy erozí překračováním přípustné míry jejího erozního ohrožení stanovené prováděcím právním předpisem; přípustná míra erozního ohrožení se stanoví na základě průměrné dlouhodobé ztráty půdy vyjádřené v tunách na 1 ha za 1 rok v závislosti na hloubce půdy.“

Tento zákon však neplatí pro protierozní ochranu (PEO) erozně ohrožených svahů přiléhajících k pozemním komunikacím (PK), na které se tato práce soustředí. PEO nezemědělských svahů není v ČR nijak právně ustanovena. Existují pouze technické podmínky (TP 53) z roku 2003. Ty jsou ale v současné době, kdy se boj s erozí posunul výrazně vpřed, zastaralé a nedostačující. Z tohoto důvodu vneslo Ministerstvo dopravy ČR v roce 2021 požadavek na revizi TP 53. Na zpracování aktualizované verze TP 53 se podílí Ředitelství silnic a dálnic České republiky (ŘSD), Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP), Česká zemědělská univerzita v Praze (ČZÚ) a České vysoké učení technické v Praze (ČVÚT).

Tato bakalářská práce se zabývá zásadami, které je důležité dodržovat při navrhování PEO na svazích přiléhajících k PK. V části, která se zabývá rešerší, je popsána eroze, její jednotlivé druhy, následky a výpočty erozního ohrožení. Praktická část shrnuje zásady navrhování PEO na strmých svazích PK, jsou v ní popsány předpoklady úspěšného návrhu a efektivního způsobu provádění PEO. Dále jsou uvedeny aktuálně používané metody zabezpečení povrchové vrstvy svahu a kritéria, podle kterých volit konkrétní typ PEO.

Hlavním zdrojem informací, ze kterého vychází praktická část této práce, byl odborný seminář pořádaný v Kostelci nad Černými Lesy pod záštitou projektu revize Technických podmínek TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". Během setkání probíhala komunikace mezi pracovníky z vědeckých institucí a odborníky z praxe.

2. Cíl práce

Metody protierozního zabezpečení strmých nezemědělských svahů jsou oficiálně definovány předpisem TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací" z roku 2003. Od doby vydání předpisu došlo k významnému pokroku ve znalostech a zkušenostech na poli protierozní ochrany povrchu strmých svahů. Rovněž byly vyvinuty nové materiály a technologie, které původní TP 53 neobsahuje. Z tohoto důvodu vzneslo Ministerstvo dopravy ČR v roce 2021 požadavek na revizi TP 53. Na zpracování aktualizované verze TP 53 se podílí Ředitelství silnic a dálnic České republiky, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Česká zemědělská univerzita v Praze a České vysoké učení technické v Praze.

Cílem práce je shrnout zásady navrhování protierozních opatření na strmých svazích přilehlých k pozemním komunikacím v souladu s aktuální praxí a potřebami protierozního zabezpečení svahů přilehlých k pozemním komunikacím.

3. Metodika

Práce bude zpracována formou rešerše odborné literatury na téma eroze a ochrana strmých, nezemědělských svahů. Literární rešerše je doplněna poznatky ze setkání, kde své zkušenosti a důležité informace prezentovali ústní formou hlavní dodavatelé protierozních opatření působící na území ČR a zástupci Ředitelství silnic a dálnic ČR. Setkání proběhlo formou odborného semináře pořádaného v Kostelci nad

Černými Lesy, pod záštitou projektu revize Technických podmínek TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". Výstupem práce bude ucelený přehled zásad zabezpečení povrchu strmých svahů přilehlých k pozemním komunikacím. Jedinečnost výstupu zajišťuje komunikace, jak s vědeckými institucemi, tak s odborníky z praxe (přímými dodavateli PEO a správci svahů PK). Autor se na tvorbě revidovaného předpisu osobně podílel, přímo komunikoval s účastníky odborného semináře a pomáhal se zapracováním výstupů odborného semináře do nové verze TP 53. Pro navrhování PEO na povrchu svahu je předpokladem stabilita zemního tělesa, ale tou se tato práce ani TP 53 nezabývá. Tato práce reflektuje stav k 1. 3. 2023. Oficiální vydání revidovaných TP 53 je plánováno na konec března 2023.

4. Teoretická východiska

4.1 Eroze

4.1.1 Pojem eroze

Základem termínu eroze je latinské slovo *erodere*, které znamená „vyžírat“ nebo „vykopávat“. Slovo "eroze" se původně používalo v geologii pro označení procesu, při kterém voda vytváří v řekách prohlubně a odnáší pevný materiál. Eroze způsobovaná smyvem a dešťovými srážkami je označována jako "ablace" (latinsky *ablatio* - "odnášet pryč"). Koncem 19. století již byly problémy s říční erozí a jejím podílem na modelování zemského povrchu dobře známy. Celý povrch Země je náchylný k erozi, dokonce i místa pokrytá ledovci, sněhem a stojatou vodou. Eroze se týká všech pevných látek včetně útesů a skal. Na povrchu obnažených skal mohou vznikat rýhy vyhloubené pohybem vody, podobně jako se to děje s půdou. Dešťové kapky mohou skály vymývat a krystalky nesené větrem je mohou drtit. Tyto jevy označujeme jako skalní erozi (Zachar, 1982).

Nejobecnější význam pojmu „eroze“ je narušování pedosféry (půdní obal Země nalézající se na povrchu pevného obalu tvořeného zemskou kůrou – litosférou). V současnosti je eroze popsána jako souhrnný proces obsahující narušení zemského povrchu, přesunu a usazení uvolněných půdních částic účinkem větru, vody, ledu a jiných tzv. činitelů eroze. Eroze způsobuje planaci (zarovnání zemského povrchu). Planace je způsobena narušením a odnesením půdy z jedné oblasti a následným usazením sedimentu v jiné oblasti. Erozí narušené a přenášené částice mohou dále

způsobovat problémy ve vodohospodářství. Částice se usazují ve vodních tocích a snižují tak kapacitu koryt a nádrží nebo negativně ovlivňují kvalitu vody (zákal, eutrofizace atp.) (Janeček at al., 2002).

Eroze půdy je proces, který zahrnuje oddělování jednotlivých půdních částic od půdní hmoty a jejich přemísťování erozními činiteli, jako je vítr a tekoucí voda. Třetí fáze tzv. sedimentace nastává, když již není k dispozici dostatek energie pro unášení částic. Nejúčinnějším narušitelem půdních agregátů je dešťová voda. Dopad dešťových srážek na holý povrch půdy může způsobit, že půdní částice jsou vymrštěny do vzduchu na vzdálenost několika centimetrů. Trvalé působení prudkých dešťů půdu výrazně degraduje. Půdu rozkládají také zvětrávací procesy, a to jak mechanické, tak biochemické. Obdělávání půdy, zhutňování pojezdem, pochozem nebo dobyt看em narušují půdu. K oddělování půdních částic přispívá také proudící voda a vítr. Všechny tyto procesy narušují stabilitu půdních agregátů a umožňují snadný odnos půdních částic. Transportní činitelé odebírají materiál z povrchu půdy a přenášejí jej mimo svah. Ke ztrátě půdy může docházet i pohybem hmoty, jako jsou půdní proudy, sesuvy a plíživé pohyby, při nichž voda působí na půdu uvnitř zemního tělesa a ovlivňuje jeho stabilitu (Morgan, 2005).

4.1.2 Rozdělení eroze

Eroze se dělí dle činitelů působících na vznik a průběh eroze. Podle těchto činitelů lze erozi dělit na: vodní (fluviální), větrnou (eolickou) a sněhovou (nivální). Na svazích podél dopravní infrastruktury řešíme primárně erozi vodní.

4.1.2.1 Vodní eroze

Eroze způsobená vodou je popsána jako reakce zemského povrchu, posun a usazení narušených půdních částic účinkem vody. Tento druh eroze degraduje více jak 50% orné půdy v ČR. Na těchto postižených plochách není aplikována žádná systematická ochrana proti vodní erozi (Novotný et al., 2014). Projevuje se i mimo zemědělské plochy, především na strmých svazích, které vznikají při výstavbě liniových staveb a obecně ve stavitelství. Tato práce se primárně zaměřuje na ochranu svahů PK.

Vodní eroze povrchu strmých svahů je způsobena kinetickou energií dopadajících dešťových kapek a následně unášecí silou povrchového odtoku. Dešťové

kapky narážejí do povrchu svahu, narušují a rozdělují jej na půdní agregáty. Jestliže je intenzita a úhrn srážek tak velký, že přesáhne infiltrační kapacitu dané půdy, dochází k nasycení a vzniku povrchového odtoku, který svou unášecí silou z povrchu odnáší uvolněné půdní částice. Povrchový odtok může nastat i při tání sněhové pokrývky. Síla vodní eroze je ovlivněna intenzitou deště a povrchového odtoku, délkou a sklonem svahu, mírou pokrytí zelení a druhem pozemku. Za erozně nebezpečné srážky považujeme ty, u kterých úhrn přesahuje 12,5 mm a mají intenzitu 6,25 mm za 15 minut a jsou od ostatních dešťů oddělené dobou alespoň 6 hodin. Tyto hodnoty vycházejí z odvození rovnice USLE. K erozi může docházet i za méně intenzivních dešťů, jelikož záleží na místních podmínkách. Červen, červenec a srpen jsou při podmínkách v ČR nejrizikovější měsíce v roce. V tomto období totiž dochází k 80 % z celkového počtu erozně nebezpečných dešťů za rok (Janeček et al., 2012).

Stékající voda se na svazích soustřeďuje a v místech málo chráněných vegetací začíná vytvářet rýžky, rýhy až strže. V místech, kde dochází k narovnání terénu, a tedy snížení unášecí síly povrchového odtoku, dochází k usazování největších unášených půdních částic. Menší částice putují dále a dostávají se až do vodních toků a nádrží, kde sedimentují a postupně je zanášejí (Janeček et al., 2002).

Svahy, které přiléhají k pozemním komunikacím trpí především rýhovou erozí. Na tento typ eroze jsou náchylné především svahy, které nejsou porostlé souvislou vrstvou zeleně. Eroze rýhová se vyznačuje vymletými rýhami, které jsou vytvářeny povrchovým odtokem a postupem času se zvětšují. Zemina z těchto brázd je vodou odnášena do odvodňovacích infrastruktur, kde sedimentuje a následně zamezuje odtoku vody (TP53, 2003).

Díváme-li se na to, co vodní eroze způsobuje na svazích, lze jí dle Jůvy a Cablíka (1963) dělit takto:

- Plošná eroze vzniká smýváním malé vrstvy půdních částic z celého povrchu povrchovým odtokem.
- Výmolová eroze vzniká na svazích, které jsou namáhané vodní erozí a projevuje se hlubokými zářezy, stržemi a výmoly způsobenými povrchovým odtokem.
- Bystřinná a říční eroze vzniká díky dlouhodobému působení vody v úžlabinách a údolích, kde vytváří vodní koryta.

4.1.2.2 Větrná eroze

Jedná se o druh eroze, při kterém jsou jednotlivé půdní částice posouvány, odnášeny a následně po snížení rychlosti větru usazovány různě daleko mechanickou silou větru. Velikost přenášených částic je závislá na síle, směru, hojnosti větru a také je ovlivněna půdními vlastnostmi v dané lokalitě. Nemalý vliv na větrnou erozi má také druh a hustota zeleně chránící povrch půdy (Vopravil at al., 2013).

Proces půdní eroze se úměrně zvětšuje s plochou erodované oblasti. Čím delší je plocha ve směru působení větrného proudění, tím dostává vítr větší možnost nabrat na rychlosti a síle. To zapříčiňuje větší míru abraze a odnášení půdních částic. Kritická rychlost větru je termín využívaný pro vzdušné proudění dosahující rychlosti, při které dochází k překročení přípustné meze pro větrnou erozi (Janeček at al., 2002).

Větrnou erozi lze rozdělit dle velikosti přenášených půdních částic. Nejmenší částice jsou jemně rozptýleny ve vzduchu (suspenze), takto vznikají prашné a písečné bouře. Největší objem přemístěných půdních částí je skokem (saltací), kdy dochází k přemísťování středně velkých částic. K pohybu velkých a těžkých částic dochází sunutím po zemském povrchu (Janeček et al., 2012).

Větrnou erozi lze dělit do tří skupin podle typu přenosu uvolněných půdních částic, který je ovlivněný jejich velikostí:

- Pohyb ve formě suspenze probíhá přenosem velmi malých půdních částic (<0,01 mm), ty jsou unášeny prouděním větru až do výšek několikaset metrů nad zemí. Takto unášené půdní částice mají malou hmotnost, to zapříčiňuje malou rychlost jejich pádu. Jsou-li tyto částice suspenzovány, zůstávají dlouhou dobu ve vzduchu. Za tuto dobu může dojít k jejich přesunu na velkou vzdálenost. Takto unášené částice zastupují nejmenší procento celkového objemu erodované půdy, jedná se ale o její nejurodnější část (Janeček at al., 2002).
- Pohyb skokem (saltací) představuje u větrné eroze druh pohybu půdních částic probíhající v oblasti 30 cm nad zemí. Objem takto přenášené uvolněné půdy se pohybuje mezi 50–80 %. Půdní částice přenášené saltací dosahují velikosti 0,1 – 0,4 mm a způsobují největší škody. Poskakující částice, způsobují narážením do půdy narušení její struktury, čímž dochází

k uvolňování dalších částic. Hlavní následky tohoto pohybu jsou nárazy poškozené klíčící rostliny (Janeček at al., 2002).

- Pohyb sunutím po povrchu se pohybuje okolo 25% erodované půdy. Velikosti jednotlivých částic takto přemísťované půdy je 0,2 – 2 mm. Takto velké částice jsou příliš těžké na to, aby je síla větru dokázala nadzdvihnout, proto jsou přemísťovány sunutím po povrchu (Janeček at al., 2002).

Vzhledem k tomu, že větrná eroze je u PK menšinovým problémem v porovnání s vodní erozí, tak se větrnou erozí tato práce dále nezabývá.

4.1.2.3 Sněhová eroze

Sněhová neboli nivální eroze se od dešťové liší nemalými rozdíly. Například při erozi způsobené deštěm dochází k narušování povrchu půdy kinetickou energií dopadajících kapek. Při sněhových srážkách je naopak kinetická energie dopadajícího sněhu malá, tím pádem nenarušuje půdní povrch. Problémy přicházejí až s táním sněhu, kdy vzniká velký povrchový odtok. Svahy nejsou v zimě tak dobře chráněny vegetací a půda je v tomto období nasycena vodou. To, že je půda nasycena vodou, je způsobeno malým odparem při nízkých teplotách. Voda z roztátého sněhu se nevsakuje, ale odtéká a odnáší s sebou půdní částice. Když dojde k rychlému nárůstu teploty, tání sněhu zrychlí a odtékající voda má větší sílu na odnášení většího množství půdních částic. Povrchový odtok vody ze sněhu je silnější než při stejně velkých dešťových srážkách v letních měsících. V zimních měsících je erozní účinnost povrchového odtoku snížena zamrznutím půdy. Půda může být erodována jen v rozmrzlých částech (Janeček at al., 2002).

Působení sněhové eroze je podle všeho nezanedbatelným procesem. V České republice přesto nebyla prozatím stanovena žádná metoda, podle které by se dalo s jistotou určit množství sněhové eroze. Souhrnné řešení pro tento typ eroze je postavené na zásadách USLE (Univerzální rovnice ztráty půdy), se kterými pracuje simulační model EROSION 3D (Novotný et al., 2014).

Tato práce se dále sněhovou erozí nezabývá, jelikož je oproti vodní erozi u PK zanedbatelným problémem.

4.1.3 Následky eroze

Eroze způsobuje ztrátu části zeminy, která nejvíce přispívá k dobrým podmínkám pro růst vegetace. Takto degradovaná půda má sníženou produkční schopnost, což je velkým problémem pro jednotlivé ekosystémy, kterým se tím snižuje schopnost produkce. Následky eroze mají nemalý dopad i na lidskou populaci. Půdě, se kterou lidé špatně zacházejí, klesá její úrodnost a to zapříčiňuje nižší produkci potravin a také jejich vyšší cenu. Tento problém může mít v některých státech velký vliv na politickou a sociální stabilitu (Janeček at al., 2002).

Půda je na jednom místě erozí narušena a následně odnášena na místo jiné, kde sedimentuje. Těmito místy mohou být vodní toky, rybníky, nádrže a přehrady, které nánosy usazenin zanášejí a zhoršují průtok a kvalitu vody. To může mít za následek snížení dodávek pitné a užitkové vody nebo narušení produkce vodních elektráren. Dále jsou zanášeny dopravní infrastruktury, kde může dojít k omezení provozu. Ve svažitých oblastech, kde eroze způsobuje sesuvy půdy, je ohrožena i stabilita budov. Písečné a prашné vichřice ohrožují zdravotní stav dýchacích cest a očí (Jůva a Cablík, 1963).

4.2 Povrchový odtok

Během deště dochází na svazích k nadměrnému povrchovému odtoku, když je překročena schopnost povrchu vsakovat další vodu (v případě silného deště) nebo při dosažení maximální hranice, kdy je půda schopna infiltrovat vodu (v případě silného deště). Ve zkratce k povrchovému odtoku dochází, pokud intenzita deště překročí intenzitu infiltrace. Povrchový odtok se začíná tvořit až v určité vzdálenosti od koruny svahu, protože nejprve probíhá v podobě plošného odtoku. V kritické vzdálenosti od hřebene se na povrchu hromadí dostatečné množství vody, které umožňuje koncentrovaný povrchový odtok. Zřídka má tok podobu rovnoměrně hluboké vodní plochy. Častěji se jedná o více menších spletitých vodních toků bez zjevných cest.

Rychlost proudění povrchového odtoku je pro erozi rozhodujícím faktorem. K erozi dochází, jestliže unášecí síla vody překročí sílu, která drží půdní částice v klidu.

Jakmile se sediment dostane do proudu, je v něm unášen, dokud nedojde k poklesu unášecí síly pod mezní hodnotu. Pak následuje jeho usazování. Většina rozptýlených sedimentů se před usazením přenesou jen na malou vzdálenost. Usazování je proces selektivní. Selektce probíhá dle velikosti částic. Usazená vrstva postupně hrubne, protože jemnější částice se usazují jako první.

Pro boj s erozí, způsobovanou povrchovým odtokem, je klíčovým prvkem vegetace. Ve většině případů vznikají problémy na polosuchých svazích nebo zemědělsky obdělávaných půdách s minimálním rostlinným pokryvem. Proti erozi, způsobené povrchovým odtokem, lze bojovat pomocí navýšení rostlinného pokryvu. (Morgan, 2005).

4.3 Protierozní opatření

Hlavním účelem navrhování protierozních opatření je snížení eroze půdy na co nejnižší hodnotu. Nejvyšší hodnota půdní eroze po aplikaci protierozních opatření by měla dosahovat maximálně na přípustnou hodnotu ztráty půdy. Jelikož je eroze v přírodě přirozený proces, nelze jí zcela zabránit, je však možné erozi snížit na přijatelnou hladinu. Snížení eroze na co nejnižší hodnotu je jednoznačně nejdůležitějším cílem, ke kterému by mělo každé PEO směřovat (Morgan, 2005).

Působení eroze je možné zmírnit nebo téměř zastavit navržením účinného protierozního opatření. Podnebí a skladbu zeminy v místě působení eroze nemůžeme ovlivnit, ale můžeme se těmito faktory přizpůsobit a navrhnout taková opatření, která v dané oblasti budou nejlépe fungovat. Hlavními úkoly jsou: zabránit dopadajícím dešťovým srážkám narušovat povrch půdy, zajistit infiltrační kapacitu půdy a zpomalit a kontrolovat povrchový odtok vody (TP53, 2003).

Protierozních opatření, která se dají využívat u dopravních staveb, existuje řada. Jde především o to, zvolit správné řešení pro danou lokalitu. Nejvíce využívané protierozní ochrany jsou: pokrytí vegetací, lože z kameniva a georochože. Ochránit svah před erozí pokryvem vegetace je prioritní cíl.

Vegetace je přirozená ochrana půdy, její aplikace je nejlevnější, není náročná na údržbu a soudržnost půdních agregátů a díky prokořeňování půdy v čase narůstá. U vegetačního pokryvu půdy dochází v čase k většímu zapojení, to způsobuje lepší infiltraci vody do půdy a snížení povrchového odtoku. Hustota vegetačního pokryvu

snižuje rychlost povrchového odtoku. Krizovým obdobím u aplikace vegetace je doba před vytvořením zapojení zeleně. Vzházení a zapojení vegetace je možné podpořit použitím (seřazeno vzestupně dle míry podpory): hydroosevu, geosítí, georochozí, geotextilií, syntetiky nebo trvalých materiálů.

Hlavním úkolem při navrhování typu opatření je zjistit odkud, kam a kolik vody proteče, jak na ni bude reagovat půda v místě návrhu a navrhnout takové protierozní opatření, které minimalizuje erozi. Důležité je navrhnout opatření tak, aby voda odtékala kontrolovaně a co nejméně erozně namáhala svah. Protierozní opatření je ideální vybudovat již během výstavby dopravní infrastruktury a to formou dočasných opatření. Následně je vhodné postupně během výstavby nahrazovat trvalými opatřeními biologického, biotechnického až technického stavu (Fay, Akin a Shi, 2012).

V TP 53 (2003) jsou protierozní opatření rozdělena podle typu materiálu:

- Technická opatření, při kterých jsou využívána především zařízení odvádějící vodu. Technicky lze s erozí bojovat také pomocí upravení tvaru georeliéfu a druhu zeminy.
- Biologická opatření jsou pro přírodu nejpřirozenější. K ochraně svahů je využívána vegetace (stromy, keře, traviny atd.). Která svah chrání, zároveň přispívá k jeho regeneraci a napomáhá svahům podél dopravních komunikací zapadnout do okolní krajiny.
- Chemická opatření jsou stabilizátory, které vylepšují vlastnosti hydroosevu tak, aby svah rychleji porostl souvislou vrstvou zeleně a byl dostatečně chráněn proti erozi.
- Kombinovaná opatření jsou nejúčinnějšími opatřeními proti erozi. Vznikají spojením technických a biologických opatření. Geotextilie s hydroosevem, geotextilie položená na osetý svah nebo zatravnňující rohože jsou jedny z nejvíce využívaných biotechnických opatření.

4.4 Výpočty erozního smyvu

Cook (1936) položil základy matematického vyjádření erozního procesu. Podle něj jsou hlavními faktory, které se podílejí na vzniku a průběhu erozního procesu náchylnost půdy k erozi (erodovatelnost), potenciální erozní účinnost deště a povrchového odtoku, vliv sklonu a délky svahu a ochranný účinek vegetačního krytu.

4.4.1 USLE

V České republice se obdobně jako jinde ve světě pro zjištění ohrožení půdy vodní erozí a vyhodnocení účinnosti vyprojektovaných protierozních opatření využívá rovnice USLE – Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí. Tento výpočet vychází z přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku, jenž má definovaná kritéria, která jsou odvozena z běžných základních odtokových ploch o sklonu 9 % a délce 22,13 m s povrchem, který je po všech přívalových deštích mechanicky kypřen ve směru sklonu svahu jako úhor bez vegetace. Výsledek slouží k určení výše erozního ohrožení půdy. Je popsán jako maximální hodnota eroze půdy, která zajišťuje dlouhodobě a ekonomicky dostupnou udržitelnost dostačující úrovně úrodnosti půdy (Janeček et al., 2012).

Vodní eroze způsobující ztráty půdy se pomocí rovnice USLE (Rovnice č. 1) počítá dle Wischmeiera a Smitha (1978) takto:

$$G = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Kde G - průměrná dlouhodobá ztráta půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]

R - faktor erozní účinnosti deště [$MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$]

K - faktor erodovatelnosti půdy [$t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1}$]

L - faktor délky svahu

S - faktor sklonu svahu

C - faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu

P - faktor účinnosti protierozních opatření

4.4.2 RUSLE

Výpočet RUSLE (Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy) odhaduje průměrnou roční ztrátu půdy. Jedná se o revidovanou verzi univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), která vyžaduje větší množství vstupních dat. Tento vzorec se zapisuje podobně jako USLE (Rovnice č. 1). Univerzální rovnice ztráty půdy je empirická základní rovnice. Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy je pouze jednou z mnoha modifikací modelu USLE (Djoukbalá et al., 2019).

4.4.3 MUSLE

Vzorec MUSLE (Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy) je upravenou verzí vzorce USLE. Tento výpočet nahradil srážkový faktor (R) transportním činitelem v erozním procesu. Ten určuje objem splavenin z přívalového deště z povodí o rozloze od 0,15 km² do 15 km² (Sadeghi et al., 2014). Vzorec MUSLE (Rovnice č. 2) se zapisuje dle Williamse a Berndta (1977) v následujícím tvaru:

$$G = 11.8(Q \times q_p)^{0.56} * K * L * S * C * P \quad (2)$$

- kde
- G – transport splavenin [t]
 - Q – objem přímého odtoku [m³]
 - q_p – kulminační průtok [m³·s⁻¹]
 - K – faktor erodovatelnosti půdy [t]
 - L – faktor délky svahu
 - S – faktor sklonu svahu
 - C – faktor ochranného vlivu vegetace
 - P – faktor účinnosti protierozních opatření

5. Zásady navrhování protierozních opatření

Dodržování zásad a jednotlivých kroků při návrhu protierozních opatření je základním pravidlem pro vyprojektování a realizaci účinných opatření zabraňujících působení eroze. Avšak pro boj s erozí na svazích dopravních infrastruktur v České republice neexistuje žádný zákon ani vyhláška, která by právně vymezovala, jak navrhovat a realizovat protierozní opatření. Lze se řídit dle technických podmínek, které vydalo v roce 2003 Ministerstvo dopravy obor pozemních komunikací s názvem

TP 53 – Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Tento dokument je ale již nedostačující a proto v současné době pod hlavičkou Ředitelství silnic a dálnic České republiky vzniká aktualizovaná verze TP53, která bude rozšířena o nejnovější poznatky, postupy a materiály využívající se pro zdárný návrh a realizaci protierozních opatření.

5.1 Obecné zásady

Informace v této kapitole vycházejí z poznatků získaných na odborném semináři pořádaném v Kostelci nad Černými Lesy pod záštitou projektu revize Technických podmínek TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". Publikované zdroje v této kapitole jsou odcitovány dle normy.

5.1.1 Výchozí podmínky úspěšného návrhu

Před zahájením navrhování protierozních opatření je zapotřebí zajistit primární výchozí podmínky pro návrh PEO strmého svahu, kterými jsou bezpečné odvedení takzvané cizí vody a zajištění statické stability zemního tělesa.

Jedním z těchto faktorů je „vnější/cizí“ voda. Za vnější vodu jsou považovány odtoky vznikající na pozemcích sousedících se svahy, na kterých je prováděn návrh protierozních opatření. Je zapotřebí zamezit jejímu přítoku na plochu svahu. Toho se dosáhne pomocí výpočtu „vnějších/cizích“ vod a navržením koryt, zářezových příkopů, retenčních systémů apod. Tyto systémy odvádějící „vnější/cizí“ vodu se dimenzují podle postupů uváděných např. v ČSN 75 2106-1, TP 83, TP 204, TP 232.

Zemní tělesa mají být chráněna před negativním působením vod z okolí stavby, tj. vnějších nebo cizích vod (ČSN 75 0142). Tyto vody musí být odvedeny mimo těleso stavby nebo do odvodňovacího systému PK.

Výpočet eroze je jeden z nejdůležitějších podkladů pro navrhování protierozních opatření. Výpočty se využívají k zjištění míry působení erozních činitelů a jako podklad pro dobrý návrh protierozních opatření. Při navrhování těchto opatření u PK se výpočty nejvíce zabývají objemem povrchového odtoku, který vniká na svazích. Výsledky slouží k vyprojektování správně dimenzovaného systému, který bude zajišťovat vsakování a kontrolovaný odtok přebytečných dešťových vod. Metodami výpočtu jsou empirické vzorce a matematické modelování.

Nutné je také zajistit statickou stabilitu svahu, které docílíme dle technických norem: ČSN EN 1990 (Zásady navrhování konstrukcí), ČSN 73 6133 (Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací), ČSN EN 1997-1 (Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla).

Dále se také musí vyřešit: spodní voda vyvěrající nebo pramenící na povrch svahu, stavby a konstrukce, které by mohly ovlivnit jeho strukturu a odtok na svahu.

5.1.2 Požadavky investora

Při komunikaci mezi investorem a projektantem musí dojít k vyjasnění vize investora a k následnému navržení účinných protierozních opatření, která budou splňovat jeho požadavky. Projektant by se ale neměl snažit vyhovět investorovi za každou cenu. Jedná-li se o zadání, u kterého je velmi obtížné realizovat funkční opatření, je úkolem projektanta usměrnit investorovy požadavky tak, aby bylo možné vybudovat účinné opatření proti erozi.

5.1.2.1 Požadovaný finální stav svahu

Investor má možnost vybírat z několika možností finálního vzhledu. Svah může být celoplošně pokryt travním, travinobylinným, keřovým nebo stromovým porostem. Možná je také kombinace více druhů porostu. Jestliže investor požaduje svah z obnaženého skalního povrchu nebo plochu uměle zakrytou technickým materiálem není zapotřebí protierozní opatření navrhovat.

5.1.2.2 Požadovaný způsob údržby svahu

„Údržba: soubor prací potřebných k zachování funkčnosti neživých prvků a doplňků zeleně“ (ČSN 83 900).

Způsob, kterým se bude svah v budoucnu udržovat, má vliv na návrh vegetačních druhů, které budou na svahu růst. Údržba může být pravidelná nebo nepravidelná. Dále ji lze dělit podle způsobu údržby. Vegetační porost se udržuje ručně, motomanuálně, strojně nebo kombinací těchto způsobů. Posečené trávy a byliny se mohou odklidit nebo zanechat na svahu. Solitérní dřeviny se udržují příležitostně, ale pouze ručně nebo motomanuálně.

5.1.3 Podklady a výsledky průzkumů

Intenzita a podoba eroze se liší v závislosti na místních činitelích (hydrologických, územních, půdních, biologických aj.), ti ovlivňují, zda-li eroze vznikne, jak bude probíhat a v jaké intenzitě bude působit. Tyto činitele nikdy nepůsobí na erozi jednotlivě, ale vždy kombinovaně a každý různou mírou, v závislosti na místních podmínkách (Jůva a Cablí, 1963).

Těmito činiteli je následně po realizaci ovlivňována i protierozní ochrana. Proto nelze na všechny svahy aplikovat protierozní opatření stejného typu, ale je nutné při návrhu zohlednit všechny výsledky průzkumů, podkladů a výpočtů. Za využití těchto získaných informací je možné navrhnout opatření, které bude v dané lokalitě nejefektivnější. Ignorací místních faktorů může dojít k tomu, že např. druh travního porostu, který potřebuje k životu spousty slunečního svitu a dobré povětrnostní podmínky, bude navržen do lokace, ve které je po většinu dne stín a povětrnostní podmínky nepříznivé, což může způsobit jeho úhyn. Díky tomu se stane protierozní opatření nefunkční a je zapotřebí navrhnout a vybudovat nové. To má negativní vliv na finanční náklady.

5.1.4 Vlastní návrh protierozních opatření

Na základě požadavků investora a dle výsledků získaných z průzkumů se zvolí vhodný typ protierozního opatření a vypracuje se technická dokumentace řešení PEO (protierozní opatření). Vhodný typ ochrany se vybere z Technické podmínky TP 53, kde jsou v kapitole 5 uvedeny metody a materiály vhodné pro PEO. Doporučení z Technických listů PEO by při výběru neměla být opomíjena. Přírodní materiály by měli být upřednostněny před opatřeními technického charakteru, splňují-li technické požadavky na stabilitu a odolnost.

Zpracování technické dokumentace pro PEO bude provedeno osobou s autorizací v daném oboru, v souladu se současným stavebním zákonem a zákonem č. 360/1992 Sb. v platném znění. Grafické přílohy budou vypracovány s ohledem na normy ČSN EN ISO 11091, ČSN 01 3466, ČSN 01 3473, VL 1 a VL 2.

5.1.5 Kontrola kvality protierozních opatření

Aby opatření sloužila svému účelu, je nezbytné řádně připravit povrch svahu a dodržovat protokol při jejich aplikaci na svah. Pod dohledem projektanta a v souladu s platným stavebním zákonem bude provedena kontrola předpokladů pro provedení PEO a následný postup prací. Následující kapitola obsahuje komplexní specifikace a pokyny k realizaci.

5.2 Protierozní opatření na svahu PK

Následující kapitola se věnuje jednotlivým protierozním opatřením používaným na svazích. Primárním úkolem je snaha ochránit svah vegetací. Pokud je samotná vegetace nedostačující, je vhodné podpořit ji např. hydroosevem nebo geosyntetikou. Použití syntetických a trvalých materiálů, by mělo být až poslední možností, jsou-li přírodní materiály nedostačující.

Publikované zdroje v této kapitole jsou odcitovány dle normy a nepublikované zdroje jsou citovány jako ústní sdělení.

5.2.1 Plošná ochrana svahu výsevem travních společenstev

Travní a jetelotravní společenstva lze úspěšně založit pouze tehdy, jsou-li splněny podmínky pro výsev, je-li připravena správná směs pro danou oblast a je-li použita správná technologie pro založení porostu a následnou péči o něj. Travní a bylinná společenstva mohou dobře růst pouze tehdy, je-li půda dobře připravena. To je na místech náchylných k erozi často velmi složité. Krajinné travní porosty se obvykle obhospodařují pouze ve velkém měřítku a obhospodaření zahrnují kosení, mulčování nebo ponechání rostlin bez zásahů.

Pokud se tyto druhy travníků nacházejí v blízkosti silnic, mohou se také znečistit těžkými kovy a solemi, které se hromadí v okolí silnic. To znamená, že výběr použitých směsí by měl být pestřejší a měl by zahrnovat nejen erozně ochranou vegetaci, vegetaci odolnou vůči suchu, ale také vegetaci s vyšší biodiverzitou a odolnou vůči solím v rizikových oblastech. Založení dlouhodobě funkčního porostu vyžaduje pečlivé plánování, stejně tak analýzu stanovištních podmínek ve vztahu k požadované skladbě porostu a řízení jeho údržby (Zlatuška, ČZÚ, ústně 28. 4. 2022).

5.2.2 Plošná ochrana geosyntetikou s osemem

Před pokládkou geosyntetik se předem připravená plocha svahu osévá. Na rovném terénu se tento postup využívá nejčastěji, protože je rychlý a nejlépe podporuje přirozený růst rostlin. Menší nebo hůře přístupné oblasti se obvykle osévají ručně a to buď ručním rozmetáním osiva nebo s využitím různě konstruovaných ručních secích strojů (štěrbínových, odstředivých rozmetadel apod.). Při použití osetých travních rohoží (geokompozitů) se samostatný výsev neprovádí.

Manipulace s geosyntetikou, která je dodávaná v rolích, má probíhat tak, aby nedošlo k poškození výrobku. Musí být skladována na zpevněné suché ploše, aby byla chráněna před vznikem plísně, degradací a ztrátou technických vlastností geosyntetiky. V případě zatravnovacích rohoží je zapotřebí zajistit skladování v takových vlhkostních a teplotních podmínkách, aby nedošlo k degradaci nebo předčasnému klíčení osiva (Zýka, JUTA, ústně 28. 4. 2022).

Aplikace na svah:

Pro použití geosyntetik na svahu platí hlavní pojmy uvedené v kapitole 5.2. Pásky geosyntetiky se aplikují po svahu podél sklonu s překrytím sousedních pásů o 10 až 50 cm (podle doporučení výrobce). K upevnění sítě ke svahu se používají ocelové kotvy různých tvarů nebo dřevěné kolíky. Kolíky mohou být vyrobeny výhradně ze dřeva nebo ze dřeva a hřebíků. Počet potřebných kotev se určuje podle jedinečných podmínek na staveništi, sklonu a podle délky svahu. Obecně se používají 1 až 4 kotvy na m². Větší počet kotev se používá lokálně v místě řezu, aby se zabránilo pohybu sítě a jejímu zvedání větrem.

Vzniku prošlapů a nerovností na povrchu svahu se zabrání tak, že se pracovníci v oblasti svahu budou pohybovat po položených žebřících. Kdyby vznikli nerovnosti a prošlapy, zabránili by kontaktu zeminy s geosyntetikou. Ta by pak nemohla plnit svou ochrannou funkci a omezovala by vývoj rostlin. Rostliny by geosyntetiku v těchto místech pouze nadzvedly, ale nedokázaly by prorůst skrz. To by vedlo k úhynu vegetace díky nedostatku světla. V těchto prohlubních bez rostlin by se začal hromadit povrchový odtok a vytvářel by erozní rýhy schované pod povrchem geosyntetiky. Po rozkladu geosyntetik by takto zasažená místa nebyla chráněna proti erozi vegetací (která uhynula) a celá aplikovaná protierozní ochrana by byla díky špatnému postupu při realizaci nefunkční.

Geosyntetika plní svou úlohu účinného protierozního opatření jen tehdy, když je zajištěna přilnavost k podloží. K tomu je zapotřebí vhodně připravený povrch půdy, pokládka pásů bez pnutí a ukotvení s vhodnou hustotou. Ve výjimečných případech, které jsou dostatečně odůvodněné, lze provést i dodatečné zakrytí položených geosyntetik a jejich zajištění sypkou humózní zeminou. V místech se zvýšeným nebezpečím požáru se doporučuje použít k zakrytí položené sítě písek. Je nezbytné, aby tloušťka této dodatečné vrstvy zeminy nepřesahovala tloušťku samotné geotextilie.

Pásy geosyntetiky je třeba upevnit do výkopu o šířce 0,3 m a hloubce 0,3 m (tzv. zámek), do kterého se síť upevní pomocí kolíků a poté se vyplní zeminou. Tento výkop musí být umístěn v horní části svahu. Podobným způsobem se síť připevní k zemi u paty svahu. Alternativně lze v tomto místě použít štěrk nebo kameny (Zýka, JUTA, ústně 28. 4. 2022).

5.2.3 Svah chráněný plošnou ochranou geosyntetiky s výsadbou dřevin

Návrh a instalace protierozní výsadby stromů podél dálničních tahů by měli vycházet z komplexního průzkumu stávajících podmínek a na základě této analýzy by měly být navrženy pracovní postupy:

- Zjištění, které funkce dřevinné složky vegetačního krytu jsou nejdůležitější z hlediska jejich potenciálního vlivu na životní prostředí.
- Určení zásadních pěstebních zásahů, které je třeba provést ve stávajících dřevinných porostech, aby bylo dosaženo požadovaných funkcí.
- Pojmenování a zmapování jednotlivých druhů dřevin v prostoru a v čase s důrazem na jejich příslušné funkční členění.
- Identifikace zásadních pěstebních zásahů v rámci stávajících složek bylinného podrostu a dřevinné vegetace za účelem zvýšení jejich kvality a zajištění bezpečnosti provozních činností.
- Odhad a sestavení seznamu potřebných výsadbových ploch, osiva, sazenic a dalších potřeb včetně chemikálií pro realizaci plánu (hnojiva, pesticidy).

- Vypracování rozpočtu potřebných finančních prostředků na realizaci, vypracování harmonogramu úkolu, včetně údajů o personálním, materiálním a technickém vybavení.

Vzhledem k velmi nepříznivému klimatu je nutné zohlednit při návrhu následující problémy:

- Nutnost zimní údržby cest (solení, postřik CaCl_2).
- Vyšší množství přítomných zápachajících plynů (výfukové plyny, olejové kapaliny).
- Nehledě na nepříznivé půdní podmínky způsobené rozsáhlými přesuny půdy (zářezy, náspy) je třeba používat nezbytné techniky zakládání a udržování porostů.

Je nutné definovat primární funkce stromů s přihlédnutím k přírodním a socioekonomickým podmínkám, které nyní existují v okolním regionu a v koridoru silnice a také k předpokládaným změnám těchto veličin. V první řadě je to výběr druhů stromů, které jsou schopny splnit následující požadavky:

- Minimální požadavky na kvalitu půdy.
- Odolnost a tolerance vůči imisím z pevných a plynných látek.
- Odolnost a tolerance vůči solení a postřikům (je třeba rozlišovat mezi účinky solení půdy a účinky solného aerosolu a postřiku CaCl_2 , které ulpívají na nadzemních částech rostlin a způsobují jejich odumírání).

Výsadba musí být provedena ručně do otvorů (prořezů), které byly vytvořeny v geosyntetice buď při přípravě nebo těsně před výsadbou stromu (Obrázek č.1). Manipulace a skladování geosyntetik je popsáno v kapitole 5.2.1.1. (Zýka, JUTA, ústně 28. 4. 2022).



Obrázek 1: Svah plošně chráněný geosyntetikou s výsadbou dřevin (Geomat, 2017)

Aplikace na svah:

Aplikace geosyntetik na svah je popsána v kapitole 5.2.1.1.1.

V případě použití tkaných geotextilií stačí před zasazením dřeviny pouze roztáhnout oka. Stříhání přízi se aplikuje pouze při použití sazenic s baly většími než 9 cm. Stříhají se pouze vodorovné příze a to v co nejmenší míře (Zýka, JUTA, ústně 28. 4. 2022).

5.2.4 Svah chráněný hydroosevem za podpory geotextilie

John (1987) uvádí, že geotextilie jsou: "*Propustné textilie používané ve spojení s půdou, podložím, horninou, zeminou nebo jakýmkoli materiálem souvisejícím s geotechnickým inženýrstvím.*"

K výrobě protierozních geotextilií se používají přírodní (juta, kokosové vlákno, sisal, obilná sláma a palmové listy) nebo syntetické (nylon, polypropylen, polyester a polyethylen) materiály. Geotextilie se používají k rozdělení dvou různých vrstev půdy, ke stabilizaci svahů, k prevenci eroze půdy, k podpoře rozvoje a k zakládání a ochraně zeleně na půdách pozmeněných člověkem (Bhattacharyya at al. 2010).

Jde o nejefektivnější metodu rozvoje travních porostů, která se důrazně doporučuje pro svahy se sklonem nad 30 %. Jedná se o nejzásadnější techniku výsevu pro společenstva, která mají zástupce dvouděložných rostlin, jež mají oproti travinám

pomalejší růst. Hydroosev je tradičně využíván pro rychlé zakládání porostů v obtížně přístupných oblastech. Hydroosev je důležitý v kamenitých zářezích a na plochách s horší kvalitou půdy nebo bez vegetačního substrátu. Jako podpůrné geosyntetikum se vždy použije tkaná geotextilie z přírodních přízí (obvykle z kokosu, viz Obrázek č. 2.). Manipulace a skladování geotextílie je popsáno v kapitole 5.2.1.1. (Zýka, JUTA, ústně 28. 4. 2022).



Obrázek 2: Svah osetý za pomoci kokosových protierozních sítí (Juta, 2021)

Aplikace na svah:

Zakládání travnatých a lučních společenstev, která zabraňují erozi a ve výjimečných případech také zakládání stromových porostů, probíhá pomocí hydroosevu, který se aplikuje specifickým strojem (hydroseeder). V tomto stroji se připraví a smíchá kombinace osiva, vhodného pojiva (fixátoru), půdních zlepšujících látek (podpora klíčení, kypření), mulčovacích materiálů nebo hnojiv, organické hmoty a vody, která se pod vysokým tlakem rovnoměrně rozprašuje na vymezenou plochu. Různé složky jsou určeny k tomu, aby splňovaly požadavky oseté plochy a pomáhaly udržet půdu a osivo na správném místě stanoviště, dokud se neujme přirozený růst. Postřík je dodáván hadicí nebo věžovým postřikovačem vybaveným několika druhy trysek.

Aplikace hydroosiva je podmíněna splněním řady parametrů, z nichž nejdůležitější jsou existence vhodné teploty a dostatečné množství vlhkosti po aplikaci. Větší šanci na schválení mají žádosti podané v období od března do června a od září do prosince (v závislosti na počasí v daném období). Po dokončení terénních

úprav by aplikace hydroosevu měla proběhnout nejpozději do 14 dnů. Zejména při přípravě svahů je třeba věnovat zvláštní pozornost míře hladkosti povrchu, aby nedocházelo k jeho zanášení. Povrch nesmí být zaplevelen a je-li tomu tak, musí být odplevelen buď chemickými nebo mechanickými prostředky. Je důležité, aby plocha byla zbavena velkých kamenů. Po aplikaci musí být směs po dobu 24 hodin chráněna před deštěm, aby se mohly plně rozvinout její technické vlastnosti (Zýka, JUTA, ústně 28. 4. 2022).

5.2.5 Svah chráněný geobuňkami

Geobuňky jsou ekonomickým řešením, které snižuje náklady při aplikaci v náročných erozních podmínkách. Výplňový materiál je chráněn samotnou strukturou buňky připomínající plástev medu (Obrázek č.3.), což ho chrání i před posunem. Pokud je systém geobuněk instalován na silničních náspech, chrání svah před ničivými účinky vodní eroze.



Obrázek 3: Aplikace geobuněk před zásypem na svahu (Geomat, 2011).

Stěny geobuněk jsou tvořeny z děrovaných proužků fólie vzájemně spojovaných svařováním. Jednotlivé buňky lze vyplnit zeminou s osivem nebo kamenivem. Děrované stěny zajišťují propustnost vody a také umožňují dosažení větší stability svahu díky prorůstání kořenů mezi jednotlivými buňkami. Využívají se k protierozní ochraně svahů do sklonu 40° s možným kotvením do podkladu.

Výrobce určuje specifikace pro manipulaci a skladování geobuněk. Geobuňky jsou výhodné díky své obrovské skladovací kapacitě. Připravená "pláštve" se skládá téměř do 2D tvaru a teprve na svahu se rozkládá do 3D struktury. Další výhodou geobuněk je jejich vysoká pevnost v tahu, odolnost proti přetržení, nižší ekonomická náročnost, jednoduchá instalace a nízká náročnost na údržbu. Geobuňky se vyrábějí s různě vysokými stěnami (obvykle 50, 100, 150 mm) a s odlišnými počty buněk na m² (obvykle 32 nebo 36). Volbu konkrétního typu geobuněk pro dané podmínky upřesňuje dodavatel. (Grepl, Marcador, ústně 28. 4. 2022).

Aplikace na svah:

Instalace se provádí na základě technického listu dodaného výrobcem. V závislosti na různých systémech a druzích geobuněk se liší i technika instalace. Kromě toho každý distributor poskytne postup pro jím distribuované položky. Základním předpokladem je umístění na vytvořený svah, jeho ukotvení a pokrytí travnatou zeminou vhodné zmitosti a složení. Poté následuje osetí a u větších geobuněk i výsadba stromů.

Před stavbou je třeba svah připravit (srovnat a zbavit velkých kamenů, kořenů). Kotvení se provádí pomocí kotev dodaných distributorem výrobku (délka kotvy se volí podle výšky stěny geobuňky, charakteru půdy a svahu). Správné ukotvení je zásadní, protože kromě vlastní hmotnosti musí unést i hmotnost zeminy uložené v každé buňce. Výplňový materiál se určuje podle technických, ekonomických a estetických potřeb stavby. Výplňový materiál může mimo jiné tvořit písek, štěrk, zemina, drenovaný kámen, beton a původní materiál staveniště. Otvory vyplněné zeminou se následně osejí travním semenem, v případě větších geobuněk se mohou vysadit byliny nebo stromy. Jakmile rostliny a jejich kořenový systém zcela dozrají, celá konstrukce se zpevní a je lépe vybavena k plnění ochranných a stabilizačních funkcí (Grepl, Marcador, ústně 28. 4. 2022).

5.2.6 Svah chráněný zatravněvacími dílci ze syntetických hmot

Zatravněvací dílce mají schopnost propouštět dešťovou vodu a po zatravnění mají přirozený vzhled. Pro zlepšení stability svahu mají dílce otvory na kotvící tyče. Propojení dílců je zajištěno zapadávajícími zámkami. Dílce jsou chráněny proti silám působícím na svahu dilatačními spárami. Tvárnice zamezují smyvu povrchu půdy a oproti např. betonovým tvárnici umožňují zatravnění svahu až na 96 %.

Po vyplnění položených dílců na svahu humózní zeminou nebo substrátem je dalším krokem osetí svahu (Obrázek č.4.). Většina výsevů se provádí přímým výsevem, který se provádí ručně. Osivo se vysévá na předem připravenou plochu. Tento postup se používá, protože je relativně rychlý, nabízí ideální podmínky pro přirozený růst porostu a je to způsob, který je nejrozšířenější. Ruční výsev se často používá v oblastech, které jsou buď příliš malé nebo obtížně přístupné. Může probíhat ručním rozdělováním osiva nebo použitím některého z mnoha různých typů ručních secích strojů (štěrbínové, odstředivé rozmetací stroje atd.) (Lichý, Maccaferri, ústně 28. 4. 2022).



Obrázek 4: Svah chráněný proti erozi zatravněnými syntetickými dílci (ECORASTER, 2023).

Výsadba dřevin se provádí po pokládce geobuněk. Výsadbu je nutno provádět ručně do otvorů vyplněných humózní zeminou nebo substrátem. Metody výsadby jsou uvedeny v kapitole 5.1.2.

Aplikace na svah:

Skládání, manipulace a aplikace zatravnovacích dílců se provádí v souladu s technickým nebo technologickým listem výrobcem nebo dodavatelem. Při vyrovnávání povrchu nosnou a vyrovnávací vrstvou je zapotřebí na připravený podklad aplikovat tyto vrstvy v dostatečné tloušťce. Na svah se aplikují již spojené jednotlivé dílce dohromady, které se následně ukotví a vyplní až po horní okraj dílců buď vhodnou ornici nebo směsí písku se zeminou, humusem a dále substrátem obsahujícím hnojivo pro zatravnění. Tím se vytvoří povrch vhodný pro zatravnění (Lichý, Maccaferri, ústně 28. 4. 2022).

5.2.7 Ochrana svahu pokrytím pohoze, záhozem nebo rovnaninou

Vytvoření souvislé vrstvy kamene nebo kameniva na svahu silnice pomáhá chránit svahy před erozí. Toho lze dosáhnout pohozy, rovnaninami nebo záhozy z kamene sesbíraného na místě nebo vytěženého v lomu v souladu s normami EN 72 1860 a EN 13383-1. Pomocí jednoduchého osetí, mulčování zeleným senem nebo hydroosevu lze upravenou plochu využít k rozvoji travního nebo lučního společenstva.

V případě, že je cílovým vegetačním krytem stromový porost tvořený zakořeněnými kusy vegetace (větvemi a proutím), je nutné provést oživený zához. To obnáší položení vrstvy živého proutí nebo chrastí jako podestýlky. Vrstva kamenů stlačí proutí a přilne k povrchu půdy, zakoření a začne prorůstat mezerami v kamenivu na povrch svahu. Alternativní volbou je oživená rovnanina. Ta spočívá ve vkládání živých prutů nebo větví mezi kamenné bloky, které jsou rovnány a zatlačovány do podkladové půdy (pod filtračními vrstvami). Jednotlivé kamenné bloky zabraňují posunu větví a proutí, které se zakoření a prorostou mezi kamennými bloky na povrch svahu (Zlatuška, ČZÚ, ústně 28. 4. 2022).

5.2.8 Ochrana svahu za pomoci povázek, haťových válců a plůtků

Povázky a haťové válce se musí aplikovat do rýhy na svah s minimálním sklonem 10 % a ukotvit kolíky nebo ocelovými tyčemi o délce 60 cm. Kotvení je nutné provádět v rozestupech po 80 cm a kotvy zatloukat svisle do svahu tak, aby lícovaly s horním okrajem povázky nebo haťového válce. Po dokončení kotvení se zasypou po jejich horní okraj. Vzniklý svah se oseje travním nebo travinobylinným porostem, možné je také vysadit dřevinný porost.

Plůtky se umísťují směrem do svahu nad předem zatloukané ocelové tyče nebo kolíky, rozmístěné podle půdních vlastností a dlouhé tak, aby lícovaly s vrchní hranou plůtky. Plůtky se poté zahrnou zeminou tak, aby byly zcela zakryty přibližně 5 cm pod povrchem svahu. Svah musí být vyrovnán, aby v něm nevznikly zářezy pod jednotlivými plůtky. Vzniklý svah se oseje travním nebo travinobylinným porostem, možné je taky vysadit dřevinný porost (Zlatuška, ČZÚ, ústně 28. 4. 2022).

5.2.9 Svah chráněný 3D ocelovými panely

Alternativou k běžným ocelovým ochranným sítím a georohožím mohou být 3D ocelové panely vyplněné kamenivem a následně zasypané zeminou. Tato technika

je vhodná pro velmi strmé svahy (do 65°), která do určité míry umožňuje vysazovat dřeviny v podobě keřů. Systém se skládá z lisovaných ocelových desek odolných proti korozi. Zvýšené náklady této metody jsou vyváženy tím, že ji lze použít i na velmi strmých a nestabilních svazích.

Ozelenění svahu chráněného trojrozměrnými ocelovými panely se provádí hydroosevem, výsadbou stromů nebo rozprostřením trávy či travinobylinných směsí (Auer, Krismer, ústně 29. 4. 2022).

Aplikace na svah:

Manipulace, skladování a instalace se provádí podle technického listu dodavatele nebo výrobce. 3D ocelové panely se umístí na zarovnaný svah pod úhlem ke spádnicí (Obrázek č.5) a upevní se pomocí vrtaných hřebů, podložek a matic v pravidelném rastru. Systém ocelových lan udržuje vše na místě. Výsledkem tohoto postupu je systém, který je plný kameniva v poměru frakcí 32/63. To se aplikuje jak strojově tak ručně pomocí horolezeckého vybavení. Kamenivo je možné prokládat organickým materiálem, který přispívá k ozelenění svahu. Je však důležité zvolit takové druhy rostlin, které zvládnou prokořenit velkou vrstvu panelů a zeminy (Auer, Krismer, ústně 29. 4. 2022).



Obrázek 5: 3D ocelové panely aplikované na svah pod úhlem ke spádnicí (Krismer, 2017).

6. Výsledky práce

Výsledky této práce zahrnují ucelený přehled zásad zabezpečení povrchu strmých svahů přilehlých k PK. Tento přehled obsahuje nejnovější poznatky o technologiích a materiálech, které se používají k ochraně strmých svahů PK před erozí. Byla popsána aktuálně využívaná protierozní opatření včetně nezbytných terénních úprav, stabilizačních systémů a vegetačních technologií.

Obecně pro většinu protierozně ochranných materiálů dle aktuální praxe platí následující zásady:

- Zajistit plný kontakt mezi zeminou a podložím a stanovit vhodnou velikost zrna zeminy.
- Při zasypávání georohoží volit vhodné velikosti zrna, aby propadla otvory georohože a byl opět zajištěn plný kontakt s podložím.
- Při vytváření rostlinného krytu musí být dodrženy minimální normy pro obsah organické hmoty a struktury půdy (v závislosti na charakteru vegetace – jak stanoví projektant).
- Zajistit dostatečnou fixaci materiálu na svahu (zabránit posunu směrem dolů nebo nadzvednutí větrem, vegetací atd.)
- Zajistit stabilitu struktury ochranného materiálu a chránit ji proti poškození. Během montáže se nesmí prořezávat svislá vlákna tkaných geotextilií. Pokud by bylo nutné ochranné materiály prořezat z důvodu výsadby (stromů/řezanek), mohou se prořezávat pouze vodorovná vlákna. Zásadní je důkladné upevnění geosyntetiky ke svahu pomocí vhodných kotev ve velkém počtu a nepravidelném sponu. V případě prořezů (např. kolem stromu) je zapotřebí geotextilii dostatečně ukotvit.
- Rolované materiály musí být aplikovány svisle od horní hrany svahu k patě svahu a musí být zajištěn dostatečný přesah sousedících pásů. Instalace geosyntetik ve vodorovných pásích je přípustná pouze ve výjimečných případech, tj. pokud se k zajištění celé plochy svahu použijí maximálně 2 pásy,

včetně kotvení na horní hraně svahu, zachování dostatečného přesahu a jeho adekvátní fixace.

- Během instalace geosyntetik a výsevu vegetace je nutné omezit přístup osob na svah. Aby se minimalizovaly prošlapy, které by způsobily následné soustředění povrchového odtoku a vznik erozních rýh v půdě pod geosyntetikou, je nezbytné provádět tyto úkony pomocí žebříků nebo lešení s malým tlakem na svah.
- Povrch geosyntetiky se nezasypává zeminou nebo pískem. Výjimku tvoří pouze geosyntetika, do které je zemina zapuštěna (např. u geomateriálu), kde je nutná zvýšená požární ochrana geosyntetiky (zemina uložená nad povrchem nebo výstupky geosyntetiky jenž nejsou chráněny před erozí). Tam, kde je za potřeby zvýšená požární ochrana, je možné ji zasypat pískem.
- Při volbě konkrétního produktu opatření upřednostňovat přírodní materiály a pouze pokud tyto materiály nejsou schopné poskytnout dostatečnou protierozní ochranu, volí se materiály trvalé.
- Při výběru konkrétního materiálu a hloubky uložení zohlednit možnost narušení PEO hlodavci nebo lesní zvěří.
- Zohlednit odolnost materiálů vůči případným chemickým postřikům (např. herbicidům, arboricidům a solným roztokům rozprašovaným z komunikací).
- Při návrhu konkrétního protierozního opatření zohlednit orientace svahů vůči světovým stranám a míře slunečního záření
- Při návrhu konkrétního protierozního opatření se nesmí opomenout následná údržba.

Detailní zásady jsou popsány pro jednotlivá PEO v kapitole 5.2.1

Prioritním cílem je chránit svah proti erozi vysetím vegetace. Ta by ale v mnoha případech nezvládla dosáhnout plného zapojení a uhynula. Proto se vegetace před dosažením zapojení musí chránit. Za tímto účelem je možné navrhnout výsev

vegetace s podpůrnými materiály. Ty mohou být přírodě blízké nebo naopak uměle vytvořené. Přednostně se navrhují materiály přírodě blízké, které se po čase na svahu rozloží jako (např. síť pletená z kokosových vláken). Je-li podpůrný materiál stále nedostačující, přistupuje se k syntetickým produktům (zatravnovací dílce a geobuňky). Produkty z trvalých materiálů (3D ocelové sítě), se navrhují až jako poslední možnost. Lze tedy říct, že hlavním úkolem je chránit svah vegetací a přírodě blízkými materiály a až v případě nedostačující ochrany by se mělo přistupovat k trvalým materiálům.

7. Diskuse

Zásady navrhování protierozních opatření svahů přiléhajících k pozemním komunikacím je zapotřebí dodržovat co nejprecizněji tak aby bylo dosaženo plného ochranného účinku daného opatření. Dobře vypracovaný návrh je důležitým základem pro úspěšně dokončenou realizaci, jejímž výsledkem bude fungující ochrana proti erozi. Ochrana svahů pozemních komunikací proti erozi je podstatná pro bezpečný provoz, ale také kvůli ochraně životního prostředí a přírodních zdrojů. Ideálně provedené PEO není na finálním svahu vidět, svah má minimální nároky na údržbu, plní ekologické funkce jako je zadržování vody a zvyšování biodiverzity.

Zásady pro navrhování PEO na svazích PK mohou být také dobrým podkladem pro navrhování PEO na svazích skládek, železničních tratí, plynovodů a jiných liniových staveb podobného charakteru.

Protierozní materiály a techniky provádění PEO se díky novým výzkumům a studiím neustále vyvíjejí. Z tohoto důvodu vzneslo Ministerstvo dopravy ČR v roce 2021 požadavek na revizi TP 53. Zpracování aktualizované verze probíhá unikátním postupem, kdy se ještě před zahájením revize sešli odborníci z praxe se zaměstnanci vědeckých institucí a společně diskutovali o obsahu aktualizovaného TP 53. Právě tato diskuse vědy s praxí často chybí. Stává se, že teoretické studie vedou k předepsání v praxi těžko proveditelných kritérií. Příkladem může být rozsah kotevního zámku a jeho vzdálenost od koruny svahu. Ten byl metodikou Kavky, Vanička a Dufky (2021) stanoven na několik metrů. Tyto pozemky však často nespádají do režie výstavby PK, nelze tedy dodržet doporučený rozměr.

Projektant dodržující zásady návrhu PEO a firma provádějící realizaci přesně dle návrhu představují základ pro dobře chráněný svah. Dalším problémem v České

republice je fakt, že existující Technické podmínky TP 53 (v současné době procházející revizí) nejsou nijak právně vymahatelné. TP 53 je pro projektanty a realizační firmy pouze doporučením, kterým se ale nemusejí řídit. Proto je důležité, aby ochrana nezemědělských svahů byla v budoucnu definována zákonem, jehož součástí budou právně vymahatelné sankce za nedodržení předepsaných postupů.

8. Závěr

V práci byla shromážděna a analyzována odborná literatura týkající se eroze a ochrany povrchu strmých svahů. Byly zohledněny jak vědecké publikace, tak praktické zkušenosti a doporučení od dodavatelů protierozních opatření působících na území ČR a zástupců Ředitelství silnic a dálnic ČR.

Na základě provedené rešerše a praktické části lze konstatovat, že dodržování zásad navrhování protierozních opatření je klíčovým faktorem pro udržení kvality a produktivity půdy v krajině. Kromě samotného protierozního účinku konkrétního PEO je zásadní i jeho precizní aplikace, kdy klíčovými požadavky jsou kontakt s povrchem svahu a kotvení ochranného materiálu na svahu. Předpokladem pro navrhování PEO je předem vyřešená stabilita zemního tělesa a odvod tzv. cizí vody. Není-li tomu tak, je zbytečné PEO povrchu svahu řešit.

Rešeršní část práce přinesla přehled o základních informacích o erozi, jejích jednotlivých druzích, následcích a výpočtech. Z praktické části vyplynulo, že pro úspěšnost návrhu PEO je důležité zohlednit všechny podklady a výsledky průzkumů. Důležitá je také dobrá komunikace mezi projektantem a investorem a vhodně zvolená PEO pro daný svah.

Navrhování protierozních opatření je složitý proces, který vyžaduje znalosti a zkušenosti v oblasti ochrany půdy a zohlednění širšího kontextu celého povodí. Při navrhování opatření je nutné brát v úvahu mnoho faktorů, jako jsou hydrologické a geomorfologické podmínky, vegetační pokryv, typ půdy a intenzita dešťů v rámci celého povodí. Tomu je třeba uzpůsobit řešení samotného svahu a jeho následnou údržbu.

Správně navržená protierozní opatření mohou výrazně přispět ke snížení působení eroze, k udržení kvality půdy a omezit další následky eroze, jako jsou transport a ukládání sedimentu, zanášení odvodňovacích kanálů, snižování bezpečnosti na vozovkách, kvalita povrchových a podpovrchových vod atd. Důležité je předem zohlednit všechny klíčové faktory (sklon a délka svahu, typ půdy, intenzita dešťových srážek, požadavky investora na finální vzhled svahu a jeho údržbu) a provést důkladnou analýzu a návrh opatření pro konkrétní lokalitu.

Výsledky této práce jsou přínosným zdrojem informací pro inženýry a odborníky zabývající se ochranou svahů před erozí, zejména pro ty, kteří pracují na

projektech týkajících se PK. Tyto výsledky poskytují nejnovější informace o efektivních metodách ochrany svahů a mohou být použity jako podklad pro projektování a implementaci protierozních opatření na konkrétních úsecích pozemních komunikací.

Vypracování této práce také napomohlo k revizi Technických podmínek TP 53 "Protierozní zabezpečení svahů pozemních komunikací". Oficiální vydání revidovaných TP 53 je plánováno na konec března 2023. Tato práce reflektuje stav k 1. 3. 2023.

9. Seznam použitých zdrojů

AUER M., Krismer, office@krismer.at, ústní sdělení dne 29. 4. 2022, v Kostelci nad Černými lesy.

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*, 81 (3), 184-195.

CABLÍK J., JÚVA K., 1963: Protierozní ochrana půdy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

COOK L. H., 1936: The Nature and Controlling Variables of the Water Erosion Process. *Soil science society of America Journal*, 1, 487-494.

ČSN 75 0142: Názvosloví protierozní ochrany půdy. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1992. 32 s.

ČSN 83 9001: Sadovnictví a krajinářství – Terminologie – Základní odborné termíny a definice. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1999. 36 s.

DJOUKBALA, O., HASBAIA, M., BENSELAMA, O., MAZOUR M., 2019: Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria). *Model. Earth Syst. Environ.*, 5, 725–743.

FAY L., AKIN M., SHI X., 2012: Cost-Effective and Sustainable Road Slope Stabilization and Erosion Control, Transportation Research Board, Washington D. C.

GREPL D., Marcador, info@marcador.cz, ústní sdělení dne 28. 4. 2022, v Kostelci nad Černými lesy.

JANEČEK M. at al., 2002: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Nakladatelství ISV, Praha.

JANEČEK, M. at al., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita v Praze.

JOHN N. W. M., 1987: Geotextiles, Chapman and Hall, New York.

KAVKA P., VANÍČEK M., DUFKA D., 2021: Ochrana umělých svahů před erozí a stabilizace povrchové vrstvy. ČVUT v Praze.

LICHÝ L., Maccaferri, info.sk@maccaserri.com, ústní sdělení dne 28. 4. 2022, v Kostelci nad Černými lesy.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2003: Technické podmínky 53: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, Brno.

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

NOVOTNÝ I. at al., 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství, Praha.

SADEGHI S. H. R., GHOLAMI L., A. KHALEDI D. A., SAEIDI P., 2014: A review of the application of the MUSLE model worldwide, Hydrological Sciences Journal, 59 (2), 365-375.

VOPRAVIL J., KHEL T., HAVELKOVÁ L., BATYSTA M., 2013: Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky (online) [cit. 2023.05.02], dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/file/278296/Studie_zabyvajici_se_zakladni_problematikou_eroze_pudy_a_jejim_soucasnymstavem_v_Usteckem_a_Jihomoravskem_kraji_CR.pdf>

WILLIAMS, J.R., BERNDT, H.D., 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 20 (6), 1100–1104.

WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., 1987: Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning, U.S Department of Agriculture, Washington D. C.

ZACHAR D., 1982: Soil Erosion. Elsevier, Amsterdam.

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, v platném znění

ZLATUŠKA K., ČZÚ, zlatuska@fld.czu.cz, ústní sdělení dne 28. 4. 2022, v Kostelci nad Černými lesy.

ZÝKA T., JUTA, info@juta.cz, ústní sdělení dne 28. 4. 2022, v Kostelci nad Černými lesy.

10. Seznam obrázků

Obrázek 1: Svah plošně chráněný geosyntetikou s výsadbou dřevin (Geomat, 2017) (online) [cit. 2023.04.03], dostupné z: <https://www.geomat.cz/fileadmin/user_upload/30011_012.jpg>.

Obrázek 2: Svah osetý za pomoci kokosových protierozních sítí (Juta, 2021) (online) [cit. 2023.04.03], dostupné z: <https://eshop.juta.cz/media/produkty/j700-pouziti_maly.jpg?w=1920&webp>.

Obrázek 3: Aplikace geobuňek před zásypem na svahu (Geomat, 2011) (online) [cit. 2023.04.03], dostupné z: <https://www.geomat.cz/fileadmin/user_upload/reference/31588_Cukrovar_v_Dobrovicich-geobunky/31588_022.jpg>.

Obrázek 4: Svah chráněný proti erozi zatravněnými syntetickými dílci (ECORASTER, 2023) (online) [cit. 2023.015.03], dostupné z: <<https://www.ecoraster.cz/wp-content/uploads/2018/08/Reference-Ochrana-proti-erozi-2.jpg>>.

Obrázek 5: 3D ocelové panely aplikované pod úhlem ke spádnicí (Krismer, 2017) (online) [cit. 2023.15.03], dostupné z: <https://www.krismer.com/img/hang_boeschung/hang_boeschung_konstruktiv_02.jpg>.

11. Seznam rovnic

Rovnice č. 1: Rovnice USLE (WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., 1987)

Rovnice č. 2: Rovnice MUSLE (WILLIAMS, J.R., BERNDT, H.D., 1977)

12. Seznam zkratek

PEO	Protierozní ochrana
PK	Pozemní komunikace
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic České republiky
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
ČZÚ	Česká zemědělská univerzita v Praze
ČVÚT	České vysoké učení technické v Praze
USLE	Univerzální rovnice ztráty půdy
MUSLE	Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy
RUSLE	Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy
TP	Technické podmínky